

УДК 504.3.054:504.064

**Колесник В.Є.**, д-р техн. наук, професор,  
**Павличенко А.В.**, д-р техн. наук, доцент,  
**Калініна К.Р.**, студент  
(ДВНЗ «НГУ»)

## **ЕКОЛОГІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА КОМПЛЕКСНИМИ ІНДЕКСАМИ ЙОГО ЗАБРУДНЕННЯ**

**Колесник В.Е.**, докт. техн. наук, професор,  
**Павличенко А.В.**, докт. техн. наук, доцент,  
**Калинина Е.Р.**, студент  
(ГВУЗ «НГУ»)

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО КОМПЛЕКСНЫМ ИНДЕКСАМ ЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

**Kolesnyk V.Ye.**, D.Sc.(Tech), Professor,  
**Pavlychenko A.V.**, D.Sc.(Tech), Associate Professor,  
**Kalinina K.R.**, Student  
(SHEI «NMU»)

## **ECOLOGICAL CLASSIFICATION OF QUALITY OF ATMOSPHERIC AIR ON COMPLEX INDEXES OF ITS CONTAMINATION**

**Анотація.** Виконано аналіз критеріїв оцінювання рівнів забруднення атмосферного повітря. Встановлено їх недостатність для обґрунтування необхідної ефективності засобів мінімізації викидів, оскільки немає однозначної диференціації рівнів комплексних індексів забруднення атмосфери. Запропоновано нормований індекс забруднення атмосфери, який покладено в основу класифікації якості атмосферного повітря. Обґрунтовано залежність допустимої ефективності технічного способу локалізації викидів від фактичної якості атмосферного повітря, визначеної за нормованим індексом у вигляді лінійного рівняння. Показано, що запропонована екологічна класифікація висуває менш жорсткі вимоги порівняно з дотриманням санітарних норм за окремими забруднювачами повітря. Її впровадження певною мірою знизить вартість засобів мінімізації викидів та заохотить виробників фінансувати природоохоронні заходи та технології.

**Ключові слова:** промислові викиди, якість атмосферного повітря, індекси забруднення, класифікація забруднення, засоби боротьби з викидами.

**Вступ.** Якість атмосферного повітря значною мірою визначається вмістом в ньому забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферу разом з викидами з різних наземних джерел, включаючи промислові підприємства [1-3].

Знизити промислові викиди можливо або за рахунок впровадження відповідних техно-логіч виробництва, або на основі застосування технічних засобів чи технологій боротьби з викидами.

Відомо, що для застосування певного технічного засобу боротьби з викидами необхідне як відповідне техніко-економічне обґрунтування, так і певні критерії їх вибору. Це обумовлено тим, що часто є випадки, коли впроваджені типові технічні засоби виявляються надто коштовними, маючи високий термін окупності, або недостатньо ефективними в умовах конкретного виробництва, що гальмує процес впровадження засобів боротьби з викидами на підприємствах різних форм власності. Очевидно, що раціональність певних технічних рішень чи технологій буде залежати від якості їх техніко-економічного обґрунтування або вагомості критерію вибору [2, 4-6]. В останньому випадку на раціональність суттєво вплине визначений рівень екологічної небезпеки проєктованих викидів або якість атмосферного повітря [2, 4, 5], обумовлена його забрудненням, яке певним чином регламентується «Державними санітарними правилами охорони атмосферного повітря населених міст від забруднення.» [7] та методичними рекомендаціями, щодо оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосфери [8].

На думку авторів, достатньо достовірною мірою екологічної якості повітря може стати комплексний індекс забруднення атмосфери (КІЗА), що враховує одразу декілька різних забруднювачів з різними значеннями одиночних ІЗА [9]. Проте це потребує розробки класифікації якості атмосферного повітря, обумовленої промисловими викидами, яку можливо виконати на основі диференціації рівнів комплексних індексів його забруднення, причому рівень якості стане критерієм ефективності того чи іншого технічного засобу боротьби з викидами [1-3, 5]. Тобто ефективність засобів повинна відповідати певному рівню КІЗА та забезпечувати його зниження до допустимого або технічно досяжного значення.

