

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова, Ю. Л. Коваленко

ПРИКЛАДНА АЕРОЕКОЛОГІЯ

МОДУЛЬ 1 – Атмосфера: основні терміни та визначення.
Нормування якості атмосферного повітря

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання
спеціальностей 101 – Екологія,
183 – Технології захисту навколишнього середовища)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2018

Бекетов В. Є. Прикладна аероекологія. Модуль 1 Атмосфера: основні терміни та визначення. Нормування якості атмосферного повітря : конспект лекцій для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання спеціальностей 101 – Екологія, 183 – Технології захисту навколишнього середовища) / В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова, Ю. Л. Коваленко. – Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 79 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. В. Є. Бекетов,
канд. техн. наук, доц. Ю. Л. Коваленко,
ст. викладач Г. П. Євтухова

Рецензент

Ф. В. Стольберг, професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол № 6 від 06 лютого 2018 р.

Конспект лекцій складено з метою допомогти студентам екологічних спеціальностей вузів під час підготовки до занять, заліків та іспитів з модуля 1 Атмосфера: основні терміни та визначення. Нормування якості атмосферного повітря.

© В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова,
Ю. Л. Коваленко, 2018

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АТМОСФЕРА, ЇЇ СКЛАД, БУДОВА ТА ФУНКЦІЇ	6
1.1 Чинники, що зумовлюють пересування повітряних мас	8
1.2 Природні ресурси атмосфери	9
2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДЖЕРЕЛ ТА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ	11
2.1 Класифікація джерел забруднення атмосфери	12
3 ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ ЗАБРУДНЮВАЧІ АТМОСФЕРИ.....	14
3.1 Фізичні забруднювачі атмосфери	14
3.2 Хімічні забруднювачі атмосфери.....	15
4 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ГОЛОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ДОМІШОК АТМОСФЕРИ	18
4.1 Оксид вуглецю (CO).....	18
4.2 Діоксид сірки (SO ₂)	19
4.3 Вуглеводні (C _m H _n).....	19
4.4 Оксиди азоту (NO _x)	20
4.5 Аерозолі.....	20
4.6 Діоксид вуглецю (CO ₂).....	22
5 ХІМІЧНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ (ТРАНСФОРМАЦІЯ) ДОМІШОК В АТМОСФЕРІ	24
5.1 Трансформація сполук вуглецю.....	25
5.2 Трансформація метану.....	26
5.3 Трансформація сполук сірки	27
5.4 Трансформація сполук азоту	28
6 СМОГ І ЙОГО ВИДИ	31
6.1 Фотохімічний смог	31
6.2 Лондонський смог	31
6.3 Крижаний смог	32
7 ГОЛОВНІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПИЛУ ТА ГАЗІВ	33
7.1 Щільність пилу.....	33
7.2 Дисперсний склад пилу та способи його завдання.....	34
7.2.1 Табличний спосіб.....	34
7.2.2 Графічний спосіб.....	35
7.3 Аутогезійонні властивості пилу	38

7.4 Сипучість пилу	39
7.5 АБРАЗИВНІСТЬ ПИЛУ	40
7.6 ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПИЛУ	40
7.7 Змочуваність пилу	40
7.8 Пожежо- та вибухонебезпечні властивості пилу	41
8 ВЛАСТИВОСТІ ГАЗІВ.....	42
8.1 СПОСОБИ ЗАВДАННЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ГАЗІВ.....	42
8.2 Щільність, в'язкість і теплоємність суміші газів	43
8.3 Вологість газів і способи її завдання. Зв'язок між параметрами вологого повітря, «I-D» ДІАГРАМА	44
9 ГОЛОВНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ МІСТА – ГДК, ОБРВ.....	47
9.1 Порядок встановлення ГДК	50
9.2 ЕФЕКТ СУМАЦІИ.....	52
10 СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ	56
11 СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АТМОСФЕНОГО ПОВІТРЯ В МІСТАХ. АСКЗВ.....	59
12 ПОРЯДОК СПОСТЕРЕДЖЕННЯ ЗА РІВНЕМ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ СНД.....	63
12.1 Пости спостереження.....	63
12.2 ПРОГРАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ	65
12.3 ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕЛІКУ ТА ЧЕРГОВОСТІ РЕЧОВИН, ЩО ПІДЛЯГАЮТЬ КОНТРОЛЮ	67
12.3.1 Графічний метод виявлення необхідності спостережень за домішкою	68
12.3.2 Визначення черговості та контролю.....	70
13 ОБСТЕЖЕННЯ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ.....	72
13.1 Види обстеження	73
14 ОЦІНКА СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА АВТОМАГІСТРАЛЯХ	75
15 ВИВЧЕННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ	77
16 СПОСТЕРЕДЖЕННЯ ЗА ВМІСТОМ КОРОЗІЙНО-АКТИВНИХ ДОМІШОК.....	78
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

Дисципліна «Прикладна аероекологія» входить до програми підготовки бакалавра спеціальностей 101 – Екологія, 183 – Технології захисту навколишнього середовища. У конспекті лекцій розглянуто питання, що стосуються атмосфери, її складу будови та функцій, наведено характеристику та класифікацію джерел забруднення атмосфери; описано фізичні та хімічні забруднювачі атмосфери, схарактеризовано головні домішки в атмосфері; розглянуто головні фізико-хімічні властивості пилу та газів. Нормування забруднювальних речовин в атмосферному повітрі та система контролю якості атмосферного повітря.

Дисципліна дає студентіві знання, за допомогою яких можна виконати розрахунки параметрів атмосфери в різних її точках, розрахувати параметри пилогазової суміші, необхідні для визначення ефективності роботи газоочисного устаткування, оцінити якість і дотримання вимог санітарних норм атмосферного повітря.

1 АТМОСФЕРА, ЇЇ СКЛАД, БУДОВА ТА ФУНКЦІЇ

Атмосфера – зовнішня газова оболонка Землі, механічна суміш різних газів, водяної пари та твердих (аерозольних) часток.

Склад атмосфери перебуває у стані динамічної рівноваги, що підтримується такими кліматичними чинниками, як переміщення повітряних мас (вітер і конвекція) й атмосферні осідання, життєдіяльність тваринного та рослинного світів, особливо лісів і планктону світового океану, а також за допомогою космічних процесів, геохімічних явищ і господарської діяльності людини.

Зразковий хімічний склад атмосферного повітря (в об'ємних відсотках у перерахунку на сухе повітря) виглядає так (рис. 1.1).

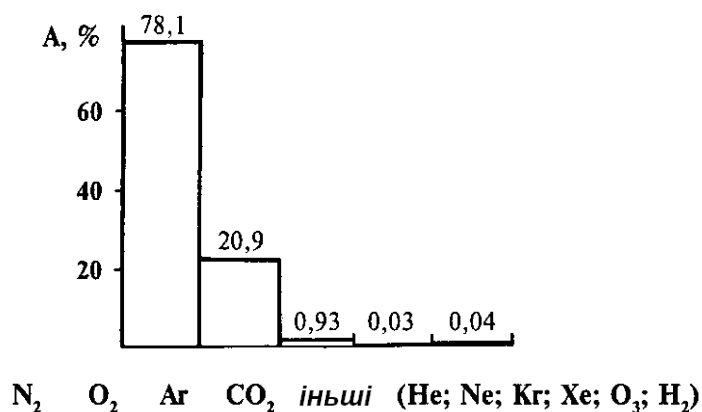


Рисунок 1.1 – Хімічний склад атмосферного повітря (в об'ємних відсотках):

азот (N₂) – 78,1 %; кисень (O₂) – 20,85 %; аргон (Ar) – 0,93 %; діоксид вуглецю (CO₂) – 0,033 %; на долю інших компонентів – неон (Ne), гелій (He), криптон (Kr), ксенон (Xe), озон (O₃), водень (H₂) становить не більше 0,04 %; склад водяної пари коливається в інтервалі 0,01 – 4%.

Загальна маса атмосфери становить $5,14 * 10^{15}$ т. Приблизно 50 % маси атмосфери належить нижньому шарові завтовшки 5 км. Маса шару, що має товщину 30 км, становить 99 % усієї маси атмосфери.

За вертикаллю атмосфера має шароподібну будову. Виділення окремих зон (табл. 1.1) ґрунтується на зміні температури відносно висоти.

Верхня межа атмосфери чітко не виділяється. Вона переходить поступово в космічний простір.

Таблиця 1.1 – Характеристика основних зон, що виділяються в атмосфері

Зона атмосфери	Верхня та нижня межі зони від рівня моря, км	Температура, °С	
		нижня межа зони	верхня межа зони
Тропосфера	0 – 11	+ 15	–56
Стратосфера	11 – 50	–56	– 2
Мезосфера	50 – 85	–2	– 92
Термосфера	85 – 500	– 92	+ 1200

Середня температура атмосфери в середніх широтах зменшується з висотою до відмітки 11 км за лінійним принципом. При цьому середня температура на рівні моря дорівнює 288 К, а на висоті 11 км – 216,7 К (рис. 1.2).

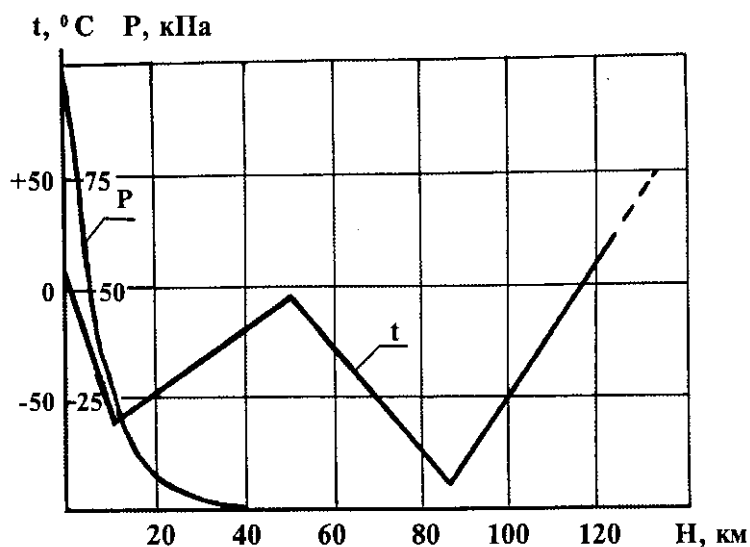


Рисунок 1.2 – Розподіл тиску та температури атмосферного повітря за висотою (за певних середніх умов)

Відповідно до зазначеного вище, стандартний або нормальний температурний градієнт дорівнює:

$$-\left(\frac{dT}{dH}\right)_{\text{станд}} = (288 - 216,7)/10,8 \times 10^3 = 0,0066 \text{ К/м.}$$

Середній атмосферний тиск на рівні моря становить 101,3 Кпа.

За умов, що відповідають середньому тискові на рівні моря й багаторічній середньорічній температурі атмосферного повітря на рівні моря, що дорівнює 15 °С, розподіл тиску з висотою визначається за міжнародною барометричною формулою:

$$P(H) = 101,3(1 - 6,5 H/288)^{5,255}, \text{ кПа,}$$

де P – тиск, кПа; H – висота над рівнем моря, км.

Сонце, Земля та земна атмосфера утворюють одну велику динамічну систему.

1.1 Чинники, що зумовлюють пересування повітряних мас

Пересування повітряних мас є результатом дії таких чинників:

1. Горизонтальні градієнти тиску, які виникають унаслідок відмінностей у нагріванні повітря, та є причиною конвенцій й горизонтальних пересувань повітряних мас.

2. Сила Каріоліса, що виникає унаслідок обертання Землі.

Каріоліса сила – сила інерції, за допомогою якої враховується вплив обертання системи відліку на відносний рух матеріальної крапки. Цей вплив виявляється в тому, що в системі відліку, яка обертається, рухома матеріальна точка або відхиляється за напрямом, перпендикулярним її відносній швидкості, або тисне на зв'язок, що перешкоджає такому відхиленню.

Наприклад, добовий оберт Землі призводить до того, що річки, поточні меридіональному напрямку, підмивають правий берег Північної півкулі (за течією), у Південному – лівий.

3. Відцентрове прискорення, що виникає в районах, прилеглих до областей високого та низького тиску;

Рух повітряних потоків довкола центрів високого тиску здійснюється за годинниковою стрілкою з відхиленням назовні й донизу від колового руху. Цей потік отримав назву низхідного та є однією з можливих перешкод для розсіювання забруднювальних речовин в атмосфері. *Під час руху повітря довкола центру високого тиску в північній півкулі за годинниковою стрілкою формується антициклон.*

Під час руху повітряних потоків навколо центрів низького тиску вектор швидкості спрямований усередину й угору від колового руху проти годинникової стрілки. У цьому разі забруднювальні речовини з нижніх шарів атмосфери пересуваються до гори й розсіваються у великих об'ємах повітря. *Під час руху повітря навколо центру низького тиску у північній півкулі в напрямку проти годинникової стрілки формується **циклон**.*

4. Сили тертя, що уповільнюють рух повітря поблизу земної поверхні.

Атмосфера виконує такі функції:

- містить кисень, необхідний для дихання живих організмів;
- є джерелом вуглекислого газу для фотосинтезу рослин;
- захищає живі організми від космічних випромінювань;
- зберігає тепло Землі й регулює клімат;
- трансформує газоподібні продукти обміну речовин;
- переносить водні пари по планеті;
- є місцем існування форм організмів, що літають;
- слугує джерелом хімічної сировини й енергії;
- приймає та трансформує газоподібні та пилоподібні відходи.

1.2 Природні ресурси атмосфери

Атмосфера становить джерелом отримання таких промислових газів, як O_2 , N_2 , Ar , CO_2 ($t_{кип.}$, $^{\circ}C$ відповідно: -183, -186, -169, -78,5(сухий лід).

Основними споживачі кисню :

1. Процеси штучного та природного згоряння.
2. Дихання живих організмів.

Головне джерело кисню – реакція фотосинтезу – відновлення CO_2 світлочутливою речовиною (хлорофілом) під дією сонячного світла.

Механізм фотосинтезу через складнощі природи багатьох проміжних реакцій повністю не з'ясований. Проте відомо, що реакція посилюється внаслідок збільшення парціального тиску вуглекислого газу (P_{CO_2}) та зменшенні парціального тиску кисню (P_{O_2}). Швидкість реакції фотосинтезу залежить від інтенсивності світла й температури.

У темряві швидкість реакції фотосинтезу дорівнює нулю. Зі збільшенням інтенсивності світла швидкість реакції спочатку зростає лінійно, а потім за асимптотою прагне максимального значення R_{\max} . Положення R_{\max} залежить від P_{CO_2} і P_{O_2} .

Установлено, що у процесі фотосинтезу бере участь $22,5 \times 10^{10}$ т органічної речовини на рік, до того ж 50 % цієї речовини належить планктонів океанів. В океані відбуваються дві конкуруючі реакції – дихання (на глибині) і фотосинтез (на поверхні). Рівноважна крапка розташована на глибині до 160 м у чистій воді та 1 – 2 см – у каламутній воді.

Вироблення фітопланктоном кисню знижується зі зменшенням кількості світла, що потрапляє на океан. Це зменшення – наслідок розсіювання світла атмосферним пилом і димом, а також пролітої на водну поверхню нафти.

Збільшення виділення CO_2 і підвищення температури навпаки сприяє прискоренню реакцій фотосинтезу.

Найбільшу загрозу процесу вироблення O_2 становить утворення газонепроникного шару між джерелом фотосинтезу й атмосферою. Газонепроникний шар може виникнути через розлив нафтопродуктів. Він пригнічує фотосинтез, оскільки утворена плівка перешкоджає надходженню CO_2 з повітря до води та виходу з води кисню, що утворюється. Це явище може спричинювати гіпотетичні проблеми, із якими людство зіткнеться в майбутньому. Сьогодні немає безпосередніх ознак серйозного порушення циклу фотосинтезу.

Розрахунки показують, що порівняно з кількістю вуглецю в органічній матерії та викопному паливі запаси кисню великі.

На 1 м^2 земної поверхні доводиться 60 000 моль кисню при загальній його витраті 8 моль/ 1 м^2 на рік. На окислення 200 моль вуглецю, що міститься в кожному м^2 земної поверхні у вигляді живої тканини й гумусу, витрачається лише 1 % запасів атмосферного кисню.

Якщо людина спалить усі відомі запаси викопного палива, то використає лише 3 % наявного кисню.

Водночас (за оптимальних умов) 1 л хлорели може забезпечити 560 л кисню – необхідна кількість для денного дихання людини.

