

2 МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

2.1 Індекс забруднення атмосфери

Для оцінки та аналізу стану забруднення атмосфери застосовуються ряд показників, що дозволяють оцінити рівень забруднення окремою домішкою або виконати оцінку фоновому рівня забруднення атмосфери.

Для оцінки ступеня забруднення атмосфери, отримані в результаті спостережень середні та максимальні концентрації нормуються на величину середньої (максимальної) концентрації для більш великого регіону або на санітарно-гігієнічний норматив, наприклад на ГДК. Нормовані характеристики забруднення називають *індексом забруднення атмосфери (ІЗА)*.

У різних країнах запропоновані й використовуються в практичній роботі декілька ІЗА. Деякі з них засновані на непрямих показниках забруднення атмосфери. До таких ІЗА можна віднести запропонований для Канади Інхабером індекс, заснований на даних про викиди завислих речовин і SO_2 . Такий індекс (I_{ki}) для різних районів Канади визначався за формулою:

$$I_{ki} = \frac{M_i / N}{\overline{M}_i / \overline{N}}, \quad (2.1)$$

де \overline{M}_i – сумарні викиди речовини для всієї території Канади;

M_i – сумарні викиди для окремого району;

N і \overline{N} – чисельність населення відповідно цього району і Канади в цілому.

Цей індекс є оцінкою внеску району (або міста) у загальний рівень забруднення повітря розглянутою домішкою в країні.

Крім ІЗА, що обчислюється за формулою (2.1), Інхабер увів також ІЗА, заснований на фізичному показнику забруднення повітря – видимості:

$$I_k = B_i / 2B, \quad (2.2)$$

де B_i – видимість для розглянутого району;

B – видимість в «чистому» повітрі, отримана осередненням результатів спостережень за видимістю на двох північних станціях Канади.

Є ІЗА, що виражаються через коефіцієнт прозорості атмосфери. В таких ІЗА використовується емпіричний кореляційний зв'язок між коефіцієнтом прозорості та запиленістю повітря [7].

Великий інтерес представляють ІЗА, отримані на основі даних спостережень за концентраціями домішок. Докладний огляд таких

індексів, які використовує агентство по контролю забруднення атмосфери США, був виконаний Оттом і Томом. На основі аналізу всіх цих індексів був запропонований єдиний підхід до розрахунку *ІЗА* за даними щоденних спостережень і складений відповідний документ. У ньому значення середніх концентрацій основних ЗР, що відповідають національним стандартам і критеріям небезпеки забруднення, пропонується приводити до деякого безрозмірного значення *ІЗА*, що змінюється в межах від 0 до 500 (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Концентрації ЗР, що відповідають різним *ІЗА* [8]

<i>ІЗА</i>	Ступінь забруднення повітря	Середні концентрації ЗР, мкг/м ³				
		Пил (за 24 год)	<i>SO</i> ₂ (за 24 год)	<i>CO</i> (за 8 год)	<i>O</i> ₂ (за 1 год)	<i>NO</i> ₂ (за 24 год)
500	Значний	1000	2620	57	1200	3750
400	Критичний	875	2100	46	1000	3000
300	Попереджувальний	625	1600	34	800	2260
200	Тривожний	375	800	17	400	1130
100	Стандартний	260	365	10	160	–
50	50% нижче від стандартного	75	80	5	80	–

Ступінь забруднення атмосфери характеризується певним значенням *ІЗА*, наприклад, значному забрудненню атмосфери відповідає 500, критичному – 400, стандартному – 100. Отриману концентрацію домішки рекомендовано приводити до відповідного значення *ІЗА*. Однак цей підхід не припускає підсумовування індексів, отриманих для окремих шкідливих речовин, з метою одержання комплексних *ІЗА* [8]. Тому запропоновано також таку формулу для розрахунку *ІЗА* за *i*-ою домішкою (*I*_{*ki*}) [7]:

$$I_{ki} = \frac{1}{2} s_i \left(q_{сеп.i} + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n q_i^2}{n}} \right). \quad (2.3)$$

А.В. Приймак запропонував в якості *ІЗА* використати «індекс небезпеки забруднення» (*I*_{*n*}):

$$I_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n k_i^2}, \quad (2.4)$$

де *k*_{*i*} – перевищення *ГДК* розглянутої домішки.

Комплексний *I*_Т в роботі Томаса (*I*_Т) розраховується за формулою:

$$I_T = c \sum q_{сер.i} / S_i, \quad (2.5)$$

де *c* – деякий коефіцієнт;

*q*_{сер.*i*} – середнє значення *i*-ї домішки в місті;

*S*_{*i*} – стандарт якості повітря [7].

*I*_Т, схожий з *I*_Т, довгий час використовується на практиці при аналізі даних спостережень за рівнем забруднення повітря в Україні. В ньому за *S*_{*i*} частіше приймаються значення *ГДК*.