**Метою роботи** є екологічна класифікація якості атмосферного повітря на основі диференціації рівнів комплексних індексів його забруднення як передумови раціонального вибору засобів боротьби з викидами.

**Основна частина.** Для досягнення поставленої мети проаналізуємо дві зазначені вище стандартизовані методики, що регламентують забруднення атмосферного повітря. Перша – полягає в зіставленні середньорічної концентрації даного виду забруднення із середньодобовою нормою, тобто у визначенні кратності перевищення встановленої норми [7]. Згідно з указаним документом можливі рівні забруднення визначають за кратністю перевищення гранично допустимого забруднення (ГДЗ), в якості якого може бути використане значення гранично допустимої концентрації (ГДК). Диференціація перевищень проводиться за шкалою, наведеною в табл. 1.

За цією класифікацією рівнів забруднення атмосфери допустимою є лише кратність перевищення ГДК, що  $<1$ , причому для кожного забруднювача. Отже, критерій виглядає жорстким, оскільки потребує зниження вмісту усіх забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу, вище нормативного рівня, тобто вище ГДК.

Друга методика передбачає оцінку ризику для здоров'я населення від

забруднення атмосферного повітря [8], де в якості практично працюючого гігієнічного критерію використовується коефіцієнт екологічного ризику забруднення атмосфери, що визначається за формулою:

$$HQ_i = AD/RfD = q_i/RfC \quad (1)$$

де  $HQ_i$  – коефіцієнт небезпеки впливу  $i$ -ої речовини (частинний показник ризику);  $AD$ ,  $q_i$  – рівень фактичного впливу  $i$ -ої речовини, мг/м<sup>3</sup>;  $RfD$ ,  $RfC$  – безпечний рівень впливу, мг/м<sup>3</sup>.

Формула (1) по суті, як і у попередній методиці, визначає кратність перевищення нормативного рівня. Критерії, зокрема неканцерогенного ризику, для характеристики коефіцієнта небезпеки забруднення наведені в табл. 2 [8].

Таблиця 1 – Класифікація рівнів небезпеки забруднення повітря за кратністю перевищення ГДЗ забруднювача в атмосфері [7]

Рівень забруднення	Ступінь небезпеки	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

\* – визначають із використанням різних методів.

Таблиця 2 – Критерії неканцерогенного ризику [8]

Характеристика ризику	Коефіцієнт небезпеки ( $HQ$ )
Ризик виникнення шкідливих ефектів розглядають як зневажливо малий	< 1
Гранична величина, що не має потреби в термінових заходах, однак не може розглядатися як достатньо прийнятна	1
Імовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню $HQ$	> 1

Узагальнені критерії якості за цією методикою зазвичай визначають як середньозважені індекси небезпеки за формулою:

$$HI = \sum HQ_i, \quad (2)$$

де  $HQ_i$  – коефіцієнти небезпеки для окремих компонентів суміші хімічних речовин, причому вагові коефіцієнти в зазначеній сумі можуть бути визначені на основі експертних оцінок з урахуванням відносної шкідливості речовин, їх синергічної або навпаки, антагоністичної взаємодії за окремими групами.

Як бачимо, є дві схожі для визначення якості атмосферного повітря методики: перша – має п'ять рівнів диференціації з нелінійною шкалою та дозволяє визначити лише частинний критерій якості, тобто для однієї забруднюючої речовини; друга, хоч і дозволяє враховувати небезпеку групи

речовин, має лише три рівні диференціації, що недостатньо, щоб бути критерієм техніко-економічного обґрунтування рівня ефективності того чи іншого технічного заходу для боротьби з викидами в розглянутих у вступі аспектах. Тому пропонуємо інший достатньо інформативний показник якості повітря з можливістю його більш детальної диференціації.