2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДЖЕРЕЛ ТА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

Забруднення атмосфери – зміна складу атмосфери внаслідок потрапляння до неї домішок.

Домішок атмосфери – це розсіяна в атмосфері речовина, що не міститься у її постійному складі.

Забруднювальна речовина – це домішок в атмосфері, що несприятливо впливає на навколишнє середовище та здоров'я населення.

Оскільки домішки атмосфери можуть зазнавати різних перетворень, їх можна умовно поділити на первинні й вторинні.

Первинний домішок в атмосфері – домішок, що зберегли за певний інтервал часу свої фізичні та хімічні властивості.

Вторинний домішок в атмосфері – це домішок атмосфери, що утворився внаслідок перетворення первинних домішок.

Перетворення домішок в атмосфері – процес, за якого домішки атмосфери піддаються фізичним і хімічним змінам під дією природних і антропогенних чинників, а також унаслідок взаємодії між собою.

Для *кількісної оцінки* змісту домішок в атмосфері використовують поняття їхньої *концентрації* – кількості речовини, що міститься в одиниці маси або об'єму повітря, приведеного до нормальних умов.

У різних точках урбанізованого простору концентрації домішок в атмосфері можуть істотно різнитися. Для опису цього явища використовують поняття *поле концентрації домішок* в атмосфері – графічне зображення просторової мінливості концентрації домішок в атмосфері, віднесене до устанавленого часу осереднення.

Забруднювальні речовини викидаються до атмосфери як суміш пилу, диму, туману, пари та газоподібних речовин.

2.1 Класифікація джерел забруднення атмосфери

Джерела домішок можуть бути природними, зумовленими природними процесами й антропогенними, зумовленими діяльністю людини.

Серед природних джерел забруднення атмосферного повітря виокремлюють заповишені бурі, масиви зелених насаджень у період цвітіння, степові й лісові пожежі, виверження вулканів. Домішки, що виділяються природними джерелами:

- пи́л рослинного, вулканічного, космічного походження, продукти ерозії ґрунту, частинки морської солі;
- тумани, дим і гази від лісових і степових пожеж;
- гази вулканічного походження;
- продукти рослинного, тваринного, бактеріального походження.

Природні джерела можуть бути площадковими (розподіленими) та діють порівняно короткочасно. Рівень забруднення атмосфери природними джерелами є фоновим і мало змінюється з часом.

Антропогенні (техногенні) джерела забруднення атмосферного повітря, представлені переважно викидами промислових підприємств і автотранспорту, відрізняються чисельністю й різноманіттям видів (рис. 2.1).

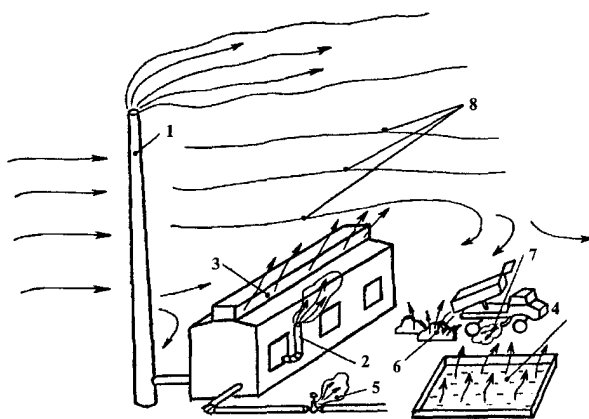


Рисунок 2.1 – Джерела забруднення атмосфери

- 1 – високий димар; 2 – низький димар; 3 – аераційний ліхтар цеху; 4 – випаровування з поверхні басейну; 5 – витік через нещільність обладнання; 6 – пиління під час розвантаження сипких матеріалів; 7 – вихлопна труба автомобіля; 8 – напрям руху потоків повітря

Джерела викидів промислових підприємств можуть бути стаціонарними (джерела 1–6), за яких координата джерела викиду не змінюється в часі, і пересувними (нестаціонарними) (джерело 7 – автотранспорт).

Джерела викидів до атмосфери розподіляють на: точкові, лінійні та площадкові. Кожен з них може бути затінений і незатінений.

Точкові джерела (на рис. 2.1 – 1, 2, 5, 7) – це забруднення, зосереджені в одному місці, координата яких має координату точки. До них належать димарі, вентиляційні шахти, кришні вентилятори.

Лінійні джерела (3) мають значну протяжність. Це аераційні ліхтарі, низки відкритих вікон, близько розташовані дахові вентилятори. До них можуть також належать автотраси.

Площадкові джерела (4, 6). Забруднення, що видаляються з цих джерел, розосереджені по площині промислового майданчику підприємства. До площадкових джерел належать місця складування виробничих і побутових відходів, автостоянки, склади паливно-мастильних, сипких матеріалів.

Незатінені (1), або високі джерела розташовані в недеформованому потоці вітру. Це димарі й інші джерела, що викидають забруднення на висоту, що перевищує 2,5 висот розташованих поблизу будівель та інших перешкод.

Затінені джерела (2–7) розташовані в зоні підпору або аеродинамічної тіні будівлі або іншої перешкоди.

Джерела викидів забруднювальних речовин до атмосфери розподіляють на *організовані й неорганізовані*.

Із організованого джерела (1, 2, 7) забруднювальні речовини потрапляють до атмосфери через спеціально споруджені газоходи, воздуховоди та труби.

Неорганізоване джерело виділення забруднювальних речовин (5, 6) утворюється внаслідок порушення герметичності обладнання, відсутності або незадовільної роботи обладнання з відсмоктування пилу та газів, у місцях завантаження, розвантаження або зберігання продукту. До неорганізованих джерел належать автостоянки, склади паливно-мастильних або сипких матеріалів та інші площадкові джерела.

2 ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ ЗАБРУДНЮВАЧІ АТМОСФЕРИ

3.1 Фізичні забруднювачі атмосфери

Організм людини у процесі життєдіяльності піддається дії шкідливих хімічних і фізичних впливів.

До шкідливих фізичних дій (фізичне забруднення) належать забруднення, обумовлене зміною фізичних параметрів середовища – радіаційних, шумових, світлових, температурних, електромагнітних тощо.

Іонізовані випромінювання – радіаційні дії високого рівня енергії (потоки α -, β - і γ -часток, що утворюються під час радіоактивного розпаду або у прискорювачах), електромагнітні випромінювання довжиною хвилі менше 10^{-7} см.

Іонізовані випромінювання характеризуються високим ступенем біологічної дії на рівні молекул і клітин, окремих органів та організму загалом. При цьому відбувається поглинання біосубстратом енергії випромінювання, іонізація атомів і молекул, пошкодження молекулярних сполук і утворення активних вільних радикалів.

Неіонізовані випромінювання – частина електромагнітного спектру довжиною хвилі більше 10^{-7} см у діапазоні від низьких до лазерних частот, невеликі дози радіоактивного випромінювання.

Неіонізовані випромінювання не мають такої швидкої руйнівної дії на живі організми як іонізоване випромінювання, проте віддалені наслідки його дії часто виявляються достатньо небезпечними.

Акустичні дії – шум, ультразвук, інфразвук і вібрація.

Акустична дія – шум є безладними коливаннями складної спектральної структури. Інтенсивність і спектральний склад шуму визначають ступінь дії на організм загалом.

Акустичні коливання залежно від частоти поділяються на ультразвук (із частотою більше 20 000 Гц), звук, що сприймається органами слуху людини (від 16 Гц до 20 000 Гц) й інфразвук (частота менше 16–25 Гц).

Сильний шум негативно впливає на органи слуху людини, погіршується сприйняття звуків. Його постійна дія знижує працездатність і є причиною неврозів і багатьох інших захворювань.

Вібрація й інфразвук негативно впливають на стан людей, спричиняючи відчуття прискореного коливання внутрішніх органів і больові відчуття, синдром морської хвороби, а також відчуття тривоги, страху, ускладнюють і погіршують інтелектуальну діяльність. Джерелами інфразвукових коливань і обумовлених ними вібрацій є компресорні станції, вентилятори, кондиціонери, градирні, турбіни дизельних електростанцій тощо.

3.2 Хімічні забруднювачі атмосфери

Хімічне забруднення повітря – це викиди до атмосфери хімічних елементів та їхніх сполук. Ці викиди характеризуються чотирма такими ознаками:

1. За агрегатним станом: газоподібні, рідкі та тверді.
2. За хімічним складом:
 - діоксид сірки;
 - оксид вуглецю;
 - оксиди азоту;
 - тощо.

Перелік речовин, для яких встановлено рівні ГДК та ОБРВ включає понад 2 000 найменувань.

3. За розміром часток:
 - менш 0,5 мкм;
 - від 0,5 до 3 мкм;
 - від 3 до 10 мкм;
 - від 10 до 50 мкм;
 - від 50 мкм і більше.
4. За масою речовини, що викидається:

- менше 1 кг/годину;
- від 1 до 10 кг/годину;
- від 10 до 100 кг/годину;
- від 100 до 1000 кг/годину;
- від 1000 до 10000 кг/годину;
- від 10000 кг/годину і більше.

Найпоширенішими забруднювальними речовинами, що поступають в атмосферне повітря від техногенних джерел є такі:

- оксид вуглецю – CO;
- діоксид сірки – SO₂;
- оксиди азоту – NO_x;
- вуглеводні – C_mH_n
- пил.

Зі всієї маси забруднювальних шкідливих речовин, що потрапляють до атмосфери від антропогенних джерел, близько 90 % становлять газоподібні, 10 % – тверді та рідкі речовини.

Найчистіше повітря на землі – над океаном. Рівень забруднення перевищує цей показник:

- у 10 разів – у сільській місцевості;
- 35 разів – над селищами та малими містами;
- 150 разів – над великими промисловими центрами.

Перевищення концентрації забруднювальних речовин над фоновими може досягати:

- для CO від 80 до 1250 разів;
- для SO₂ від 50 до 300 разів;
- для NO_x до 25 разів;
- для O₃ до 7 разів.

Середні щорічні викиди домішок в атмосферу (млн т/рік) від антропогенних і природних джерел подані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Середні щорічні викиди домішок в атмосферу

Речовина	Природні джерела	Антропогенні джерела	Відсоток антропогенного викиду
Пил	3 700	1 000	27
CO	5 000	304	5,7
C _m H _n	2 600	88	3,3
NO _x	770	53	6,5
SO ₂	650	100	13,3
CO ₂	485	18,3	3,6

4 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ГОЛОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ДОМШОК АТМОСФЕРИ

4.1 Оксид вуглецю (СО)

Оксид вуглецю (СО) – (337-5/3-4)¹ – найпоширеніший і найбільш значний домішок атмосфери, який у побуті називають чадним газом. Уміст СО у природних умовах становить від 0,01 мг/м³ до 0,2 мг/м³.

Основна маса викидів СО утворюється унаслідок спалювання органічного палива, насамперед, у двигунах внутрішнього згорання. Зміст СО в повітрі великих міст коливається в межах 1 – 250 мг/м³ за середнього значення 20 мг/м³. Найвища концентрація СО спостерігається на вулицях і площах міст із інтенсивним рухом, особливо біля перехресть.

Висока концентрація СО в повітрі призводить до фізіологічних змін в організмі людини, а концентрація понад 750 мг/м³ – до загибелі. СО – винятково агресивний газ, що легко поєднується з гемоглобіном крові, утворюючи *карбоксигемоглобін*. Стан організму під час дихання повітрям, що містить чадний газ, характеризується даними, наведеними в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Дія чадного газу на організм людини

Зміст карбоксигемоглобіну, %	Симптоми
0,4 – 2	Погіршення гостроти зору та здатності оцінювати тривалість інтервалів часу
2 – 5	Порушення психомоторних функцій головного мозку
5 – 10	Зміна діяльності серця та легенів
10 – 80	Головний біль, сонливість, спазми, порушення дихання, смертельні випадки

Ступінь дії СО на організм людини залежить також від тривалості дії (експозиції) і виду діяльності людини. Наприклад, за вмісту СО в повітрі 10–50 мг/м³, що спостерігається на перехрестях вулиць великих міст, за екс-

¹ 337– код речовини

5/3 – 4 це означає: ГДК_{мр} = 5 мг/м³; ГДК_{сд} = 3 мг/м³; клас небезпеки – 4.

позиції 60 хвилин фіксуються порушення, наведені у п. 1, а за експозиції від 12 годин до 6 тижнів – у п. 2. Під час важкої фізичної роботи отруєння настає у 2–3 рази швидше. Утворення карбоксигемоглобіну – процес, що можна повернути назад, через 3–4 години вміст його у крові зменшується у два рази. Час перебування CO в атмосфері становить 2–4 місяці.

4.2 Діоксид сірки (SO₂)

Діоксид сірки (SO₂) – (330–0,5/0,05–3)– безбарвний газ із гострим запахом. На його частку доводиться до 95% загального об'єму сірчистих сполук, що надходять до атмосфери з антропогенних джерел. До 70 % викидів SO₂ утворюються під час спалювання вугілля, близько 15 % – під час спалювання мазуту.

За концентрації SO₂ 20–30 мг/м³ роздратовується слизова оболонка рота й очей, у роті виникає неприємний присмак. Особливо чутливі до SO₂ хвойні ліси. За концентрації SO₂ у повітрі 0,23 – 0,32 мг/м³ унаслідок порушення фотосинтезу відбувається усихання хвої протягом 2 – 3 років. Аналогічні зміни у листяних дерев відбуваються за концентрації SO₂ 0,5 – 1 мг/м³.

4.3 Вуглеводні (C_mH_n)

Вуглеводні (C_mH_n, m = C₁₂ – C₁₉) – (2754-1/--4) Головне техногенне джерело викидів вуглеводнів (C_mH_n) – пари бензину, метан, пентан, гексан) – автотранспорт. Його питома вага становить понад 50 % загального об'єму викидів. У разі неповного згоряння палива відбувається також викид циклічних вуглеводнів, що мають канцерогенні властивості. Особливо багато канцерогенних речовин міститься в сажі, що викидається дизельними двигунами.

Із вуглеводнів в атмосферному повітрі найчастіше зустрічається метан, що є наслідком його низької реакційної здатності. Вуглеводні володіють наркотичною дією, спричиняють головний біль, запаморочення. У разі вдихання

протягом 8 годин парів бензину з концентрацією понад 600 мг/м^3 , виникають головний біль, кашель, неприємне відчуття в горлі.

4.4 Оксиди азоту (NO_x)

Оксиди азоту (NO , NO_2) утворюються під час горіння за високої температури внаслідок окислення частини азоту, що міститься в атмосферному повітрі. Під загальною формулою NO_x зазвичай мають на увазі суму NO і NO_2 . Головні джерела викидів NO_x : двигуни внутрішнього згорання, топки промислових казанів, печі.

NO_2 – (301-0,085/0,04-2) газ жовтого кольору, що надає повітрю в містах коричневого відтінку. Отруйна дія NO_2 починається з легкого кашлю. Унаслідок підвищення концентрації, кашель посилюється, починається головний біль, виникає нудота. При контакті з водною парою на поверхні слизової оболонки утворюються кислоти HNO_3 і HNO_2 , що можуть призвести до набряку легенів. Тривалість перебування NO_2 в атмосфері – близько трьох діб.

NO – (304-0,4/0,06-3) безбарвний газ, без запаху, без смаку, негорючий, що погано розчиняється у воді. На повітрі NO окислюється до NO_2 .

4.5 Аерозолі

Зважені речовини утворюють двофазну (бінарну) полідисперсну систему, яка отримала назву *аерозолі*. Загальна кількість різновидів аерозолів, що забруднюють атмосферу, становить декілька сотень.

Аерозолі прийнято розподіляти на три класи: *пил, дими й тумани*.

Пил – полідисперсні системи твердих зважених часток розміром від 5 мкм до 100 мкм. Іноді пилом називають безпосередньо тверді зважені частки.

Дими – аерозолі, що утворюються під час горіння або сублімації, містяться у викидах електродечей, вагранок, ділянок електрозварювання. Розміри зважених часток від 0,1 мкм до 5 мкм.

Тумани складаються з крапельок рідини, що диспергують у газовому середовищі. У краплях можуть міститися розчинені речовини

або суспензовані тверді частки. Утворюються внаслідок *конденсації* пари або *розпилювання* рідини. У першому випадку розмір крапель близький до розміру часток у димах, у другому – до пилу. Утворюються під час забарвлення, під час гартування виробів у маслі.

Особливе місце займають продукти згоряння палива: сажа та зола.