*I*_Т окремою домішкою розраховується за формулою:

$$I = \left(\frac{q_p}{ГДК_{mp}} \right)^{C_i} \quad \text{або} \quad I = \left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{co}} \right)^{C_i}, \quad (2.6)$$

де *C*_{*i*} – константа що набуває значень 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 відповідно для 1; 2; 3; 4-го класів небезпеки речовини і дозволяє привести ступінь шкідливості *i*-ої речовини до ступеня шкідливості діоксиду сірки.

Комплексний *I*_Т (*КІТ*) – це кількісна характеристика рівня забруднення атмосфери, утвореного *n* речовинами, що присутні в атмосферному повітрі міста. *КІТ* розраховується за формулою:

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{co}} \right)_i^{C_i} \right), \quad (2.7)$$

де \bar{q} – осереднена за часом (доба, місяць, сезон, рік й ін.), розрахована для поста, міста або групи міст концентрація *i*-ої домішки.

Розраховується *КІТ* за розглянутий період по одному або *K* постах міста як сума всіх *I*_Т. Комплексний *I*_Т враховує *n* речовин, що є присутніми в атмосфері. Для інтегральної оцінки рівня забруднення атмосфери за допомогою *КІТ* можна використати значення одиничних індексів *I*_Т тих п'яти ЗР, для яких ці значення найбільші. Тобто

$$I_5 = \sum_{i=1}^5 I_i. \quad (2.8)$$

Величина *I*₅ менше 2,5 відповідає чистій атмосфері; від 2,6 до 7,5 – слабо забрудненій; від 7,6 до 12,5 – забрудненій; від 12,6 до 22,5 – сильно забрудненій; від 22,6 до 52,5 – високо забрудненій; більше 52,5 – екстремально забрудненій атмосфері [7].

2.2 Інтегральні показники оцінки якості атмосферного повітря

Для оцінки фонового забруднення атмосфери використовуються *інтегральні показники*. Найбільш розповсюдженим є середнє значення концентрації інгредієнта, обчислене за даними вимірів за конкретний термін або за добу у всіх точках міста, нормованих на середньосезонну концентрацію (\tilde{q}):

$$\tilde{q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\bar{q}_{ci}}{\bar{q}_{cc}}, \quad (2.9)$$

де N – кількість контрольно-вимірювальних постів у місті;

\bar{q}_{ci} – середньодобова концентрація домішки на i -ому посту;

\bar{q}_{cc} – середньосезонна концентрація на i -ому посту.

У залежності від значення параметра \tilde{q} розрізняють такі класи забруднення повітря: 1 – високе забруднення ($\tilde{q} \geq 1,5$); 2 – підвищене забруднення ($1,0 \leq \tilde{q} < 1,5$); 3 – знижене ($0,6 \leq \tilde{q} < 1,0$); 4 – слабе забруднення ($\tilde{q} < 0,6$).

Для характеристики забруднення атмосферного повітря по місту в цілому, як узагальнений показник, також рекомендується використовувати параметр P :

$$P = \frac{m}{n}, \quad (2.10)$$

де n – загальна кількість спостережень за концентрацією домішок у місті протягом доби на всіх стаціонарних пунктах;

m – кількість спостережень протягом цієї ж доби з концентрацією q , що перевищує середньосезонне значення більш ніж у 1,5 рази.

При розрахунку параметра P з метою його використання як характеристики фонового забруднення повітря необхідно, щоб кількість стаціонарних постів у місті була не менше 3, а кількість спостережень за концентрацією домішок на всіх пунктах протягом доби не менш 20.

Параметр P може змінюватися від 1 (якщо всі вимірювані концентрації перевищують $1,5 \bar{q}_{cc}$) до нуля (якщо жодна з концентрацій не перевищує $1,5 \bar{q}_{cc}$).

У залежності від значень параметра P розрізняють три групи забруднення атмосферного повітря:

1 – високий рівень забруднення ($P \geq 0,35$);

2 – підвищений рівень забруднення ($0,20 \leq P < 0,35$);

3 – знижений рівень забруднення ($P < 0,20$).

Параметр P є відносною характеристикою і не залежить від середнього рівня забруднення повітря. Отже, його значення визначається в основному метеорологічними умовами. У зв'язку з цим для вивчення метеорологічних умов забруднення повітря із застосуванням параметра P виявляється можливим спільно аналізувати матеріали за кілька років, навіть якщо протягом цього періоду спостерігалися зміни сумарної кількості викидів і рівня концентрацій [9].

2.3 Показник гранично допустимого забруднення

Згідно з [10], оцінка і аналіз якості атмосферного повітря може проводитися на основі розрахунку показника гранично допустимого забруднення ($ГДЗ$).