Для обґрунтування такого показника розглянемо відомий комплексний показник рівня забруднення атмосферного повітря [3], що розраховується на основі одиничних індексів забруднення атмосфери (ІЗА), які враховують класи небезпеки забруднювача. Отже спочатку визначають ІЗА за формулою:

$$I = \left( \frac{q}{ГДК_{mp}} \right)^C \text{ або } I = \left( \frac{\bar{q}}{ГДК_{co}} \right)^C, \quad (3)$$

де  $q$  и  $\bar{q}$  – відповідно максимальні або середньодобові концентрації забруднювача;  $C$  – константа, що приймає значення 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 відповідно для 1; 2; 3; 4-го класів небезпеки речовини, при цьому вважають, що при  $I=ІЗА \leq 1$  якість повітря за вмістом окремих забруднювачів відповідає санітарно-гігієнічним нормам.

Далі визначають комплексний ІЗА (КІЗА), обумовлений впливом  $n$  забруднюючих речовин за формулою:

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left( \left( \frac{\bar{q}}{ГДК_{co}} \right)^{C_i} \right)_i. \quad (4)$$

Доречно нагадати, що при наявності декількох речовин, що мають ефект сумачії біологічної дії, умовою якості повітря з концентрацією  $q_i$  є безрозмірна залежність, згідно з якою сума ІЗА не повинна перевищувати 1, тобто:

$$\frac{q_1}{ГДК1} + \frac{q_2}{ГДК2} + \dots + \frac{q_n}{ГДКn} \leq 1. \quad (5)$$

Отже зі збільшенням числа забруднюючих речовин у викидах в атмосферу підвищується жорсткість вимог до засобів боротьби з ними.

Для ілюстрації КІЗА наведемо характерні для м. Дніпро індекси забруднення атмосфери (табл. 3) [9]. Примітно, що сумарний індекс забруднення міського повітря, тобто КІЗА, щорічно змінюється не тільки за рахунок викидів, але й в результаті урахування (сумачії) ІЗА різного числа одиничних речовин. Так, за даними Центральної геофізичної лабораторії (ЦГЛ) м. Київ у 2013 році КІЗА визначався за сімома забруднювачами, серед яких формальдегід, фенол, фтористий водень, аміак, завислі речовини, двооксид азоту, оксид вуглецю [9].

Зіставлення промислово розвинених міст України за таким комплексним показником (КІЗА), ілюструється діаграмами, наведеними на рис. 1 [9].

Таблиця 3 – Характерні індекси забруднення атмосфери м. Дніпро

Пріоритетні домішки, тобто домішки з найбільшими одиночними ІЗА	ІЗА (2012 р.)	Галузі промисловості, підприємства яких істотно впливають на стан забруднення повітря
Формальдегід	5,41	Металургія, енергетика, хімічна промисловість, автотранспорт, виробництво будівельних матеріалів
Двоокис азоту	2,25	
Пил (суспензії)	2,00	
Аміак	1,22	
Фенол	1,00	
Комплексний ІЗА (КІЗА)	<b>11,88</b>	