Сажа – токсичний високодисперсний порошок, який на 90–95 % складається з часток вуглецю. Утворюється під час неповного згорання або термічного розкладання вуглеводнів. Має велику адсорбційну здатність стосовно важких вуглеводнів, зокрема до бенз(а)пірену, що робить сажу небезпечною для людини: $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 0,15 \text{ мг/м}^3$, $\text{ГДК}_{\text{с.д.}} = 0,05 \text{ мг/м}^3$.

Зола – залишок, що не згоряє, утворюється з мінеральних домішок палива за його повного згорання. Склад золи здебільшого визначається видом і складом палива.

Вплив зважених речовин на людину й навколишнє середовище визначається їхнім складом і властивостями.

Особливу небезпеку для здоров'я людини становить токсичний тонкодисперсний пил із розміром часток 0,5–10 мкм, які легко проникають до органів дихання.

Середній розмір часток пилу в атмосферному повітрі – 7–8 мкм. Пил шкідливо діє на людину, рослинний і тваринний світ, поглинає сонячну радіацію, і у такий спосіб впливає на термічний режим атмосфери та земної поверхні. Частки пилу слугують ядрами конденсації під час утворення хмар і туманів. Основна маса пилу вимивається з атмосфери осіданнями.

Головні антропогенні джерела пилу:

- промисловість видобутку і переробка будматеріалів (виробництво цементу, дроблення щебню, тощо);
- сталеливарна промисловість (бурий дим – оксиди заліза);
- кольорова металургія (частинки Al, Cu, Zn);
- автотранспорт, спалювання відходів, палива (сажа, зола).

Зразковий склад пилу повітря великих промислових центрів:

- 20% – оксиди заліза;
- 15% – силікати;
- 5% – сажа;
- інше – оксиди металів: As, Mo, Sb, тощо.

Орієнтовні значення умісту пилу в повітрі, мг/м³ (середньодобові):

- сільське повітря – 0,02;
- повітря міст – 0,1–0,4;
- у промислових районах (максимальні значення) – до 15;
- магазини – 5–8;
- ливарні цехи – 15–50;
- вугільні шахти – 100–200;
- ділянка упаковки цементу в мішки – 100–500.

4.6 Діоксид вуглецю (CO₂)

Діоксид вуглецю (CO₂) або вуглекислий газ не є домішкою в атмосфері, оскільки входить до її постійного складу (0,03 %). Природні шляхи попадання його до атмосфери – дихання та розпад організмів, рослин і гумусу. Антропогенні – спалювання речовин, що містять вуглеводні сполуки.

CO₂ міститься в атмосфері в такій кількості, що грає роль у тепловому балансі Землі як за поглинання, так і за випромінювання інфрачервоної радіації. Збільшення вмісту CO₂ в атмосфері призводить до збільшення температури поверхні Землі (парниковий ефект). CO₂ не токсичний на рівнях, передбачених на кінець сторіччя та навіть за вищих концентрацій.

Парниковий ефект атмосфери – властивість атмосфери пропускати сонячну радіацію, але затримувати земне випромінювання, сприяє акумуляції тепла Землею.

Земна атмосфера порівняно добре пропускає сонячну короткохвильову радіацію, яка майже повністю поглинається земною поверхнею, оскільки альbedo² земної поверхні мале. Нагріваючись унаслідок поглинання сонячної радіації, земна поверхня стає джерелом земного, переважно довгохвильового, випромінювання, прозорість атмосфери для якого мала і яке майже повністю поглинається в атмосфері. Унаслідок парникового ефекту за умови ясного неба тільки 10–20 % земного випромінювання може, проникаючи крізь атмосферу, іти до космічного простору.

² Альbedo - характеристика відбивних властивостей поверхні тіл: відношення розсіяного потоку випромінювання поверхні до потоку випромінювання, який падає на поверхню.

5 ХІМІЧНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ (ТРАНСФОРМАЦІЯ)

ДОМІШОК В АТМОСФЕРІ

Тропосфера є нерівноважною хімічно активною системою. Тут безперервно відбуваються процеси зміни концентрації домішок в атмосферному повітрі.

Знання про механізми та швидкість процесів надходження викидів із природних та антропогенних джерел, перенесення до інших сфер (воду, ґрунти) або трансформації в атмосфері дають змогу скласти баланс атмосферної частини глобального колообігу речовин у природі.

Більшість газоподібних домішок, що викидаються до атмосфери, мають відновлену форму або у вигляді оксидів із низьким ступенем окислення (сірководень, метан, оксид азоту). Аналіз атмосферних опадів показує, що домішки, які повернулися на поверхню землі, представлені здебільшого сполуками високого ступеня окислення (сірчана кислота, сульфати, азотна кислота, нітрати, діоксид вуглецю).

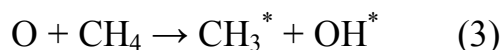
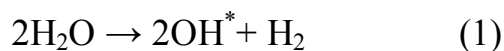
Отже, тропосфера виконує функцію глобального окислювального резервуару.

Процеси окислення домішок у тропосфері можуть протікати за трьома різними напрямками:

1. Окислення безпосередньо в газовій фазі.
2. Окисленню передують абсорбція домішок частинками води, надалі процес окислення відбувається в розчині.
3. Окисленню передують адсорбція домішок на поверхні зважених у повітрі часток.

Функцію окислювача можуть виконувати *молекули кисню, перекис водню, озон*. Провідну роль у процесах окислення, що протікають в атмосфері, грають *вільні радикали*, насамперед *гідроксильний радикал ОН*.

Він утворюється у верхніх шарах атмосфери шляхом фотодісоціації води (рівняння 1, 2, 3) та інших реакцій, що протікають за участю збудженого синглетно атому кисню.



Згідно з експериментальними даними, концентрація гідроксильних радикалів у тропосфері становить $(0,5-5) \times 10^6 \text{ l/cm}^3$.

У основних станах звичайних молекул усі електрони спарені; у збудженому стані усі електрони також можуть бути спареними. Такі збуджені стани, за яких електрони спарені, називаються **синглетними**.

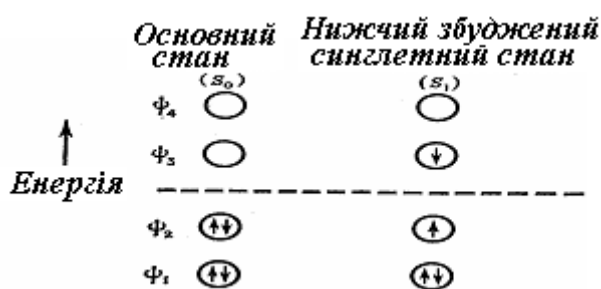
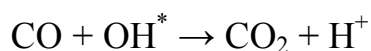


Рисунок 5.1 – Схематичне зображення електронних конфігурацій основного та нижчого збудженого стану (синглетного) молекули з чотирма електронами й чотирма орбіталями:

$\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$ – молекулярні орбіталі

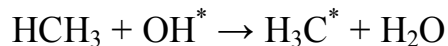
5.1 Трансформація сполук вуглецю

Здебільшого CO можна розглядати як хімічно неактивний компонент повітря. Проте, у стратосфері й за фотохімічного смогу, CO може окислюватися до CO_2 , взаємодіючи з вільним радикалом OH^* :

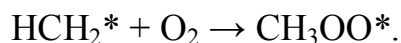


5.2 Трансформація метану

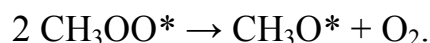
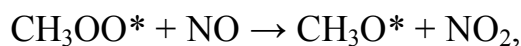
Фотохімічне окислення метану – CH_4 – в тропосфері відбувається здебільшого за радикальним механізмом:



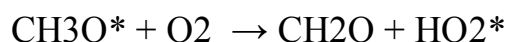
Метильний радикал, що утворився на першій стадії унаслідок зіткнення з молекулою кисню, дає іншу нестійку частку – метилпероксидний радикал.



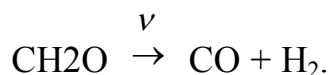
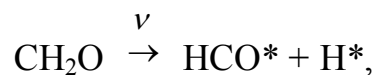
Метилпероксидний радикал в атмосфері розкладається й утворює менш токсильний радикал:



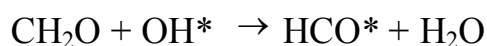
Унаслідок взаємодії метоксильного радикалу з киснем відбувається утворення формальдегіду:



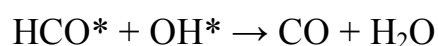
Молекули CH_2O піддаються фотолізу внаслідок поглинання світла в найближчій ультрафіолетовій області з утворенням формільного радикалу:



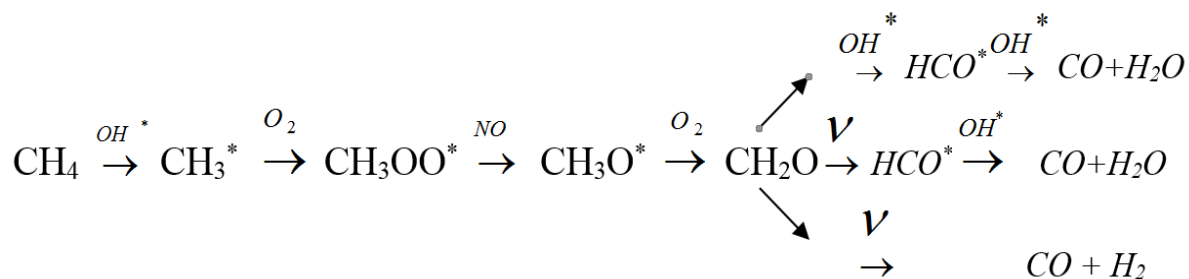
Формільний радикал HCO^* утворюється також під час взаємодії формальдегіду з гідроксилрадикалом:



Реагуючи з OH -радикалом, формільний радикал утворює оксид вуглецю, що становить завершальну стадію окислення органічних сполук в атмосфері:

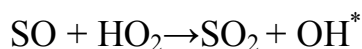
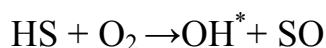
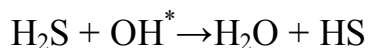


Ланцюжок перетворень метану в атмосфері може виглядати так:

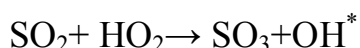
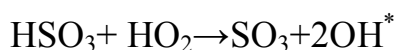
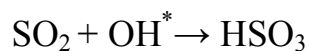


5.3 Трансформація сполук сірки

SO_2 – детальний механізм трансформації сполук сірки у тропосфері до сьогодні не встановлено. Найвірогіднішим є протікання реакцій окислення за участю вільних радикалів:

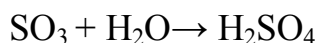


Отриманий із сірководня діоксид сірки (як і SO_2 , що надходить із антропогенних джерел) окислюється далі:



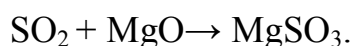
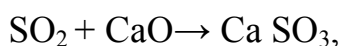
Швидкість трансформації діоксиду сірки за середніх значень концентрацій вільних радикалів у повітрі становить приблизно 0,1 % на годину, що відповідає часу перебування SO_2 в атмосфері, що дорівнює п'яти добам. Процес трансформації діоксиду сірки в повітрі різко прискорюється у промислових регіонах, де спостерігається збільшений уміст вільних радикалів.

Триоксид сірки (сірчаний ангідрид) легко взаємодіє з частками атмосферної вологи й утворює розчини сірчаної кислоти:



Реагуючи з аміаком або іонами металів, що наявні в частках атмосферної вологи, сірчана кислота частково переходить у відповідні сульфати. Здебільшого це сульфати амонію, натрію, кальцію.

Утворення сульфатів відбувається й у процесі окислення на поверхні твердих часток, зважених у повітрі. У цьому разі стадії окислення передують адсорбція, що супроводжується хімічними реакціями з утворенням сульфатів:



Внаслідок взаємодії з молекулярним киснем сульфати переходять у відповідні сульфати.

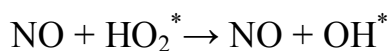
У дощову погоду можливий процес окислення SO_2 після попередньої адсорбції їх краплями атмосферної вологи. У процесі окислення SO_2 у рідкій фазі активну участь беруть іони OH^- і HO_2^- , які утворюються внаслідок фотохімічних перетворень у шарі хмар. Кінцевими продуктами окислення SO_2 як у розчині, так і в газовій фазі, є сірчана кислота, утворена у вигляді мелкодисперсних аерозолів. Аерозолі вимиваються з атмосфери осіданнями й адсорбуються на поверхні землі. Такі явища називаються кислотними дощами. Водневий показник (рН) води кислотних дощів менше 5,6.

У перші моменти після викиду діоксиду сірки до атмосфери практично відсутні частки сірчаної кислоти й сульфатів. Із часом частка SO_2 у повітрі зменшується, одночасно зростає частка сірки у вигляді H_2SO_4 і сульфатів. Кількість сірчаної кислоти в атмосфері досягає максимуму через 10 годин після викиду, а сульфатів – через 30–40 годин.

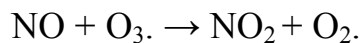
5.4 Трансформація сполук азоту

Сполуки азоту в атмосфері здебільшого представлені оксидами азоту, аміаком і солями амонію, а також азотною кислотою та нітритом.

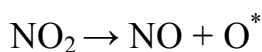
Більшість природних та антропогенних викидів містять оксид азоту NO. У тропосфері NO, взаємодіючи з гідропероксил-радикалом, переходить у діоксид азоту:



Окислення оксиду азоту відбувається також унаслідок взаємодії з озоном:



Під дією сонячного випромінювання відбувається зворотна реакція – частина діоксиду азоту розкладається з утворенням оксиду азоту й атому кисню:



Атомарний кисень утворює в атмосфері озон.

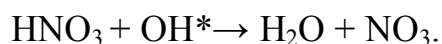
Унаслідок взаємодії діоксиду азоту з гідроксильним радикалом відбувається утворення азотної кислоти:



Утворення азотної кислоти за наведеною вище реакцією є важливою частиною атмосферного циклу сполук азоту. Близько 44 % HNO_3 у тропосфері утворюється внаслідок саме цієї реакції.

Основна кількість азотної кислоти виводиться з тропосфери з атмосферними осіданнями у вигляді розчинів HNO_3 та їхніх солей.

Частина азотної кислоти розкладається з утворенням діоксиду або триоксиду азоту, що знову уключаються до атмосферного циклу його сполук:



Серед нітратів, наявних в атмосфері, переважну більшість становить азотнокислий амоній NH_4NO_3 , який утворюється внаслідок взаємодії відповідних аерозолів кислот та аміаку. Сполуки амонію виводяться з атмосфери з атмосферними опадами й унаслідок процесів сухого осадження.

Варто зазначити, що оксиди азоту надходять до атмосфери у формі NO, який на подальших стадіях перетворюється на NO_2 . Двоокис є токсичнішою

сполукою: $\text{ГДК}_{\text{NO}_2} = 0,2 \text{ мг/м}^3$; $\text{ГДК}_{\text{NO}} = 0,4 \text{ мг/м}^3$. Цю обставину необхідно враховувати під час розробки заходів щодо захисту атмосферного повітря та проведенні відповідного перерахунку.

Наприклад, оксиди азоту в димових газах, що потрапляють до атмосфери з продуктами згорання палива приблизно на 97 % складаються з NO. В атмосферному повітрі близько 80 % NO окислюється в NO₂. Тому склад викидів необхідно привести у відповідність із обліком перетворення частини NO в NO₂.

Приклад. Від нагрівальної печі до атмосфери викидаються оксиди азоту NO_x у кількості 100 г/с. Визначити кількість NO і NO₂, що необхідно враховувати в атмосферному повітрі.

Рішення:

1. Кількість NO₂, NO що міститься в масі NO_x димових газів:

$$M_{\text{NO}_2} = 100 \cdot 0,03 = 3 \text{ г/с};$$

$$M_{\text{NO}} = 100 \cdot 0,97 = 97 \text{ г/с}.$$

2. Маса NO₂, що утворюється під час трансформації NO:

$$M_{\text{NO}_2} = M_{\text{NO}} \cdot a \cdot (M_{(\text{NO}_2)} / M_{(\text{NO})}) = 97 \cdot 0,8 \cdot (46/30) = 119 \text{ г/с},$$

де $a = 0,8$ – частка NO, що окислюється в атмосферному повітрі в NO₂.

$M_{(\text{NO}_2)}$, $M_{(\text{NO})}$ – молекулярна маса двоокису і окислу азоту (46 і 30).