Показник $ГДЗ$ атмосферного повітря – відносний інтегральний критерій оцінки забруднення атмосферного повітря населених місць, який характеризує інтенсивність та характер сумісної дії всієї сукупності присутніх у ньому шкідливих домішок. $ГДЗ$ розраховується для кожного випадку на основі визначених експериментально та затверджених у встановленому порядку коефіцієнтів комбінованої дії ($Ккд$). $Ккд$ відображає характер сумісної біологічної дії одночасно присутніх в атмосферному повітрі ЗР (сумація, посилення, послаблення або незалежна дія). Його цифрове значення встановлюється експериментальним (або розрахунковим) шляхом та виражається в долях від індивідуальних $ГДК$ ЗР (додаток). $ГДЗ$ розраховується за формулою (2.11):

$$ГДЗ = Ккд \cdot 100\%. \quad (2.11)$$

У випадках, коли значення $Ккд$ відсутні, їх визначення проводиться за формулою (2.12):

$$Ккд = \sqrt{n}, \quad (2.12)$$

де n – число речовин, присутніх у повітряному середовищі, для яких офіційно не встановлено характер комбінованої дії.

У випадках, коли присутні в атмосферному повітрі ЗР є складною сумішшю з встановленими і не встановленими коефіцієнтами комбінованої дії, для розрахунку $ГДЗ$ значення $Ккд$ цієї суміші визначається за формулою (2.13):

$$Ккд_{cc} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Ккд_{i2} + Ккд_{22} + \dots + Ккд_{n2}) + n + Кт}, \quad (2.13)$$

де $K_{kd_{cc}}$ – коефіцієнт комбінованої дії складної суміші;

K_{kd} – коефіцієнти комбінованої дії сумісно присутніх речовин, 1, 2, n ;

n – число речовин в суміші, офіційні значення K_{kd} яких відсутні;

K_t – числове значення коефіцієнта для речовин з незалежним характером комбінованої дії.

В разі присутності у повітрі однієї домішки показник $ГДЗ = 100\%$.

Оцінка фактичного або прогнозного (розрахункового) рівня забруднення атмосферного повітря проводиться шляхом співставлення показника забруднення ($ПЗ$) однією речовиною або сумарного показника забруднення ($\sum ПЗ$) сумішшю речовин з показником $ГДЗ$. Допустимим визнається рівень, що не перевищує $ГДЗ$.

Показник фактичного або прогнозного забруднення атмосферного повітря однією речовиною ($ПЗ$) розраховується за формулою (2.14):

$$ПЗ = \frac{C}{ГДК} \cdot 100\%, \quad (2.14)$$

де C – фактична або прогнозна концентрація конкретної речовини, $мг/м^3$;

$ГДК$ – значення гранично допустимої концентрації цієї речовини, $мг/м^3$.

Сумарний показник забруднення ($\sum ПЗ$) сумішшю речовин розраховується за формулою (2.15):

$$\sum ПЗ = \sum_{i=1}^m \left(\frac{C_1}{ГДК_1 \cdot K_1} + \frac{C_2}{ГДК_2 \cdot K_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n \cdot K_n} \right) \cdot 100\%, \quad (2.15)$$

де C_1, C_2, \dots, C_n – значення фактичних або прогнозних концентрацій речовин, що входять до складу суміші, $мг/м^3$;

$ГДК_1, ГДК_2, \dots, ГДК_n$ – значення $ГДК$ відповідних ЗР, що входять до складу суміші, $мг/м^3$;

K_1, K_2, \dots, K_n – значення коефіцієнтів, які враховують клас небезпечності відповідної речовини (для речовин 1-го класу – 0,8; 2-го класу – 0,9; 3-го класу – 1,0; 4-го класу – 1,1).

У випадку відсутності значень $ГДК$ при прогнозуванні приземних концентрацій приймаються значення $ОБРВ$ без врахування значень коефіцієнтів K .

Оцінка забруднення атмосферного повітря проводиться з урахуванням кратності перевищення показників забруднення ($ПЗ$) їх нормативного значення ($ГДЗ$) і включає визначення рівня забруднення (допустимий, недопустимий) та ступеню його небезпечності (безпечний, слабо небезпечний, помірно небезпечний, небезпечний, дуже небезпечний) згідно з табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри оцінки забруднення повітря [10]

Рівень забруднення	Ступінь небезпечності	Кратність перевищення ГДЗ	Відсоток випадків перевищення ГДЗ
Допустимий	Безпечний	< 1	0
Недопустимий	Слабко небезпечний	> 1 – 2	> 0 – 4
Недопустимий	Помірно небезпечний	> 2 – 4,4	> 4 – 10
Недопустимий	Небезпечний	> 4,4 – 8	> 10 – 25
Недопустимий	Дуже небезпечний	> 8	> 25