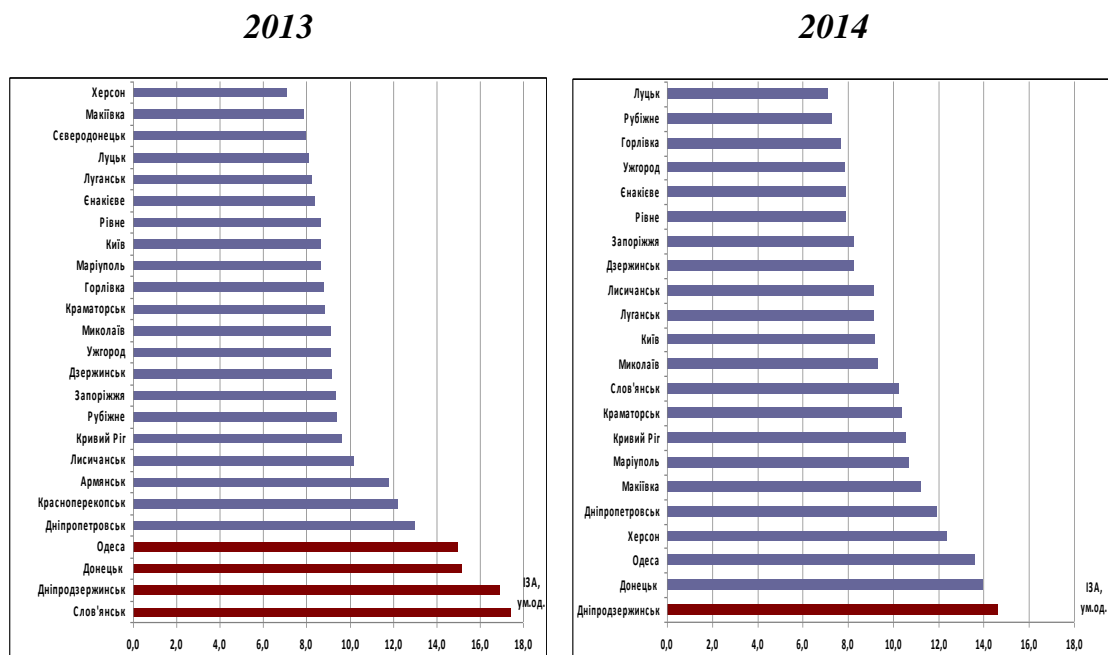


Рисунок 1 – Значення комплексних індексів забруднення атмосфери (КІЗА) в найбільш забруднених містах України у 2013 та 2014 роках

Зауважимо, що у деяких містах комплексні індекси визначають за рівнями навіть трьох забруднювачів, хоча повний перелік забруднюючих речовин для визначення КІЗА, що використовується ЦГЛ, склав одинадцять: завислі речовини, двооксид сірки, оксид вуглецю, двооксид азоту, оксид азоту, сірководень, фенол, фтористий водень, хлористий водень, аміак, формальдегід [9, 10]. У попередні роки до цього переліку додавали ще й бенз(а)пірен, визначення концентрації якого є дуже витратним процесом і в теперішній час майже не проводиться.

Аналітичний огляд наведених КІЗА показує, що при різній кількості врахованих забруднюючих речовин порівняння забрудненості атмосфери міст фактично неможливо (можливе лише відносне порівняння), оскільки немає однозначної диференціації рівнів, визначених КІЗА.

При розробці пропозиції щодо диференціації рівнів КІЗА будемо мати на

увазі те, що диференціація їх рівнів стає доцільною саме при проектуванні або обґрунтуванні засобів зниження викидів забруднюючих речовин, ефективність яких повинна відповідати певному рівню КІЗА та забезпечувати його зниження до допустимого рівня. Саме такий підхід дозволить обирати засоби, які не будуть мати зайву або недостатню ефективність в конкретних умовах, що мінімізує їх вартість та заохотить виробників вкладати гроші в природоохоронні технології.

Обґрунтуємо можливі рівні диференціації КІЗА на прикладі його визначення для викидів машинобудівного підприємства, розташованого у м. Дніпро. Для розрахунку значення КІЗА було обрано п'ять забруднювачів, характерних для вказаного підприємства. Результати наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати оцінки комплексного індексу забруднення атмосфери на межі санітарно-захисної зони машинобудівного підприємства

Вміст забруднюючих речовин в повітрі	Середні концентрації, мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>ср.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки речовини	Показник С у формулі (3)	ІЗА
Оксид цинку (частинки)	0,22	0,05	3	1,0	4,4
Оксид азоту	0,06	0,04	3	1,0	1,5
Двооксид сірки	0,19	0,05	3	1,0	3,8
Оксид вуглецю	1,6	3,0	4	0,9	0,57
Свинець (частинки)	0,0004	0,0003	1	1,7	1,63
Комплексний ІЗА (КІЗА)					<b>11,9</b>

Примітно, що отримано показник КІЗА, близький до середнього по місту Дніпро. Причому стосовно викидів інших екологічно небезпечних підприємств міста можна очікувати подібні результати.