3. Загальна кількість NO₂, яку необхідно враховувати під час розрахунків забруднення атмосфери:

$$M_{\text{NO}_2} = 3 \text{ г/с} + 119 \text{ г/с} = 122 \text{ г/с}.$$

4. Загальна кількість NO, яку необхідно враховувати під час розрахунків забруднення атмосфери:

$$M_{\text{NO}} = M_{\text{NO}} \cdot (1-a) = 97 \cdot (1-0,8) = 19,4 \text{ г/с}.$$

5. Загальна кількість NO_x в атмосферному повітрі в результаті трансформації:

$$M_{\text{NO}_x} = M_{\text{NO}_2} + M_{\text{NO}} = 122 \text{ г/с} + 19,4 \text{ г/с} = 141,4 \text{ г/с}.$$

6 СМОГ І ЙОГО ВИДИ

Трансформація домішок в атмосфері може призвести до утворення смогу.

Смог (від англійських слів smoke – дим, fog – туман) – атмосферне явище, що утворюється за певних метеорологічних умов і високого ступеня забрудненості повітряного басейну. Розрізняють такі види смогів: фотохімічний, лондонський і крижаний.

6.1 Фотохімічний смог

Фотохімічний смог утворюється в ясну сонячну погоду, за низької вологості, температури вище +30 °С, повної відсутності вітру й високої забрудненості повітря. У разі фотохімічного смогу спостерігається поява блакитної димки або білого туману й спричинене цим погіршення видимості. Хімічними сполуками, що забезпечують такі властивості смогу, є озонід вуглецю та пероксиаціл-нітрати (далі – ПАН), що утворюються внаслідок хімічних реакцій вуглеводнів, що перебувають у повітрі, із оксидами азоту та вуглецю під впливом сонячної радіації (фотохімічний ефект).

Смог спричиняє в людей роздратування органів слуху, хімічно діє як окислювач (підсилює корозію металів, призводить до розтріскування гуми).

Фотохімічний смог притаманний таким містам, як Дніпропетровськ, Донецьк, Запоріжжя.

6.2 Лондонський смог

Лондонський смог формується за вологості повітря близько 100 %, температурі 0° С, тривалій штильовій погоді й високій концентрації продуктів згоряння твердого й рідкого палива (SO₂, сажа, NO_x і CO). Спостерігається зазвичай в осінньо-зимовий період, властивий помірним широтам із вологим морським кліматом. Смог отримав свою назву після того, як у Великобрита-

нії відбулась у грудні 1952 р. катастрофічна ситуація, спричинена високою забрудненістю повітря та тривалим штилем протягом двох тижнів. У цей період різко підвищилася кількість легеневих і серцево-судинних захворювань, смертність збільшилася більше ніж у 10 разів. Подібні ситуації повторювалися у грудні 1956 та січні 1957 р. Унаслідок прийнятих заходів із обмеження пилогазових викидів, забруднення атмосферного повітря в Лондоні значно знизилося. Так, у період 1952–1970 рр. викиди сажі під час опалювання житлових будинків скоротилися з 130 тис. т на рік до 10 тис. т, а від промислових підприємств із 50 тис. т до 5,0 тис. т у рік. Сильний туман, що утворився у грудні 1972 р. і висів над містом упродовж двох тижнів, цього разу не призвів до серйозних наслідків для населення.

Смог типу лондонського притаманний Маріуполю, Одесі й іншим приморським містам.

6.3 Крижаний смог

Крижаний смог властивий містам, розташованим у високих (північних) широтах. Він утворюється за температурах нижче -30°C , повному штилі, високій вологості повітря й наявності потужних джерел забруднення атмосфери. За низької температури крапельки водяної пари перетворюються на кришталіки льоду (розміром 5–10 мкм) і зависають у повітрі у вигляді густого білого туману, видимість зменшується до 8–10 м. На кришталіках льоду адсорбуються частинки та молекули пилогазових викидів, унаслідок чого кришталіки льоду опускаються до приземного шару. Дихання в такому тумані унеможлиблюється.

Україні крижаний смог не властивий.

7 ГОЛОВНІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТІВОСТІ ПИЛУ ТА ГАЗІВ

7.1 Щільність пилу

Щільність пилу (часток) – маса одиниці об'єму, яка може бути істинною; така, що здається й насипною.

Дійсна щільність твердої частки визначається як відношення маси її речовини до займаного нею об'єму за вирахуванням об'єму пор і газових включень, які може мати частинка.

Щільність, що здається, визначається як відношення маси частки до займаного нею об'єму, включаючи об'єми пор і газових включень.

Для монолітних твердих і рідких часток щільність, що здається, співпадає з істинною.

Відчутне зменшення щільності, що здається, порівняно з істинною спостерігається в пилу, схильному до коагуляції, до спікання часток (сажа, оксиди кольорових металів тощо). Наприклад, дійсна щільність часток газової сажі становить 1,8–1,9 г/см³, а що здається – близько 0,13 г/см³.

Для розрахунків пиле- й золоуловлювальних апаратів використовують щільність, що здається, оскільки саме вона визначає поведінку часток у газових потоках.

Насипна щільність визначається відношенням маси свіжонасипаних твердих часток до об'єму, що вони займають; при цьому враховується наявність повітряних проміжків між частками.

Значення насипної щільності використовують для визначення об'єму бункерів газоочисних апаратів.

Зі збільшенням однорідності часток за розмірами їхня насипна щільність зменшується, оскільки збільшується відносний об'єм повітряних прошарків. Насипна щільність пилу, що злежався, виявляється у 1,2–1,5 разів більшою за свіжонасипану.

7.2 Дисперсний склад пилу та способи його завдання

Розміри часток золи та пилу характеризуються *дисперсним складом*.

Прийнято розрізняти:

1. Первинні розміри часток – типові для моменту їхнього виникнення,
2. Розміри агрегованих часток – утворюються за коагуляції в пилогазових трактах.
3. Розміри часток після виділення їх із газової фази (пластівці, грудочки).

Для перших двох випадків використовують поняття «*стоксівські розміри часток*» – розміри сферичної частки щільністю 1 г/см^3 , що має таку саму швидкість седиментації (осадження) у газовій фазі, як і дані несферичні частки або агрегати.

Фракція – відносна доля часток, розміри яких знаходяться в певному інтервалі значень, прийнятих як верхня й нижня межі.

Використовують три способи завдання дисперсного складу пилу:

1. Табличний.
2. Графічний.
3. Аналітичний.

7.2.1 Табличний спосіб

Табличне уявлення. Дисперсний склад може подаватися у вигляді таблиці вказівкою:

- а) фракцій, виражених у відсотках від загальної маси (табл. 7.1);
- а) долі часток із розміром більше (дрібніше) наведеного (табл. 7.2).

Таблиця 7.1 – Дисперсний склад золи Донецького вугілля

Розмір частки, мкм	0–5	5–10	10–20	20–30	30–40	40–50	>50
Фракційний склад, %	12	20	30	12	8	5	13

Таблиця 7.2 – Дисперсний склад золи Донецького вугілля

Розмір частки, мкм	>5	>10	>20	>30	>40	>50
Частка з розмірами більше наведеного, %	88	68	38	26	18	13

7.2.2 Графічний спосіб

Графічне уявлення. Дисперсний склад графічно може бути подаватися у вигляді:

- гістограми;
- диференціальної кривої;
- інтегральної кривої.

Гістограму (ступінчастий графік) будують, беручи рівномірний розподіл часток за розмірами всередині кожної фракції. За віссю абсцис відкладають розмір часток фракції, за віссю ординат – відсоток вмісту фракції.

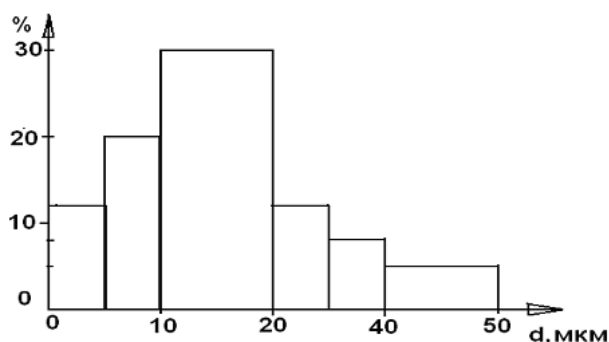


Рисунок 7.1 – Гістограма дисперсного складу золи Донецького вугілля

Диференціальна крива. Для побудови диференціальної кривої розподілу часток за розмірами необхідний:

- відсотковий уміст кожної фракції поділити на різницю граничних розмірів часток відповідної фракції;
- знайдені значення відкласти як ординати крапок, абсциси яких рівні середньому розмірові кожної фракції.

Таблиця 7.3 – Дані дисперсного складу для побудови диференціальної кривої

Розмір частки, мкм	0–5	5–10	10–20	20–30	30–40	40–50
Фракційний склад, %	12	20	30	12	8	5
Ордината	$12/(5 - 0) = 2,4$	$20/(10 - 5) = 4$	$30/(20 - 10) = 3$	$12/(30 - 20) = 1,2$	$8/(40 - 30) = 0,8$	$5/(50 - 40) = 0,5$
Абсциса	$(0 + 5)/2 = 2,5$	$(10 + 5)/2 = 7,5$	$(10 + 20)/2 = 15$	$(20 + 30)/2 = 25$	$(30 + 40)/2 = 35$	$(40 + 50)/2 = 45$

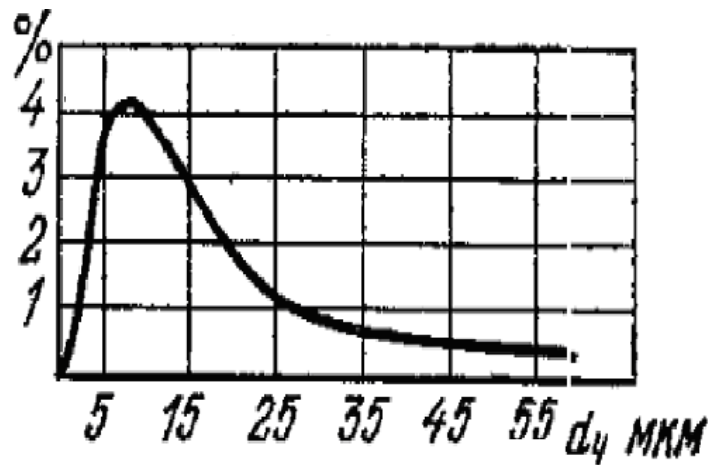


Рисунок 7.2 – Диференціальна крива розподілу часток за розмірами для золи Донецького вугілля

Інтегральна крива – найзручніша форма графічного відображення результатів дисперсного аналізу. Кожна точка кривої показує відносний уміст часток із розмірами більше $R(dч)$ або менше $D(dч)$ певного розміру. Крива $R(dч)$ побудована за даними табл. 7.2)

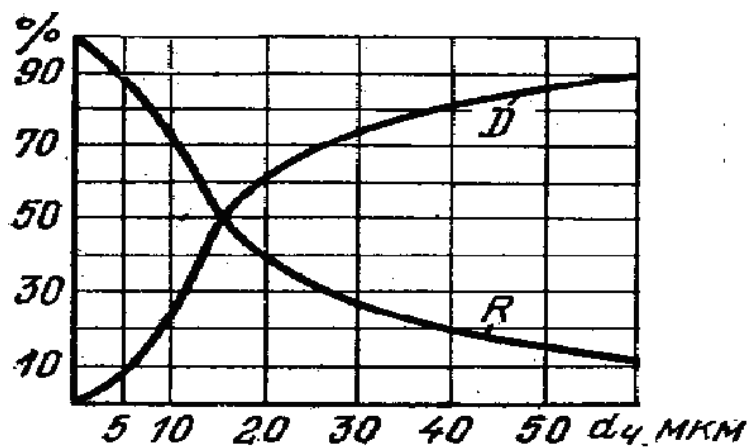


Рисунок 7.3 – Інтегральна крива розподілу часток за розмірами для золи Донецького вугілля:

R – уміст часток із розмірами більше певного розміру $dч$;

D – уміст часток із розмірами менше певного розміру $dч$

7.2.3 Аналітичний спосіб

Розподіл часток за розмірами в газових потоках із урахуванням їхньої агрегації здебільшого виявляється логарифмічно нормальним, навіть якщо розподіл первинних частинок не був таким.

Логарифмічно нормальний розподіл можна записати в такому вигляді:

$$\xi = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma_q} e^{-\frac{\lg^2(d_q/d_m)}{2\lg^2 \sigma_q}}$$

де ξ – питомий уміст часток із розмірами d_q ;

d_m – медіанний розмір часток для даного розподілу (розмір, за якого кількість часток із розмірами $> d_m$ дорівнює кількості часток із розмірами $< d_m$;

σ_q – середньоквадратичне відхилення у функції цього розподілу.

Інтегральна крива для часток із логарифмічно нормальним розподілом може бути записано у вигляді:

$$R(d_q) = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma_q} \int_{+\infty}^{\lg d_q} e^{-\frac{\lg^2(d_q/d_m)}{2\lg^2 \sigma_q}} d(\lg d_q).$$

Якщо зробити підстановку:

$$t = \frac{\lg(d_q/d_m)}{\lg \sigma_q},$$

то рівняння набуде вигляд:

$$R(d_q) = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma_q} \int_{+\infty}^t e^{-t^2/2} dt,$$

де $R(d_q)$ – відносний уміст часток із розмірами більше ніж d_q .

Для часток із логарифмічно нормальним розподілом інтегральні криві розподілу часток за розмірами зручно будувати в імовірнісно-логарифмічній системі координат, у якій криві набувають вигляду прямих ліній. Для побудови такої системи координат за віссю абсцис у логарифмічному масштабі відкладають значення d_q , а за віссю ординат – значення $R(d_q)$ або $D(d_q)$.

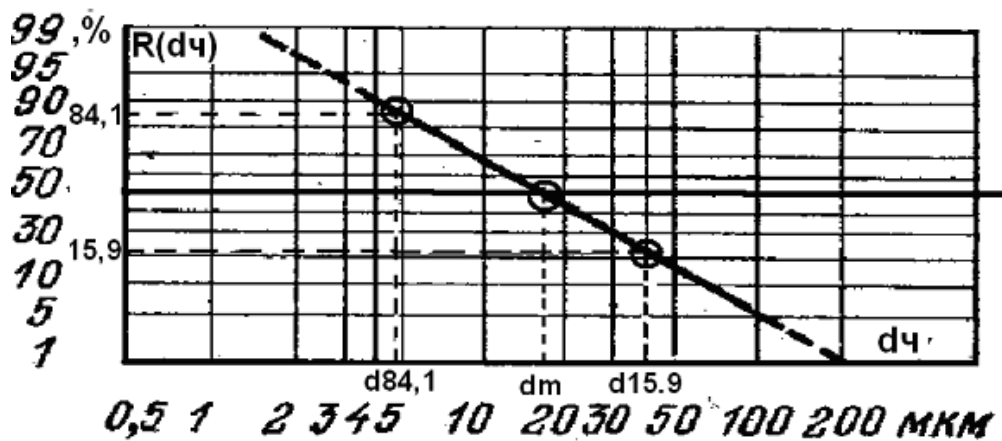


Рисунок 7.4 – Інтегральний розподіл часток за розмірами в імовірнісно-логарифмічній системі координат

У цьому разі функцію розподілу часток за розмірами можна виразити у вигляді двох параметрів: d_m і $\lg\sigma_{ch}$.

Значенню d_m відповідає абсциса точки перетину отриманої прямої з лінією $R(d_{ch}) = 50\%$.

Значення $\lg\sigma_{ch}$ знаходять із виразу, який є властивістю інтегралу вірогідності:

$$\lg\sigma_{ch} = \lg d_{15,9} - \lg d_m = \lg d_m - \lg d_{84,1},$$

де $\lg d_{84,1}$ і $\lg d_{15,9}$ – абсциси крапок, ординати яких мають значення 84,1 і 15,9 відповідно.

У разі порушення логарифмічно нормального розподілу, дисперсний склад в імовірнісно-логарифмічних координатах не буде виражений прямою лінією та не описуватиметься наведеними вище рівняннями.

Для подібних випадків є низка інших формул.

7.3 Аутогезійні властивості пилу

Аутогезійні властивості (аутогезія – злипання) – характеризують зчеплення часток пилу одна з однією.

Одним із найпоширеніших порушень, збоїв у роботі пилогазоочисного обладнання є часткове або повне забивання апаратів або їхніх окремих еле-

ментів продуктом, який уловлюється. Тому злипання є головним критерієм визначення галузі застосування того або іншого типу пиловловлювача.

Золу та пил умовно поділяють на чотири групи за ступенем злипання. В основі поділу лежить значення розривної міцності (сили зчеплення між частками), спеціально сформованих пилових шарів (прилад Андріанова):

1. Що не злипаються, $P \leq 60$ Па; (глиноземна, доломітова).
2. Що слабо злипаються, $60 < P \leq 300$ Па;
3. Що середнє злипаються, $300 < P \leq 600$ Па;
4. Що сильно злипаються $P > 600$ Па (цементний пил із великим умістом вологи).

7.4 Сипучість пилу

Сипучість пилу (тісно співвідноситься з поняттям злипання) є початковим параметром для визначення крутизни стінок бункерів пилогазоочисних апаратів і діаметрів випускних отворів.

Сипучість визначає *статичний і динамічний кути природного відкосу*.

Статичний кут природного відкосу $\alpha_{ст}$ утворюється внаслідок обвалу шару часток під час видалення підпірної стінки. Визначається за допомогою приладу – скляна прямокутна ємність, одна зі стінок якої знімається. У заповненій пилом ємності стінка віддаляється, частина пилу висипається. Пил, що залишився в ємності, має поверхню під певним кутом до горизонту. Цей кут є статичним кутом природного відкосу.

Динамічний кут природного відкосу $\alpha_{дин}$ становить кут між горизонтальною площиною та конусом, отриманим унаслідок насипання пилу на площину.

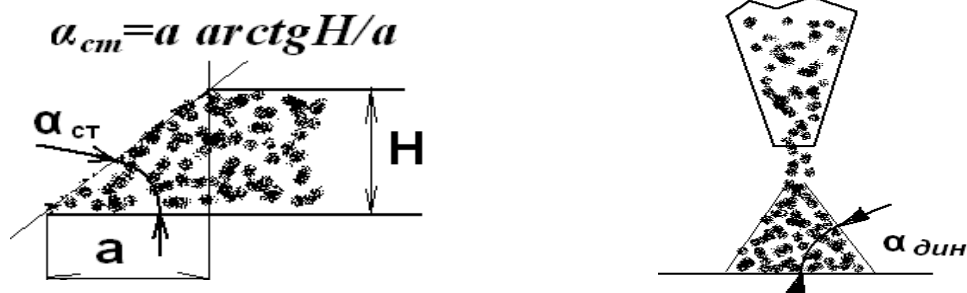


Рисунок 7.5 – Статичний і динамічний кут природного відкосу

7.5 Абразивність пилу

Абразивність пилу – визначає зношення внутрішніх поверхонь пилогазоочисних апаратів. Залежить від твердості, розміру, щільності та форми часток. Оцінюється за *коефіцієнтом абразивності* – визначається втратою ваги зразка, що стирається частками, зваженими в потоці повітря.

7.6 Електричні властивості пилу

Питомий електричний опір (ПЕО) [Ом * м] шару пилу – омичний опір куба пилу із стороною, що дорівнює 1 м, проходженню електричного струму. ПЕО пилу впливає на ефективність роботи обладнання електричного очищення газів, залежить від фізико-хімічних властивостей пилу, температури, вологості.

Електричний заряд часток (далі *ЕЗЧ*) – характеризується ідеальним надмірним зарядом на одиницю маси пилу [Ку/г]. *ЕЗЧ* впливає на ефективність уловлювання частинок, аутогезійні властивості й вибухонебезпеку пилу. Частинки пилу можуть набувати заряду під час адсорбції іонів природного походження, тертя один з одним або об стінки газоходів.

7.7 Змочуваність пилу

Змочуваність пилу (далі *ЗП*)(%) – характеризує її здатність змочуватися водою. Визначають шляхом вимірювання частки змоченого та такого, що занурився на дно судини, порошку, насипаного тонким шаром на поверхню води (*метод плівкової флотації*). *ЗП* впливає на роботу мокрих пиловловлювачів. Під час зіткнення з поверхнею рідини, незмочувані частки залишаються на поверхні, а змочувані занурюються в рідину (гідрофобні та гідрофільні частки). Після заповнення поверхні рідини порошинками очищення газів погіршується, оскільки внаслідок пружного зіткнення (із частками, що раніше осіли на поверхні рідини) частки пилу повертаються до потоку газу й виявляються невловленими.

За змочуваністю пил розподіляють на три групи:

1. Не змочувані – 0 – 30%.
2. Середньо змочувані – 30 – 80%.
3. Добре змочувані – 80 – 100%.

Багато видів пилу через сильно розвинену поверхню часток мають здатність горіти, займатися й утворювати з повітрям пожежо- та вибухонебезпечні суміші. Подібні властивості спостерігають навіть у тому разі, коли початковий матеріал, із якого отримано пил, є негорючим.

7.8 Пожежо- та вибухонебезпечні властивості пилу

Головними характеристиками пожежо- та вибухонебезпечних властивостей пилу є такі:

1. *Температура займання* – найменша температура горючої речовини, за якої швидкості виділення горючої пари забезпечує стійке горіння після займання від зовнішнього джерела.

2. *Температура самозаймання* – найменша температура (суміш пилу з повітрям) за якої відбувається різке збільшення швидкості екзотермічних реакцій, що призводить до виникнення полум'яного горіння.

Пил, зважений у повітрі, може запалати тільки за певних концентраціях.

3. *Діапазон займання* – діапазон концентрацій між верхньою та нижньою межами займання аеросуспензій твердих речовин у повітрі.

Займання розрізняють за швидкістю розповсюдження фронту полум'я: спокійне полум'я – 4–10 м/с; вибух – >100 м/с; детонація – >1 000 м/с.

Вибух характеризується максимальним тиском (P_{\max}), який виникає під час вибуху найбільш пожежо-, вибухонебезпечній суміші в замкненій ємності. P_{\max} використовують під час розрахунку обладнання на вибухостійкість. Вибух може бути *первинним і вторинним*.

Первинний вибух – при найбільших скупченнях пилу поблизу джерела займання.

Вторинний вибух – вибух пилу, піднятого в повітря первинним вибухом.

8 ВЛАСТИВОСТІ ГАЗІВ

Газами, що підлягають очищенню здебільшого, є повітря або димові гази. Властивості газів характеризуються такими параметрами:

- хімічний склад;
- температура;
- тиск;
- в'язкість;
- щільність;
- питома теплоємність;
- ентальпія;
- вологість;
- запиленість;
- витрата (масова або об'ємна).

Щільність, в'язкість, теплоємність, газова постійна й інші істотні показники для процесів пило- й золоуловлювання для повітря та для димових газів, мало відрізняються між собою. Тому за відсутності даних для димових газів значення перерахованих величин можуть прийматися за табличними даними для повітря.

8.1 Способи завдання компонентного складу газів

Хімічний склад. Компонентний склад суміші газів може задаватися масовими або об'ємними частками (або відсотками). Для визначення й перерахунку цих величин використовують такі співвідношення:

$$g_i = \frac{G_i}{G_{cm}} = \frac{V_i \rho_i}{V_{cm} \rho_{cm}} = r_i \frac{\rho_i}{\rho_{cm}} = r_i \frac{M_i}{M_{cm}}$$
$$r_i = \frac{V_i}{V_{cm}} = \frac{\frac{G_i}{\rho_i}}{\frac{G_{cm}}{\rho_{cm}}} = \frac{G_i}{G_{cm}} * \frac{\rho_{cm}}{\rho_i} = g_i * \frac{\rho_{cm}}{\rho_i} = g_i * \frac{M_{cm}}{M_i}$$

де G_i , V_i , ρ_i , M_i – маса, об'єм, щільність, молекулярна маса i -го компоненту газової суміші відповідно;

G_{cm} , V_{cm} , ρ_{cm} , M_{cm} – маса, об'єм, щільність, молекулярна маса газової суміші відповідно;

g_i , r_i – масова та об'ємна частка i -го компоненту суміші відповідно.

8.2 Щільність, в'язкість і теплоємність суміші газів

Щільність(ρ), в'язкість(μ) і теплоємність(C) суміші газів, що складається з n компонентів, концентрації яких відомі, знаходять за співвідношеннями:

$$\rho_{см} = r_1\rho_1 + r_2\rho_2 + \dots + r_n\rho_n, \text{ кг/м}^3,$$

$$\mu_{см} = \rho_{см} \left(\frac{\mu_1}{r_1\rho_1} + \frac{\mu_2}{r_2\rho_2} + \dots + \frac{\mu_n}{r_n\rho_n} \right), \text{ н * с/м}^2;$$

$$C_g = g_1C_1 + g_2C_2 + \dots + g_nC_n, \text{ Дж/кг } ^\circ\text{К (завдання складу масовими}$$

частками);

$$C_r = r_1C_1^I + r_2C_2^I + \dots + r_nC_n^I, \text{ Дж/м}^3 \text{ } ^\circ\text{К (завдання складу об'ємними}$$

частками)

Теплоємність (питома теплоємність) – кількість тепла, яка необхідна для нагрівання одиниці кількості речовини (1 кг, 1 м³, 1 кмоль) на 1 °К.

Кількість газу може виражатися в кг, м³, моль. Відповідно, теплоємність може бути:

C – масова, Дж/кг К.

C^I – об'ємна, Дж/м³ К.

C^u – молярна Дж/кмоль К.

Розрізняють теплоємність при постійному тиску (ізобарна) – C_p та постійному об'ємі C_v (ізохорна). $C_p > C_v$.

Теплоємність реальних газів залежить від температури та тиску. На практиці, під час проведенні розрахунків, C можна вважати постійною.

Щільність і в'язкість димових газів під час спалювання палив (із достатньою для практичних розрахунків точністю) можна прийняти рівними щільності й в'язкості повітря при тих самих значеннях температури та тиску.

Ентальпія(i) – кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання 1 кг речовини від 0°C до заданого значення при постійному тиску:

$$i = C_p t$$

Кількість тепла Q , що передається 1 кг газу при постійному тиску дорівнює різниці ентальпій початкового і кінцевого станів газу:

$$Q = i_2 - i_1$$

8.3 Вологість газів і способи її завдання.

Зв'язок між параметрами вологого повітря, « $i-d$ »-діаграма

Водяна пара практично завжди присутня в повітрі та димових газах. Вологість газів можна задати п'ятью способами.

1. Концентрацією водяної пари, віднесеною до 1м³ газу:

f , г/м³ – сухий газ за нормальних умов: 0°C , 101,3 кПа.

f^d , г/см³ – вологий газ за нормальних умов: 0°C , 101,3 кПа.

f^{II} , г/см³ – вологий газ при фактичній температурі та тиску.

2. Парціальним тиском водяної пари (P_w) – добуток об'ємної частки пари (r) на загальний тиск суміші (P):

$$P_w = r * P.$$

3. Об'ємним відсотком:

$$r_{\%} = \frac{P_w}{P} 100, \%$$

4. Абсолютною вологістю (d) – кількістю водяної пари ($G_{\text{вп}}$), віднесена до одиниці маси сухого газу ($G_{\text{сг}}$):

$$d = \frac{G_{\text{вп}}}{G_{\text{сг}}}, \text{ кг H}_2\text{O/кг сухого газу.}$$

5. Відносною вологістю(φ)— ступінь наближення до насиченого стану за рівних умов (відношення кількості водяної пари за рівних умов до кількості водяної пари у разі насичення для тих самих умов):

$$\varphi = \frac{f^{II}}{f_{нас}^{II}} = \frac{f^I}{f_{нас}^I} = \frac{P_w}{P_{w...нас}}$$

Зв'язок між різними способами завдання вологості виражається такими співвідношеннями:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f^I} - \frac{1}{804}; \quad f^I = 804 \frac{P_w}{P}; \quad f^{II} = \frac{0,36P}{(273+t) \left[\left(\frac{1}{f} \right) + \left(\frac{1}{804} \right) \right]}$$

У розрахунках часто використовують поняття «Точка роси».

Точка роси – це температура, за якої газ перебуває у стані насичення парами води або іншої рідини й за якої починається випадіння конденсату.

Найпоширенішою рідиною, що конденсується, у димових газах є сірчана кислота. Кислота утворюється під час спалювання вугілля й інших сірковмісних палив унаслідок реакції оксидів сірки з парами води.

Якщо вологість газів задана, то їхня щільність може визначатися за формулами:

$$\rho_{овл} = \frac{\rho_{осух} + f}{1 + \frac{f}{0,804}}, \text{ кг/м}^3$$

де $\rho_{осух}$ – щільність сухого газу за нормальних умов;

0,804 – щільність водяної пари за нормальних умов кг/м³.

Зв'язок між параметрами вологого повітря можна визначити за допомогою «*i-d*» діаграми (рис. 7.6). Ця діаграма дозволяє швидко визначати параметри вологого повітря.

У «*i-d*»-діаграмі (рис. 7.6) по вісі абсцис відкладається вологомісткість d (г/кг сухого повітря), а за віссю ординат – ентальпія i (кДж/кг сухого повітря). Лінії $d = const$ розташовуються вертикально, а лінії $I = const$ –

під кутом 45° (діаграма побудована в косокутній системі координат з кутом між вісями 135°).

Лініями $\varphi = const$ є криві, що розходяться, опуклістю до гори. Лінія насичення $\varphi = 100\%$, що характеризує стан насиченого вологого повітря, поділяє діаграму на дві частини: вище за лінією розташована галузь ненасиченого вологого повітря, що є основною, робочою частиною діаграми, нижче – галузь пересиченого вологого повітря (тут надмірна волога перебуває у краплинному стані).

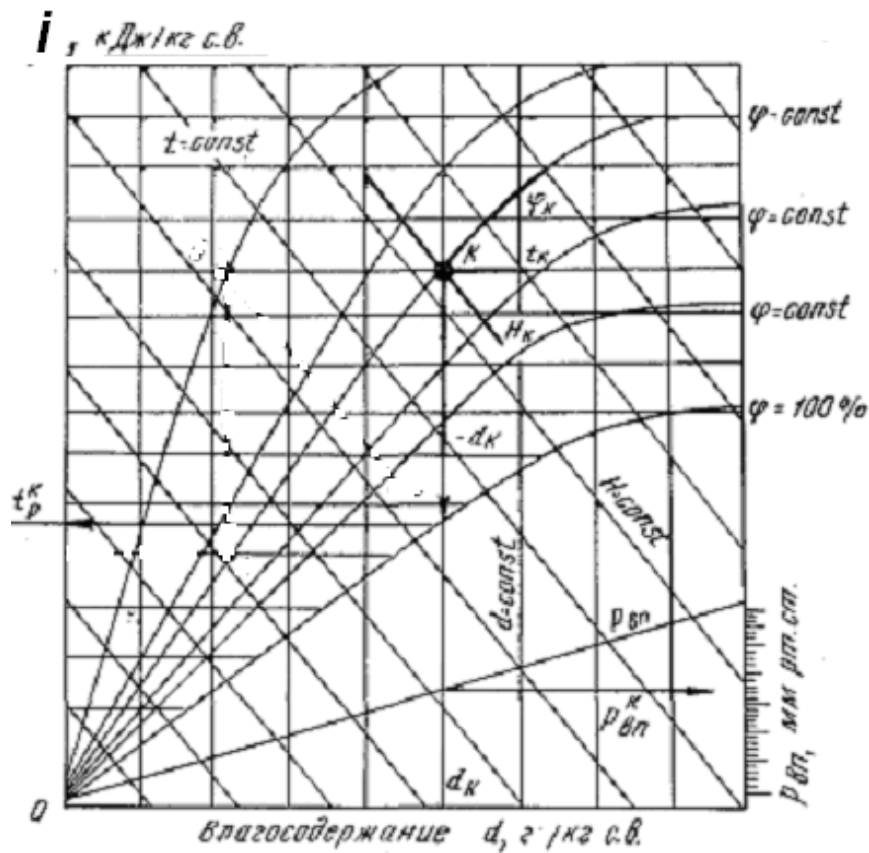


Рисунок 8.1 – « $i-d$ » – діаграма вологого повітря

Будь-яка точка на діаграмі позначає певний фізичний стан вологого повітря.

Діаграма дає змогу за відомих температур (t_k) та відносної вологості (φ_k) знайти значення ентальпії (i_k), вологовмісту (d_k), парціального тиску водяної пари (p_{vk}^k) і температуру «точки роси» (t_p^k). Визначення цих величин для точки K наведено на « $i-d$ » – діаграмі (рис. 8.1).

9 ГОЛОВНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ МІСТА – ГДК, ОБРВ

Якість атмосферного повітря – це сукупність його властивостей, що визначає ступінь дії фізичних, хімічних і біологічних чинників на людей, рослинний і тваринний світ, а також на матеріали, конструкції та навколишнє середовище в цілому.