Для подальшого аналізу виконаємо нормування отриманого КІЗА шляхом ділення на число, що відповідає межі допустимого рівня цього індексу забруднення атмосфери. Це число визначимо на основі простого міркування. Так, якщо кожний врахований ІЗА дорівнюватиме 1, що відповідає граничному допустимому рівню забруднення повітря, то КІЗА, визначений за п'ятьма речовинами, складе 5 незалежно від класу небезпеки кожної речовини. Отже для п'яти речовин величина, що нормує КІЗА, буде 5, а його нормована гранично допустима величина складе  $5/5=1$ . В результаті нормований КІЗА (НКІЗА) в наведеному прикладі складе  $11,9/5=2,38$ , тобто перевищить допустиме значення у 2,38 рази.

Залишилося визначити верхню границю НКІЗА, що дозволить диференціювати шкалу його можливого діапазону та обрати раціональний для характеристики якості атмосферного повітря крок цієї шкали. При цьому будемо виходити з того, що число, яке дозволяє нормувати КІЗА, дорівнює кількості речовин, врахованих при його визначенні. Тому для визначення діапазону змін нормованого показника виконаємо нормування наявних

величин КІЗА, характерних для найбільш екологічно небезпечних міст України, визначених у 2013 та 2014 роках по сімох речовинах.

На наш погляд, більш динамічною виглядає діаграма за 2013 рік, що наведена на рис. 1, зліва. Отже, розділивши відповідні значення на 7 (по числу врахованих речовин), отримаємо діаграму за нормованою шкалою (рис. 2).

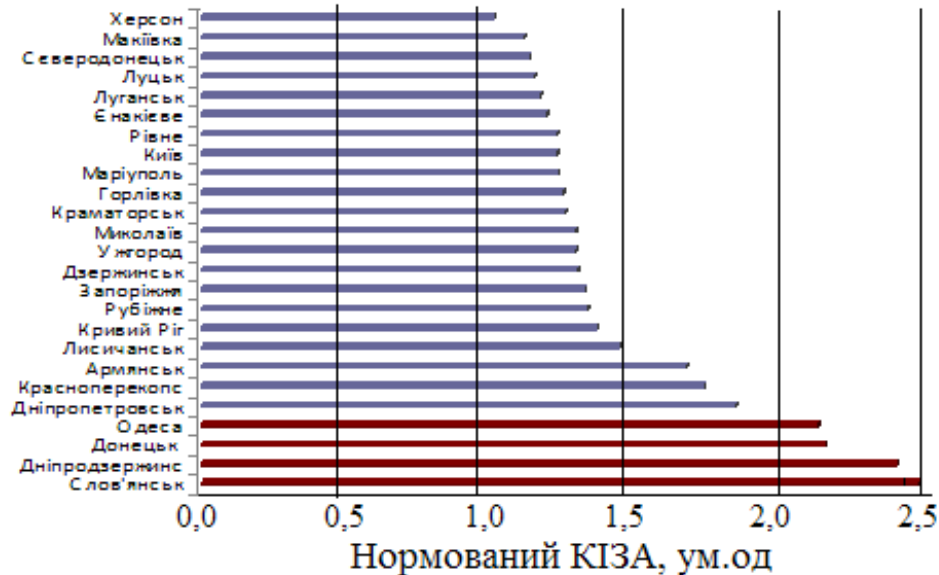


Рисунок 2 – Значення нормованих комплексних індексів забруднення атмосфери (НКІЗА) в найбільш забруднених містах України у 2013 р.