Висока концентрація забруднювальних речовин в атмосферному повітрі знижує його якість, оскільки завдає збитку здоров'ю населення, сільськогосподарському виробництву, промисловості, рослинному та тваринному світу, пам'ятникам мистецтва, архітектури та іншим об'єктам. Зниження продуктивності праці, підвищення захворюваності людей і тварин, зниження врожайності сільськогосподарських культур, погіршення товарного виду продукції – також результат високої концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

Якість атмосферного повітря може вважатися задовільною, якщо вміст домішок у ньому не перевищує гранично допустимих концентрацій.

Гранично допустима концентрація шкідливих речовин (далі ГДК), кількісно характеризує такий вміст шкідливих речовин в атмосферному повітрі, при якому на людину та навколишнє середовище не здійснюється ні прямої, ні опосередкованої шкідливої дії.

ГДК – це максимальна концентрація домішки в атмосфері, віднесена до певного часу осереднювання, яка при періодичній дії або впродовж всього життя людини не надає на неї та на навколишнє середовище загалом прямої або опосередкованої дії, включаючи зокрема віддалені наслідки.

Під прямою дією розуміється нанесення організму людини тимчасової негативної дії, що спричиняє відчуття запаху, кашель, головний біль. У разі накопичення в організмі шкідливих речовин вище певної дози можуть виникати патологічні зміни окремих органів або організму загалом.

Під опосередкованою дією розуміються такі зміни в навколишньому середовищі, які, не роблячи шкідливого впливу на живі організми, погіршують звичайні умови проживання: уражаються зелені насадження, збільшується кількість туманних днів тощо.

ГДК уперше були введені до СРСР. Первинний перелік ГДК був складений у 1952 р. і включав шість речовин – пил, сірчистий ангідрид, оксид вуглецю тощо. Цей перелік постійно розширювався та на сьогодні містить понад 2000 речовин.

Головним критерієм встановлення нормативів ГДК для оцінки якості атмосферного повітря є дія забруднювальних речовин, що містяться в повітрі, на організм людини.

Для оцінки якості атмосферного повітря встановлено дві категорії ГДК: максимально разова – ГДК м р. і середньодобова – ГДКс.д.

ГДКм.р. – головна характеристика небезпеки шкідливої речовини. Встановлюється для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світлової чутливості, біоелектричної активності головного мозку) у разі короткочасної дії атмосферних домішок. По цьому нормативу оцінюються речовини, що володіють запахом або впливають на інші органи чуття людини.

ГДКс.д. – встановлюється для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного й іншого впливу речовини на організм людини. Речовини, що оцінюються за цим нормативом, володіють здатністю тимчасово або постійно накопичуватися в організмі людини.

Дія речовин, для яких не встановлені ГДК, оцінюється за орієнтовним безпечним рівнем дії речовини, що забруднює атмосферу (далі ОБРВ).

ОБРВ – тимчасовий гігієнічний норматив для забруднювальної речовини, що встановлюється розрахунковим методом для цілей проектування промислових об'єктів.

Значення ГДК (мг/м³) і клас небезпеки забруднювальних речовин, які часто зустрічаються в атмосфері, приведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Значення ГДК (мг/м³) і клас небезпеки забруднювальних речовин

Код	Речовина	ГДК _{м.р.}	ГДК _{с.д.}	ГДК _{р.з.}	Клас небезпеки
301	Азота двоокис	0,2	0,04	2,0	2
304	Азота окис	0,4	0,06	5,0	3
1301	Акролеїн	0,03	0,03	0,2	2
303	Аміак	0,2	0,04	20,0	4
1401	Ацетон	0,35	0,35	200,0	4
703	Бенз(а)пірен		0,000001	0,00015	1
2704	Бензин (нафт. в пер. на С)	5	1,5		4
602	Бензол	1,5	0,1	5,0	2
316	Водород хлористий	0,2	0,2	5,0	2
2903	Зола сланцева	0,3	0,1		3
302	Кислота азотна	0,4	0,15		2
322	Кислота сірчана	0,3	0,1	2,0	2
326	Озон	0,16	0,03	0,1	1
2907	Пил неорг., із вмістом SiO ₂ : > 70 %	0,15	0,05		3
2908	20 – 70 %	0,3	0,1		3
2909	< 20 %	0,5	0,15		3
2918	Пил цементного виробництва	–	0,02		3
2917	Пил бавовняного походження	0,5	0,05		3
183	Ртуть металева		0,0003	0,2	1
328	Сажа	0,15	0,05		3
184	Свинець та його сполуки	–	0,0003	0,01	1
333	Сірководень	0,008	–	10,0	2
330	Ангідрид сірчастий	0,5	0,05		3
2748	Скипидар	2	1		4
337	Вуглецю окис	5	3	10,0	4
194	Вугільна зола ТЭС	0,05	0,02		2
1071	Фенол	0,01	0,03	0,3	2
1325	Формальдегід	0,035	0,003		2
349	Хлор	0,1	0,03		2

Установлені також тимчасові нормативи ГДК забруднювальних речовин в атмосферному повітрі для деревинної рослинності – ГДК_л. (табл. 9.2).

Таблиця 9.2 – Тимчасові нормативи забруднювальних речовин в атмосферному повітрі для деревинної рослинності

Найменування забруднювальної речовини в атмосферному повітрі	ГДК _{л.м.р.} (мг/м ³)	ГДК _{л.с.д.} (мг/м ³)
Азоту оксид (у перерахунку на NO ₂)	0,04	0,02
Аміак	0,1	0,04
Бензол	0,1	0,05
Метанол	0,2	0,1
Пари сірчатої кислоти (H ₂ SO ₄)	0,1	0,03
Ангідрид сірчастий	0,3	0,02
Сірководень	0,008	0,008
Тверді частки (пил)	0,2	0,05
Циклогексан	0,2	0,2
Формальдегід	0,2	0,003
Фтористі сполуки (у перерахунку на фтор)	0,02	0,005

9.1 Порядок встановлення ГДК

Величини ГДК встановлюються на підставі вивчення впливу речовин на організм людини. Для цього проводять дослідження на тваринах, а також в окремих випадках на мешканцях (наприклад, для визначення порогових значень запахів).

Люди по-різному реагують на забруднення повітря. Концентрації забруднювальних речовин, які не впливають на одних людей можуть впливати на інших (наприклад, на дітей, а також на людей, які мають вади зі здоров'ям).

Порогова концентрація встановлюється на підставі реакції у найчутливіших людей. Нормативні величини ГДК встановлюються стосовно порогових величин зазвичай із *двократним* запасом. Тому у разі підвищення норм

ГДК у два рази збільшення кількості захворювань серед населення та скарг зазвичай не спостерігається.

В окремих випадках щодо особо небезпечних речовин величини ГДК встановлюються з великим запасом стосовно порогової величини впливу на організм. Так, під час встановлення ГДК для бенз(а)пірена, який має канцерогенний ефект, було прийнято десятикратний запас, тобто більше звичайного в п'ять разів.

Для речовин, що мають шкідливий вплив у разі накопичення в організмі, встановлюють середньодобові гранично – допустимі концентрації (ГДК с.д.). При цьому маються на увазі середньодобові концентрації за рік, а не в окрему добу. Наприклад, ГДК для свинцю встановлена з розрахунку запобігання накопиченню в організмі такої кількості речовини за 70 років життя людини, при якій почне виявлятися його негативна дія у вигляді звуження судин, руйнування нервової системи й інших явищ.

Якщо концентрація свинцю в атмосферному повітрі в окрему добу значно перевищує ГДК, що дорівнює $0,0003 \text{ мг/м}^3$, то це не є порушенням санітарних норм за умови, що в середньому за рік вона витримується в межах нормативної величини.

Для тих речовин, які володіють негайною негативною дією, накопичуються в організмі і викликають патологічні зміни, встановлюють ГДК м.р. і ГДК с.д. При цьому, якщо поріг разової дії речовини на організм більше порогу середньодобової дії, то для речовини встановлюються різні величини ГДК м.р. і ГДК с.д. Наприклад, для оксиду вуглецю ГДК м.р. = 5 мг/м^3 , а ГДК с.д. = 3 мг/м^3 .

Нормативи ГДК є єдиними для всієї території України. У необхідних випадках для окремих районів встановлюються більш жорсткіші нормативи ГДК забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Зокрема, такі нормативи встановлені для окремих заповідних зон. Для зон санітарної охорони курортів, місць розміщення крупних санаторіїв і будинків відпочинку, а також

зон відпочинку міст ГДК встановлена на 20 % менше, ніж для житлових районів.

Встановлені нормативи для робочої зони (ГДК р.з.), по санітарно-гігієнічних вимогах зазвичай значно більше, ніж ГДК для населених місць. Це пояснюється тим, що на підприємстві люди проводять тільки частину доби і, крім того, там не можуть перебувати діти та літні люди з ослабленим організмом.

Критерії до чистоти повітря робочої зони менш жорсткі. Наприклад, у житловому районі не допускається відчуття сторонніх запахів, щоб уникнути дискомфорту.

У робочій же зоні потрібно не завдати збитку здоров'ю під час перебування працівників на роботі. Так, ГДК по сірководню для житлових районів встановлена $0,008 \text{ мг/м}^3$ із двократним запасом з огляду на те, що найчутливіші люди відчувають запах сірководню при концентрації $0,016 \text{ мг/м}^3$, а для робочої зони ГДК встановлено 10 мг/м^3 . За цієї концентрації запах відчувається, але шкоди організму не наноситься.

Для території промислових майданчиків ГДК не розроблялися. Проте відповідно до санітарних норм у місцях воздухозаборів величина концентрації шкідливих речовин не повинна перевищувати 30 % від ГДК для робочої зони. Оскільки повітря в більшість приміщень надходить через вікна та інші аераційні отвори, ця величина (30 % ГДК р.з.) умовно приймається як ГДК для промислової території.

Для приміщень, де працюють ЕОМ, у деяких випадках ГДК встановлюється не за гігієнічних, а за технічних міркувань і буває на порядок жорсткішою, ніж ГДК для таких самих речовин в інших цехах. Дотримання технічних вимог за чистотою повітря в приміщенні, де розташована ЕОМ, може бути досягнуте шляхом очищення невеликої кількості повітря з використанням системи кондиціонування.

9.2 Ефект сумації

Деякі речовини у разі одночасної присутності в атмосферному повітрі володіють одно направленою дією, тобто ефектом сумації. У цьому разі під час оцінки якості атмосферного повітря повинна виконуватися така умова:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \frac{C_3}{ГДК_3} + \dots + \frac{C_n}{ПГК_n} \leq 1,$$

де C_1, C_2, \dots, C_n – концентрація кожної з речовин, що володіють ефектом сумації, мг/м³;

ГДК₁, ГДК₂ ..., ГДК_n, – гранично допустимі концентрації цих речовин.

Перелік речовин, що володіють ефектом сумації, постійно доповнюється та на сьогодні налічує 51 групу речовин однонаправленої дії.

Ефектом сумації володіють такі речовини:

- акрілова і метакрилова кислоти;
- акрілова і метакрилова кислоти, бутилакрилат, бутилметакрилат, метилакрилат, метилметакрилат;
- аміак і сірководень;
- аміак, сірководень і формальдегід;
- аміак і формальдегід;
- азоту діоксид і оксид, мазутна зола, сірки діоксид;
- азоту діоксид, гексан, вуглецю оксид і формальдегід;
- азоту діоксид, гексен, сірки діоксид, вуглецю оксид;
- азоту діоксид і сірки діоксид;
- азоту діоксид, сірки діоксид, вуглецю оксид, фенол;
- ацетон, акролеїн і фталевий ангідрид;
- ацетон, трикрезол і фенол;
- ацетон і фенол;
- ацетон і ацетофенон;
- ацетон, фурфурол, формальдегід і фенол;
- ацетальдегід і винилацетат;
- аерозолі п'ятиокису ванадію та оксидів марганцю;

- аерозолі п'ятиокису ванадію та сірчистий ангідрид;
- аерозолі п'ятиокису ванадію та триокиси хрому;
- бензол і ацетофенон;
- валеріанова, капронова та масляна кислоти;
- вольфрамівій і сірчистий ангідриди;
- гексахлоран і фозалон;
- 2,3-дихлор-1,4-нафтахинон і 1,4-нафтахинон;
- 1,2-дихлорпропан, 1,2,3-трихлорпропан і тетрахлоретилен;
- ізопропілбензол і гідроперекис ізопропілбензолу;
- ізобутенілкарбінол і диметилвинилкарбінол;
- метілгідропіран і метилентетрагідропірен;
- моно-, ди- і трипропиламін;
- миш'яковистий ангідрид і свинцю ацетат;
- миш'яковистий ангідрид і германій;
- озон, двоокис азоту та формальдегід;
- пропіонова кислота та пропіоновий альдегід;
- свинцю оксид, сірки діоксид;
- сірководень, формальдегід;
- сірчаноокислі мідь, кобальт, нікель і сірки діоксид;
- сірки діоксид, оксид вуглецю, фенол і пил конвертерного виробництва;
- сірки діоксид і фенол;
- сірки діоксид і фтористий водень;
- сірки діоксид і триокис сірки, аміак і оксиди азоту;
- сірки діоксид і кислота сірчана;
- сірки діоксид і нікель металевий;
- сірки діоксид і сірководень;
- сірководень і динил;
- сильні мінеральні кислоти (сірчана, соляна і азотна);
- вуглецю оксид і пил цементного виробництва;
- оцтова кислота й оцетовий ангідрид;

- фенол і ацетофенон;
- фурфурол, метиловий і етиловий спирти;
- циклогексан і бензол;
- етилен, пропилен, бутилен і амилен;
- оцтова кислота, фенол, етилацетат.

10 СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

Дані спостережень за концентраціями домішок (q_i) (на стаціонарних та маршрутних постах, під факелами підприємств) розглядаються як сукупність випадкових величин – одиничних разових показників забруднення атмосфери.

Для систематизації та оцінки рівня забруднення атмосфери за даний період зазвичай застосовуються такі статистичні характеристики:

– *середнє арифметичне значення концентрації домішки* – визначає середню концентрацію домішки (середньодобова, – середньомісячна, середня за рік, середня багаторічна):

$$\bar{q}_c = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}, \text{ мг/м}^3$$

де q_i – кількість разових концентрацій, отриманих за відповідний період.

– *середньо-квадратичне відхилення результатів вимірювань від середнього арифметичного* – статистична характеристика низки випадкових величин, що дає змогу оцінити розкид щодо середнього значення:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n-1}}, \text{ мг/м}^3$$

(разові або середньодобові концентрації – щодо середньомісячного або середньорічного значення);

– середньомісячні концентрації щодо середньорічного значення або середнього багаторічного значення);

– *коефіцієнт варіації V* – дає ступінь мінливості концентрації домішки (безрозмірна величина):

$$V = \frac{\sigma}{\bar{q}}$$

– максимальне значення концентрації домішки – q_m – максимальне значення з разових, з середньодобових, з середньомісячних, з середньорічних концентрацій домішки. Обирають як найбільше значення з варіаційного ряду, що зменшується, відповідні концентрації за даний період.

– максимальна концентрація домішки із заданою вірогідністю P її перевищення – отримують з припущення логарифмічно нормального розподілу концентрацій домішок у атмосфері щодо заданої вірогідності її перевищення.

$$q_M^P = \frac{\bar{q} \exp Z \sqrt{\ln(1+V^2)}}{\sqrt{1+V^2}} ,$$

P, %	Z
0,1	3,08
1,0	2,33
5,0	1,65

– де q – середня концентрація.

Використовується для оцінки вірогідності появи концентрацій, що перевищують заданий рівень.

– індекс забруднення атмосфери окремою домішкою (далі ІЗА) – I_i – кількісна характеристика рівня забруднення атмосфери домішкою, що враховує відмінність у швидкості зростання ступеня шкідливості речовин, приведеної до шкідливості діоксиду сірки у процесі збільшення перевищення ГДК:

$$I_i = \left(\frac{\bar{q}}{ПДК_{c.c.}} \right)^{C_i} ,$$

де C_i – константа, що приймає значення = 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 для відповідно 1, 2, 3, 4 класу небезпеки речовин, що дозволяє привести ступінь шкідливості і-ї речовини до ступеня шкідливості діоксиду сірки. Розрахунок індексу забруднення атмосфери заснований на припущенні, що на рівні ГДК усі шкідливі речовини характеризуються однаковим впливом на людину. Унаслідок подальшого збільшення концентрації ступінь їхньої шкідливості зростає з різною швидкістю, яка залежить від класу небезпеки речовини;

– комплексний індекс забруднення атмосфери I_n (далі КІЗА)- кількісна характеристика рівня забруднення атмосфери, який утворюється речовинами, що присутні у повітрі міста (або району):

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i ,$$

де n – кількість даних домішок (може включати усі забруднюючі речовини, присутні у атмосфері міста, або тільки пріоритетні речовини, що визначають стан атмосфери).