Отримана діаграма підказує можливість диференціації, а відповідно і класифікації якості атмосферного повітря, обумовленого викидами, за п'ятьма рівномірно розділеними рівнями НКІЗА з кроком шкали 0,5 та її верхньою межею 2,5. Запропонована класифікація наведена в табл. 5.

Таблиця 5 – Класифікація якості атмосферного повітря за рівнем нормованих значень індексів його забруднення (НКІЗА)

Рівень забруднення	Межі значень НКІЗА	Клас якості атмосферного повітря	Якість повітря
Допустимий	0-0,5	I	умовно чисте
Допустимий	0,5-1	II	слабко забруднене
Недопустимий	1-1,5	III	забруднене
Недопустимий	1,5-2	IV	брудне
Недопустимий	2-2,5 і більше*	V	екстремально брудне

Примітка\* - перевищення рівня 2,5 малоімовірно.

Важливо, що запропонована шкала класифікації якості атмосферного повітря має 5 однакових за кроком шкали проміжних діапазонів та передбачає два допустимих рівня забруднення з межами значень проміжних діапазонів НКІЗА: 0-0,5 та 0,5-1 (класи якості атмосферного повітря I та II відповідно). Перший діапазон відповідає якості повітря – «умовно чисте». Таку якість може забезпечити технічний засіб, що ефективно придушує більшість забруднювачів

у викидах, які формують певний НКІЗА. Другий діапазон – «слабко забруднене», тобто забруднення, наближене до граничного (НКІЗА=1).

Доцільність уведення другого проміжного діапазону з допустимим рівнем забруднення обумовлена тим, що викиди забруднюючих речовин не є сталими і мають стохастичний характер, тому завжди є ймовірність тимчасового перевищення допустимого рівня НКІЗА=1, яку навіть можливо визначити [11]. При цьому, чим ближче до 1, тим більше зазначена ймовірність та відсоток випадків перевищення цього рівня. Більше того, при рівні НКІЗА $\leq$ 1, на відміну від умови ІЗА $\leq$ 1 та умови ефекту сумачії за формулою (5), виконання яких вимагає санітарна гігієна, значення ІЗА окремих забруднювачів, що формують КІЗА, можуть перевищувати 1, оскільки запропонований показник є фактично осередненою величиною. Саме тому дотримання значення НКІЗА $\leq$ 1 є менш жорстким, ніж дотримання умови (5), тобто показник НКІЗА стає критерієм екологічної безпеки, а не гігієнічним та менш жорстким.

Проміжних діапазонів, що відповідають недопустимому рівню забруднення, з аналогічним кроком шкали вийшло три: 1-1,5; 1,5-2 та 2-2,5 і більше (клас якості атмосферного повітря III – «забруднене», IV – «брудне», V – «екстремально брудне»). При цьому перевищення рівня НКІЗА=2,5 має низьку ймовірність і на практиці стає верхньою межею шкали.

Маючи класифікацію якості атмосферного повітря переходимо до визначення залежності потрібної ефективності технічного засобу боротьби з викидами від рівня НКІЗА. Будемо спиратися на те, що рівномірно поділена шкала рівнів НКІЗА дозволяє чітко встановити потрібну ефективність пропонованого технічного засобу, оскільки дозволяє так само рівномірно диференціювати ефективність засобів придушення викидів, виражену у відсотках, як показано на рис. 3.