Використовується щодо порівняння ступеню забруднення атмосфери у різних містах і регіонах;

– *фонова концентрація* – C_f – статистично вірогідна максимальна концентрація домішки, що створюється всіма джерелами викидів, зокрема використовуване джерело. Вона є характеристикою забруднення атмосфери й визначається як значення концентрації, яке перевищується не більше ніж у 5 % випадків від загальної кількості спостережень.

11 СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТАХ

Моніторинг атмосферного повітря – стеження за його станом і попередження про критичні ситуації, шкідливих або небезпечних для здоров'я людей і інших живих організмів.

Для забезпечення моніторингу в розвинених країнах створені автоматизовані системи контролю забруднення повітря (далі АСКЗВ).

Завдання, які вирішують АСКЗВ:

- автоматичне спостереження та реєстрація концентрацій забруднюючих речовин;
- аналіз отриманої інформації з метою визначення фактичного стану забруднення повітряного басейну;
- вживання екстрених заходів по попередженню забруднення;
- прогноз рівня забруднення;
- вироблення рекомендацій для поліпшення стану навколишнього середовища;
- уточнення та перевірка розрахунків розсіювання домішок.

АСКЗВ розраховані на вимірювання концентрацій одного або декількох інгредієнтів з такого ряду: SO_2 ; CO ; NO_x , O_3 , C_mH_n , H_2S , NH_3 , зважених речовин. Разом із вимірами концентрації зазвичай проводять визначення вологості, температури, напряму та швидкості вітру.

АСКЗВ промислово розвинених країн оснащені приладами на основі сенсорів. Розрізняють електрохімічні, амперметричні, напівпровідникові, п'єзокварцові, фотометричні сенсори з використанням волоконної оптики й індикаторних трубок, біосенсори, сенсори на поверхнево-активних волокнах тощо.

АСКЗВ функціонують на рівні окремих підприємств, міста, регіону, а також на національному та міждержавному рівнях.

Одна з перших АСКЗВ створена в США, у Чикаго у 1965 році. Зараз ця система має близько 50 автоматичних контрольно-вимірвальних станцій, що вимірюють концентрацію вуглецю оксиду, швидкості й напрямку вітру. Кожні 15 хвилин здійснюється введення даних в ЕОМ.

У разі перевищення порогових концентрацій подається сигнал «тривога» (при фіксації перевищення встановленого рівня концентрації протягом чотирьох годин або у разі несприятливого метеопрогнозу на найближчих 12 годин).

Сигналу «тривога» передбачає «режим особливого спостереження», що оголошується при прогнозуванні застою повітря протягом найближчих 24 годин або у разі перевищення середнього значення концентрації інгредієнта за дві години певного рівня.

«Індекс забруднення», який формується системою, щодня передається по радіо, телебаченню, публікується у пресі.

Використовується чотири оцінки якості повітря: хороший, задовільний, незадовільний і небезпечний для здоров'я.

Роботи з АСКЗВ у США координує Федеральне агентство з довілля охорони (далі ЕРА). Нині у США функціонує близько 500 вимірвальних пунктів з контролю атмосферного повітря. Уся територія країни розбита на 247 контрольних районів із приблизно однотипними метеоумовами, рельєфом, промисловим потенціалом, у яких функціонують або вводяться в дію АСКЗВ.

Під час виявлення локального підвищення концентрацій приймаються заходи відносно прилеглих підприємств.

У Японії діє більше 2 000 автоматичних контрольно-вимірвальних станцій, що здійснюють безперервний моніторинг атмосферного повітря. 1 320 станцій ведуть спостереження за вмістом SO₂; 885 – NO_x, 287 – природо-рожні станції стеження за автомобільними викидами. Спостереження проводяться у 25 зонах.

Дисплеї й електронні табло встановлені на центральному пункті відповідної системи та на вулицях міст. Інформація демонструється у вигляді таблиць, графіків, висвічується на карті міста у вигляді зон забруднення.

Більшість станцій мають зворотний зв'язок із підприємствами. У Токіо зворотний зв'язок встановлений з 200-ми підприємствами, що спалюють 90 % палив. Окремі прилади безпосередньо блокуються з дозаторами палива.

Ведучою у Західній Європі у галузі розробки АСКЗВ є фірма «Філіпс» (Голландія).

Мережа контролю забруднення в Голландії складається з 200 автоматичних контрольно-вимірювальних станцій, пов'язаних із телефонними каналами з ЕОМ, встановленими в дев'яти регіональних центрах, які підключені до головного комп'ютера національного центру.

Станції вимірюють SO_2 ; CO ; NO_x ; O_3 ; C_mH_n ; H_2S ; NH_3 та інші інгредієнти, типові для даної місцевості.

Крім того, 40 станцій обладнані датчиками для вимірювання температури, вологості повітря та сонячної радіації.

Центр має лінії прямого зв'язку з аналогічними центрами Бельгії та Німеччини.

Із досягненням порогових рівнів концентрацій на карті району вмикається світова сигналізація, місцевим органам й на відповідні підприємства відправляються повідомлення для усунення критичної ситуації.

Аналіз роботи зарубіжних АСКЗВ дає змогу дійти таких висновків:

- системи істотно відрізняються кількістю контрольних пунктів, є тенденція до збільшення кількості стаціонарних станцій і застосування пересувних;
- частота опиту станцій різна: від трьох разів на добу до 60 разів на годину;
- як канали зв'язку використовуються: телефонні лінії, радіоканали, телеграфний канал;
- перелік інгредієнтів, які контролюються, приблизно однаковий;

- обов'язковим є контроль метеопараметрів;
- станції зазвичай працюють в автоматичному режимі;
- кожна система має центральний обчислювальний комплекс;
- системи мають зворотний зв'язок із підприємствами – джерелами забруднення;
- удосконалення систем здійснюється шляхом використання більш сучасної техніки, з'єднання локальних систем у регіональні, загальнодержавні, інтернаціональні.

У країнах СНД розроблена низка модифікацій АСКЗВ, виготовлені зразки, проведені випробування. Проте до теперішнього часу не вдалося повною мірою організувати їх серійне виготовлення та широке застосування. Причини ситуації, що склалася:

- низька експлуатаційна надійність і якість приладів і газоаналітичного обладнання;
- відомча роз'єднаність організацій, дефіцит матеріальних і фінансових ресурсів.

12 ПОРЯДОК СПОСТЕРЕДЖЕННЯ ЗА РІВНЕМ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ СНД

12.1 Пости спостереження

В Україні та в країнах СНД спостереження за рівнем забруднення атмосфери здійснюються за допомогою постів.

Пости спостереження розміщуються в павільйоні або на автомобілі, обладнаному відповідними приладами.

Встановлено три категорії постів спостережень:

- стаціонарний;
- маршрутний;
- пересувний (підфакельний).

Стаціонарний пост призначений для безперервної реєстрації вмісту забруднювальних речовин або регулярного відбору проб повітря для подальшого аналізу. Виділяються опорні стаціонарні пости – для виявлення довготривалих змін вмісту головних і найпоширеніших забруднювальних речовин.

Маршрутний пост призначений для регулярного відбору проб повітря у фіксованій точці місцевості під час спостережень, які проводяться за допомогою спеціального обладнаного автомобіля – лабораторії.

Пересувний (підфакельний) пост призначений для відбору проб під димовим факелом із метою виявлення зони впливу певного джерела. Спостереження під факелом проводяться за допомогою лабораторії, яка змонтована у автомобілі. Підфакельні пости розташовуються у визначених точках на фіксованих відстанях від джерела. Вони пересуваються у відповідності з напрямом факела джерела, яке обстежується.

Розміщення постів здійснюється на відкритому провітрюваному майданчику з покриттям, що не порошить; у місцях, що виключають спотворення результатів вимірювань через наявність зелених насаджень, будівель та інших об'єктів.

Стационарні й маршрутні пости розташовуються в місцях, вибраних на підставі попереднього дослідження забруднення атмосфери. Зазвичай пости розташовують у центральній частині населеного пункту, у житлових районах із різним типом забудови, насамперед у найбільш забруднених; на територіях, прилеглих до магістралей найбільш інтенсивного руху транспорту, а також у зонах відпочинку.

До найбільш забруднених районів належать зони найбільших максимальних разових і середньодобових концентрацій, які створюються викидами промислових підприємств (у радіусі 0,5–2 км від низьких джерел і 2–3 км від високих).

Підфакельні пости розташовують з урахуванням очікуваних найбільших концентрацій на відстанях 0,5; 1; 2; 3; 10 км від межі санітарно-захисної зони або джерела забруднення атмосфери з підвітряної сторони від нього. Напрямок факела визначається шляхом візуального спостереження за хмарою диму або за напрямом вітру, якщо димова хмара відсутня.

Необхідна кількість постів встановлюється залежно від таких чинників:

- чисельності населення;
- площі населеного пункту;
- рельєфу місцевості;
- особливостей розміщення та потужності промислових підприємств;
- розташування магістралей з інтенсивним рухом;
- розташування місць відпочинку та курортних зон;
- метеоумов.

На підставі результатів теоретичних досліджень розповсюдження домішок, можна припустити складність розподілу їхніх концентрацій в атмосфері на території міста. Тому багато фахівців вважають, що для контролю забруднення повітря у місті необхідно встановлювати велику кількість постів.

З іншого боку, поле концентрації домішки буде визначатися з певною похибкою мабуть за дуже великої кількості постів та малих відстанях між ними через істотну похибку вимірювань.

Найбільш правильним слід враховувати економічний підхід до вирішення цієї задачі – встановлення оптимальної кількості постів, що забезпечують мінімальні витрати при заданій похибці спостережень.

Оптимальна кількість (стаціонарних і маршрутних) постів, що забезпечують мінімальні витрати при заданій похибці спостережень залежно від чисельності населення міста, наступне:

- до 50 тис. мешканців - 1 пост;
- до 100 тис. – 2 поста;
- 100 – 200 тис. – 2 – 3 поста;
- 200 – 500 тис. – 3 – 5 постів;
- більше 500 тис. – 5 – 10 постів;
- більше 1 млн мешканців – 10 – 20 постів.

Відстань між стаціонарними постами становить від 0,5 км до 5 км.

12.2 Програми спостереження

Встановлено чотири програми спостережень на стаціонарних постах: повна, неповна, скорочена й добова.

Повна програма спостережень призначена для отримання інформації про разові й середньодобові концентрації. Спостереження за повною програмою виконуються щодня шляхом безперервної реєстрації за допомогою автоматичних пристроїв або дискретно через рівні проміжки часу не менше чотирьох разів при обов'язковому відборі о 1, 7, 13, 19 годині за місцевим декретним часом.

Неповна програма спостереження призначена для отримання інформації про разові концентрації щодня о 7, 13, 19 годині місцевого декретного часу.

Скорочена програма спостереження призначена для отримання інформації тільки про разові концентрації щодня о 7 і 13 годині. Спостереження проводяться при температурі повітря нижче мінус 45 °С і в місцях, де середньомісячні концентрації нижче 1/20 максимально разової ГДК або менше нижньої межі діапазону вимірювань концентрації домішки за використаною методикою.

Допускається проводити спостереження за таким графіком: о 7, 10, 13 години; у вівторок, четвер, суботу та о 16, 19, 22 годині у понеділок, середу та п'ятницю.

Програма добового відбору проб призначена для отримання інформації про середньодобову концентрацію. Спостереження за цією програмою проводяться шляхом безперервного добового відбору проб і не дозволяють набувати разових значень концентрації.

Усі програми спостережень дають змогу отримувати концентрації середньомісячні, середньорічні й середні за триваліший період.

Одночасно з відбором проб повітря визначають такі метеорологічні параметри:

- напрям і швидкість вітру;
- температуру повітря;
- стан погоди та підстиляючої поверхні.

Спостереження на маршрутних постах, як і на стаціонарних, проводяться за повною, неповною або скороченою програмою.

Для цього типу постів дозволяється зміщення строків спостережень на одну годину, а також не проводять вимірювання у вихідні та святкові дні.

Терміни відбору проб повітря під час підфакельних спостереженнях повинні забезпечити виявлення найбільших концентрацій домішок, обумовлених особливостями режиму викидів і метеорологічних умов розсіювання домішок. Вони можуть відрізнятися від термінів спостережень на стаціонарних і маршрутних постах.

У період несприятливих метеорологічних умов, що супроводжуються значним зростанням вмісту домішок до високого рівня забруднення, проводять спостереження через кожні три години. При цьому відбирають проби на території найбільшої щільності населення на стаціонарних або маршрутних постах або під факелом основних джерел забруднення.

Рівень забруднення атмосфери оцінюється за даними спостережень за рік. При цьому, як показує тривалий опит обробки та аналізу інформації про рівень забруднення, кількість спостережень повинна бути не менше 200. Щоб урахувати коливання метеорологічних умов й отримати вірогідніші відомості про рівень забруднення використовуються дані спостережень за період 2–5 років. Загальна кількість спостережень за цей період – не менше 800.

Період спостереження повинен бути обмежений. Це обумовлюється тим, що внаслідок впливу антропогенних чинників рівень забруднення змінюється. Особливо великі ці зміни у разі введення в експлуатацію нових підприємств, зміненні технології виробництва, скороченні кількості дрібних джерел викидів.

Доцільно обмежити ряд використовуваних даних п'ятьма роками та розраховувати середнє значення за менший період, протягом якого не відбувалося різких змін рівня забруднення.

12.3 Визначення переліку та черговості речовин, що підлягають контролю

Забруднювальні речовини, що викидаються в атмосферне повітря, можна умовно розділити на основні й специфічні. Головні речовини (пил, CO, SO₂, NO_x) є в повітрі повсюдно, специфічні – викидаються окремими видами виробництва та є характерними для таких виробництв.

Перелік речовин, що підлягають контролю, визначається у такий спосіб:

- визначається перелік речовин за складом викидів підприємств міста;
- оцінюється можливість перевищення ГДК цих речовин;
- список речовин, що підлягають контролю, уточнюються за величиною параметра споживання повітря (ПВ).

Показник ПВ характеризує витрату повітря, необхідну для розведення викидів *i*-тої речовини (M_i) до рівня концентрації q_i або до рівня ГДК $_i$.

Реальний ПВ: $PV_i = M_i/q_i$.

Необхідний ПВ: $PV_{Ti} = M_i/ГДК_i$

де M_i – сумарна кількість викидів *i*-тої домішки від усіх джерел, розташованих на території міста, т/рік;

q_i – концентрація *i*-тої домішки, яка встановлена за даними розрахунків або спостережень, мг/м³.

Також встановлюється, чи буде середня або максимальна концентрація домішки перевищувати при цих викидах відповідно середню добову ГДК $_{с.д.}$ або максимально разову ГДК $_{м.р.}$. Якщо $PV_{Ti} > PV_i$, то очікувана концентрація домішки в повітрі може дорівнювати ГДК або перевищувати її і отже, *i*-та домішка повинна контролюватися. Перелік речовин щодо організації спостережень встановлюється шляхом порівняння ПВ із PV_{Ti} для середніх (ПВ $_{с.д.}$) та максимальних (ПВ $_{м.р.}$) концентрацій домішок.

12.3.1 Графічний метод виявлення необхідності спостережень за домішкою

Для виявлення необхідності спостережень за *i*-тою домішкою з використанням ПВ $_{с.д.}$ використовують графічний метод. Графічний метод враховує:

- ГДК $_{с.д.}$ (сімейство прямих ліній, відповідних $q = ГДК_{с.д.}$).
- M_i (сумарна кількість викидів *i*-тої домішки від усіх джерел).
- L (характерний розмір міста).
- ПЗА (потенціал забруднення атмосфери).

Характерний розмір міста L визначають умовно як радіус круга площею S , відповідній площі міста, тобто:

$$L = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Потенціал забруднення атмосфери ПЗА для міста визначається за географічних зонах. ПЗА є відношенням середніх рівнів концентрацій домішки при заданих викидах у конкретному й умовному районах:

$$ПЗА = \bar{C}_i / \bar{C}_o .$$

ПЗА показує, у скільки разів середній рівень забруднення повітря у конкретному районі, який визначається за реальною повторюваністю несприятливих для розсіювання домішок метеоумов, буде вище, ніж в умовному.