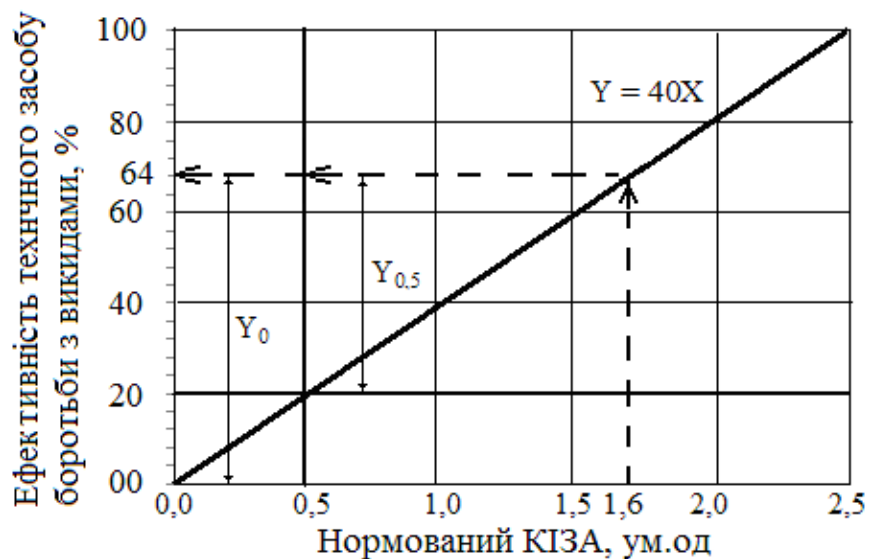


Рисунок 3 – Залежність потрібної ефективності технічного засобу боротьби з викидами від рівня визначеного НКІЗА



Як бачимо, залежність потрібної ефективності технічного засобу боротьби з викидами –  $Y$  від рівня визначеного НКІЗА –  $X$  представляється лінійним рівнянням:  $Y=(100/2,5)X=40$ . В такому разі, наприклад, при значенні  $X=1,6$  ефективність обраного засобу  $Y$ , що потрібна для повного придушення викиду, повинна скласти 64% (ордината  $Y_0$  на рис. 3).

Зауважимо, що придушити всі забруднюючі речовини, що визначають рівень НКІЗА, до його нульового значення практично неможливо, тому пропонуємо знижати його лише до рівня  $X=0,5$ , який знаходиться в середині допустимого інтервалу значень НКІЗА від 0 до 1, тобто рівень забруднення повітря буде допустимим, якість повітря – «умовно чисте», а клас якості атмосферного повітря відповідатиме межі класів I та II.

В такому випадку потрібна проектна ефективність обраного засобу може бути знижена на 20% (ордината  $Y_{0,5}$  на рис. 3), а розрахункове рівняння набуде остаточного вигляду:

$$Y_n = 40X - 20, \quad (6)$$

де  $Y_n$  – потрібна ефективність обраного технічного засобу, %,  $X$  – значення НКІЗА, умовних одиниць.

Таким чином, запропонований підхід, що спирається на рівень НКІЗА, виглядає менш жорстким, порівняно з критерієм, який базується на кратності перевищення ГДК окремими забруднювачами. Це дозволить обирати ті засоби, які в конкретних умовах забезпечать технічно досяжну величину НКІЗА з відповідною якістю атмосферного повітря, що певною мірою знизить їх вартість та стимулюватиме підприємства з реалізації природоохоронних заходів.

Нижче наводимо приклад вибору ефективного технічного засобу для боротьби з викидами на основі запропонованого підходу для машинобудівного підприємства у м. Дніпро, значення комплексного ІЗА (КІЗА).

З табл. 4 видно, що у викидах підприємства з п'яти забруднювачів два являють собою дрібні частинки свинцю (клас небезпеки 1) та цинку (клас небезпеки 3), завислі в повітрі, тобто дрібнодисперсний пил, а інші є газами. КІЗА викидів склав 11,9, а НКІЗА=2,31, тобто за запропонованою нами класифікацією рівень забруднення – «недопустимий», клас якості атмосферного повітря – V, тобто найнижчий, а повітря – «екстремально брудне».

Розрахуємо потрібну ефективність технічних засобів для цього випадку, скориставшись формулою (6):  $Y_n=40X-20=40 \times 2,36-20=74,4\%$ .