На території держав СНД ПЗА змінюється в межах від 2,1 до 4,0, тобто при рівних параметрах викидів рівень забруднення атмосфери в різних містах може відрізнятись майже в два рази через різної повторюваності несприятливих метеоумов.

На території України ПЗА перебуває в межах 2,6–2,8.

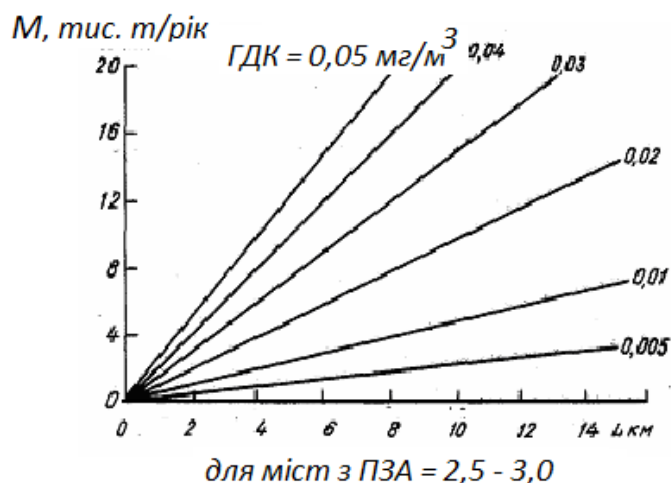


Рисунок 12.1 – Залежність між сумарними викидами M , характерним розміром міста L і середньою концентрацією домішки $Q = ГДК$

На рисунку 12.1 для i -тої домішки по значеннях M_i , L_i визначається місцерозташування крапки відносно розрахункової прямої $q_i = ПДК_{с.д.}$, і якщо крапка потрапляє в область вище за пряму або на пряму, то це означає, що очікувана середня концентрація i -тої домішки перевищуватиме санітарно-гігієнічну норму ($ГДК_{с.с.}$) або буде дорівнювати їй. Отже, i -ту домішку необхідно контролювати. Якщо крапка лягає нижче за пряму, то контролювати i -ту домішку не потрібно (якщо при цьому очікуване максимальне значення концентрації не перевищуватиме $ГДК$).

При використанні графічного методу потрібно враховувати, що прямі лінії на рисунку 12.1 відповідають значенням $ГДК_{с.с.}$ від $0,005 \text{ мг/м}^3$ до $0,05 \text{ мг/м}^3$. Якщо значення $ГДК$ i -тої домішки більше $0,05$ (або менше $0,005$), використовується пряма лінія, яка відповідна значенню $ГДК_{с.с.}$ у 10 разів менше (або більше), ніж $ГДК$, а значення M , які нанесені на вісі координат, помножуються (або діляться) на 10 . Наприклад, для сірчаної кислоти, яка має $ГДК_{с.д.} = 0,1 \text{ мг/м}^3$, використовують лінію $ГДК_{с.д.} = 0,01 \text{ мг/м}^3$, а значення M на вісі ординат помножують на 10 .

Якщо один або група джерел розташовані за міською межею на одному майданчику, то враховується повторюваність P_i (у частках одиниці) напряду вітру з боку проммайданчика. У цьому разі замість M_i береться величина $M_i * p_i$ (у середньому для європейської частини СРСР P_i дорівнює $0,5$), а замість L_i береться величина L_i , що дорівнює 2 км , тобто відстані на якому середня концентрація домішки має найбільше значення.

12.3.2 Визначення черговості контролю

Для визначення черговості контролю домішок за середніх концентраціях розраховується параметр необхідного споживання повітря за формулою:

$$ПВ_{T_i} = M_i / ПДК_{с.д.i}$$

Черговість контролю встановлюється за умов:

$$ПВ_{T_1} \rightarrow ПВ_{T_2} \rightarrow ПВ_{T_3} \rightarrow \dots \rightarrow ПВ_{T_n}$$

Якщо декілька домішок мають однакові значення $PВ_T$, то спочатку записується домішка класу небезпеки 1, потім 2 тощо.

На підставі встановленої необхідності черговості контролю домішок за середніх концентраціях складається перший попередній список речовин, які підлягають контролю.

Необхідність і черговість контролю за i -тою домішкою за максимальних концентраціях визначається під час порівняння необхідного та реального параметрів споживання повітря:

– реальний ПВ: $PВ_{2i} = M_i / q_{m.p.i}$;

– необхідний ПВ: $PВ_{2Ti} = M_i / ГДК_{m.p.i}$,

де M_i – сумарна кількість викидів i -тої домішки від усіх джерел, розташованих на території міста, т/рік;

$q_{m.p.i}$ – очікувана максимальна разова концентрація i -тої домішки, мг/м³.

Значення $PВ_{2i}$ можна отримати за допомогою формули для розрахунку максимальних приземних концентрацій, які створюються викидами одного точкового джерела ($C_{mi} = q_{m.p.i}$):

$$C_{mi} = \frac{AM_i F m n \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}$$

де A – коефіцієнт, який залежить від температурної стратифікації атмосфери для несприятливих метеоумов, визначає умови вертикального й горизонтального розсіювання забруднювальних речовин в атмосферному повітрі. $A = 240$ для субтропіків Середньої Азії; $A = 160 - 200$ для України; $A = 140$ для Московської, Тульської областей Росії;

M_i – сумарна кількість домішки, що викидається в атмосферу, г/с;

F – коефіцієнт осідання частинок в атмосферному повітрі, $F = 1 - 3$;

m, n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гріла джерела;

η – коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості;

H – висота труби, м;

V_1 – об’ємна витрата газоповітряної суміші, $\text{м}^3/\text{с}$;

ΔT – різниця між температурою газів, що викидаються, і середньою температурою повітря, $^{\circ}\text{C}$.

З урахуванням наведеної вище формули отримуємо вираз для $PВ_{2i}$:

$$PВ_{2i} = \frac{M_i}{q_{m.p.i}} = \frac{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}{AFmn\eta}$$

Якщо $PВ_{2Ti} > PВ_{2i}$, то i -та домішка включається у другий попередній список домішок, рекомендованих для контролю.

Остаточний пріоритетний список складається з двох списків за сумою міст у попередніх списках (перший і другий попередні списки). Якщо кілька речовин мають однакові номери, то черговість встановлюється за класом небезпеки.

Додатково в обов’язковий список контрольованих речовин включають: метали (у містах із підприємствами чорної та кольорової металургії), пестициди (у містах поблизу сільгосп підприємств) тощо. Пріоритет цих речовин не може бути встановлений за викладеною вище методикою.

Перелік контрольованих речовин переглядають не рідше, ніж один раз у три роки.

13 ОБСТЕЖЕННЯ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

Обстеження організовується для:

- з’ясування причин високих рівнів концентрацій домішок;
- встановлення їх несприятливого впливу на здоров’я людей і навколишнє середовище;
- розробки заходів щодо охорони атмосфери.

13.1 Види обстеження

Розрізняють три види обстеження:

1. *Епізодичне* – для орієнтовної оцінки стану забруднення повітря, при виборі місця для постів спостереження.

2. *Комплексне* – для докладного вивчення особливостей і причин високого рівня забруднення, його негативного впливу на людей і навколишнє середовище, для розробки природоохоронних заходів.

3. *Оперативне* – для виявлення причин різкого погіршення якості повітря.

Для організації обстеження необхідна така інформація:

– фізико-географічна характеристика району (рельєф місцевості у радіусі 15–20 км, водні об'єкти, рослинні масиви);

– кліматичні умови району (повторюваність слабких і небезпечних швидкостей вітру, повторюваність інверсій, тривалість туманів, інтенсивність опадів, кількість сумарної радіації);

– карта-схема району (головні авто- та залізничні магістралі, головні джерела забруднення атмосфери);

– існуюча оцінка рівня забруднення атмосфери (відомості про викиди, склад інгредієнтів, можливі максимальні концентрації, вірогідність перевищення ГДК).

Епізодичне обстеження (ЕО).

Організують у містах і у районах крупних промислових об'єктів за відсутності регулярних спостережень за забрудненням атмосфери. Розрізняють два види епізодичного обстеження:

– у різних точках міста;

– на різних відстанях від підприємства під факелом викидів шкідливих речовин.

ЕО проводять або протягом 3–5 років, або тільки протягом одного року. При цьому необхідно отримати не менш 200 спостережень за концент-

рацією кожної домішки. Кількість точок спостереження повинна бути не менше двох. Під час підфакельного спостереження виміри проводять не менш ніж в трьох крапках на відстані 0,5; 1 і 3 км від меж СЗЗ підприємства по характерних для даного підприємства речовинах. Загальна кількість спостережень на кожній відстані за однією домішкою повинна бути не менше 50.

Комплексне обстеження (ДО).

Програма ДО включає такі роботи:

1) уточнення характеристик викидів промислових підприємств й автотранспорту (перелік підприємств, речовин та автомагістралей);

2) визначення:

- метеопараметрів, що підлягають спостереженню;
- термінів проведення спостереження;
- точок спостереження;
- визначення програми спостереження:
- кількість постів і додаткових точок, їх місцеположення;
- перелік речовин;
- терміни спостереження;
- перелік підприємств для підфакельних спостережень (відстані, кількість точок, речовин, терміни);
- збір відомостей про вплив забруднення атмосфери на стан здоров'я населення.

Обстеження повинне проводитися за розширеною програмою на території міста та за його межами, у приземному шарі атмосфери на різних висотах.

На різних рівнях над землею спостереження проводять із використанням телевізійних щогл (установка газоаналізаторів, приладів для відбору проб повітря), вертольотів, зондів.

На стаціонарних постах спостереження виконуються постійно, а на додатковій мережі спостережень – періодично протягом двох місяців року – у теплий і холодний періоди.

Програма комплексного обстеження реалізується протягом 1–3 років.

Загальна кількість спостережень за однією домішкою в одній точці повинна бути не менше 200, на одній відстані від підприємств за однією домішкою – не менше 50 за рік.

Під час підфакельних спостережень відбір проб проводять в десяти точках по вісі факела на відстані 0,5 ÷ 30 км від межі СЗЗ, а також ліворуч і праворуч від вісі факелу на відстані від 50 до 400 м (залежно від ширини факела). Зазвичай спостереження потрібно проводити на відстані 10–40 середніх висот труб, де найвирогідніші максимальні концентрації.

Напрямок факела визначають за візуальними спостереженнями за обрисами диму. Якщо димовий факел відсутній, то напрям факелу визначається за напрямом вітру й за факелами близько розташованих джерел.

Відбір проб повітря під факелом здійснюється на висоті 1,5–3,5 м від поверхні землі.

14 ОЦІНКА СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА АВТОМАГІСТРАЛЯХ

Оцінка стану забруднення атмосферного повітря на автомагістралях проводиться на підставі визначення у повітрі вмісту як головних компонентів вихлопних газів (оксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту, акролеїну, формальдегіду, з'єднань свинцю), – так і продуктів їх фотохімічних перетворень (озону тощо).

В результаті спостережень визначають:

– максимальні значення концентрацій головних домішок і періоди їх настання за різних метеоумов та інтенсивності руху транспорту;

– межі зон і особливості розподілу домішок унаслідок видалення від автомагістралей;

– особливості розповсюдження домішок у районах, що примикають до автомагістралей;

– особливості розподілу транспортних потоків по магістралях міста.

Спостереження проводять у всі дні робочого тижня щогодини з 6 до 13 годин або з 14 до 21 годин, чергуючи дні з ранковими й вечірніми термінами. У нічний час спостереження проводяться один – два рази на тиждень.

Точки спостереження обираються на міських вулицях у районах з інтенсивним рухом транспорту та розташовуються у місцях з частим й інтенсивним гальмуванням автомобілів (максимальний викид забруднювальних речовин).

Інтенсивність руху визначається шляхом обліку кількості транспортних засобів, що проходять. Транспортні засоби розподіляють на п'ять головних категорій:

- легкові автомобілі;
- вантажні автомобілі;
- автобуси;
- дизельні автомобілі й автобуси;
- мотоцикли.

Розрахунок кількості транспортних одиниць, які проходять по автомагістралі проводиться протягом 20 хвилин кожної години. У 2–3-годинні періоди найбільшої інтенсивності руху автотранспорту – кожні 20 хвилин. Середня швидкість руху транспорту визначається на підставі показників спідометру автомашини, яка рухається у потоці транспортних засобів, на ділянці протягом від 0,5 км до 1 км певної автомагістралі. На підставі результатів спостережень розраховуються середні значення інтенсивності руху автотранспорту протягом доби.

15 ВИВЧЕННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

Під час організації вивчення рівня забруднення атмосфери промислового району необхідно вибрати опорне місто у тій частині району, яка вносить основний внесок до забруднення атмосфери. Важливо, щоб в опорному місті були ряд спостережень за рівнем забруднення атмосфери та щоб у період вивчення промислового району зберігалися систематичні спостереження.

Для вивчення рівня забруднення атмосфери, обумовленого впливом джерел викидів окремих міст промислового району, використовується система радіальних маршрутів. Система передбачає як би проведення підфакельних спостережень, де за джерело викиду береться все місто. Вимірювання проводяться на відстанях 1, 5, 10, 20 км від адміністративної межі міста й далі через 20 км до адміністративної межі наступного міста.

Відбір проб необхідно проводити на відстані 200–300 м від автомагістралі.

Крім спостережень безпосередньо за рівнем забруднення атмосфери, використовуються також непрямі методи. До непрямих методів належать:

- відбір проб атмосферних опадів;
- визначення вмісту шкідливих речовин у снігу;
- визначення вмісту шкідливих речовин у ґрунті;
- визначення вмісту шкідливих речовин у рослинності.

16 СПОСТЕРЕДЖЕННЯ ЗА ВМІСТОМ КОРОЗІЙНО-АКТИВНИХ ДОМІШОК

Для проектування великих промислових об'єктів необхідні спостереження за вмістом в атмосфері корозійно-активних домішок, головними з яких є діоксид сірки та хлориди.

Спостереження за вмістом у повітрі корозійно-активних домішок проводять протягом одного – двох років на висотах 1,5; 10; 30 і 40м від поверхні землі. Визначають середньомісячні концентрації діоксиду сірки і хлоридів для кожного посту спостережень.

Інтенсивність випадання хлоридів (мг/м^2 добу) на підстилаючу поверхню розраховується за такою формулою:

$$\Pi = 8,64 \times 104q(w + 0,048u),$$

де q – середньомісячна концентрація хлоридів у повітрі, мг/м^3 ;

w – швидкість гравітаційного осадження хлоридів, м/с ;

u – середньомісячна швидкість вітру на рівні, м/с .

Для хлоридів, що виносяться з поверхні моря, приймають $w = 0,064$ м/с , із засолених ґрунтів – $0,002$ м/с .

Атмосфера за ступенем забруднення корозійно-активними речовинами підрозділяється на чотири категорії (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Розподілення атмосфери за ступенем забруднення корозійно-активними речовинами

Тип атмосфери	Вміст корозійно-активних речовин	
	Діоксид сірки, мг/м^3	Хлориди, $\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$
I – умовно чиста	Не більше 0,025	Менше 0,3
II – промислова	0,025–0,13	Менше 0,3
III – морська	Не більше 0,025	30–300
IV – приморсько-промислова	0,025–0,13	0,3–30

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Экология города : учебник / под ред. Ф. В. Стольберга. – Киев. : Либра, 2000. – 464 с.
2. Справочник по пыле- и золоулавливанию / [М. И. Биргер, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков и др.] ; под общ. ред. А. А. Русанова. – [2-е изд., перераб. и доп.] – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
3. Старк С. Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии / С. Б. Старк. – М. : Металлургия, 1977. – 328 с.
4. Алиев Г. М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов : справочное издание / Г. М.-А. Алиев. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.

Навчальне видання

БЕКЕТОВ Володимир Єгорович,
ЄВТУХОВА Галина Петрівна,
КОВАЛЕНКО Юрій Леонідович

ПРИКЛАДНА АЕРОЕКОЛОГІЯ

МОДУЛЬ 1 Атмосфера: основні терміни та визначення.

Нормування якості атмосферного повітря

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання
спеціальностей 101 – Екологія,
183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

Відповідальний за випуск *Я. О. Герасименко*

Редактор В. І. Шалда

Комп'ютерне верстання *В. Є. Бекетова*

План 2018, поз. 74 Л

Підп. до друку 21.06.2018. Формат 60 x 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2,6.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.