Таким чином, викид кожної забруднюючої речовини, що формує НКІЗА підприємства, повинен бути знижений не менш як на  $\approx 75\%$ .

Подальший аналіз даних табл. 4 показує, що для придушення викидів на підприємстві варто застосувати технічне рішення, яке забезпечить зменшення як викидів пилових частинок, так і небезпечних газів, що надходять в атмосферу переважно з аспіраційної системи ливарного цеху підприємства. Отже, пропонується замінити діючий на ділянці циклон СК-ЦН-34 на скруббер

Вентурі – пристрій для очищення газів чи повітря як від пилових частинок, так і від розчинених у воді небезпечних газів.

Прогноз зниження НКІЗА від застосування скрубера Вентурі виконаємо шляхом зіставлення його значень до і після застосування засобу. Будемо вважати, що очікувана ефективність скрубера Вентурі у разі використання його як універсального засобу складе: для дрібнодисперсного пилю близько 85%, а для газів – 70%. Отже визначимо, як зміниться НКІЗА викидів після застосування скрубера Вентурі на підприємстві (табл. 6).

Як бачимо, застосування проточного електродинамічного фільтру забезпечить зниження НКІЗА з величини 2,38 до рівня 0,46, тобто за запропонованою нами класифікацією якість атмосферного повітря зміниться з V-го на I клас, отже повітря стане «умовно чисте».

Для порівняння також дамо прогноз зниження НКІЗА після застосування електрофільтру для боротьби з викидами пилю, ефективність якого зазвичай сягає 95-99%. Для надійного знепилювання викидів нами розглянута можливість використання проточного електродинамічного фільтра з низьким аеродинамічним опором вентиляційному потоку [12], який також можна розмістити на виході з аспіраційної системи ливарного цеху вказаного підприємства.

Таблиця 6 – Результати оцінки НКІЗА на межі санітарно-захисної зони підприємства після впровадження скрубера Вентурі

Вміст забруднюючих речовин в повітрі	Середні концентрації, мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>сд.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки речовини	Показник С у формулі (3)	ІЗА
Оксид цинку (частинки)	0,066	0,05	3	1,0	1,32
Оксид азоту	0,018	0,04	3	1,0	0,45
Двооксид сірки	0,057	0,05	3	1,0	1,14
Оксид вуглецю	0,48	3,0	4	0,9	0,19
Свинець (частинки)	0,00012	0,0003	1	1,7	0,21
Комплексний ІЗА (КІЗА)					2,31
Нормований КІЗА (НКІЗА) =2,31/5					<b>0,46</b>

Для оцінки рівня зниження НКІЗА при його застосуванні будемо вважати, що забруднення атмосфери частинками пилю на межі санітарно-захисної зони машинобудівного підприємства стане наближеним до рівня, що складає 5% відносно попереднього. Результати розрахунків НКІЗА у такому разі наведені в табл. 7.

Як бачимо, застосування проточного електродинамічного фільтру забезпечило зниження НКІЗА з величини 2,38 до рівня 1,37, тобто клас якості атмосферного повітря зміниться з V – «екстремально забруднене» на III – «забруднене». Отже, хоч забруднення залишиться недопустимим, якість атмосферного повітря покращиться на два класи, забезпечуючи тим самим певний екологічний ефект.

Таблиця 7 – Результати оцінки НКІЗА після впровадження запропонованого проточного динамічного електрофільтра

Вміст забруднюючих речовин в повітрі	Середні концентрації, мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>ср.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки речовини	Показник С у формулі (3)	ІЗА
Оксид цинку (частинки)	0,05	0,05	3	1,0	1,0
Оксид азоту	0,06	0,04	3	1,0	1,5
Двооксид сірки	0,19	0,05	3	1,0	3,8
Оксид вуглецю	1,6	3,0	4	0,9	0,54
Свинець (частинки)	≈0,00002	0,0003	1	1,7	0,01
Комплексний ІЗА (КІЗА)					6,85
Нормований КІЗА (НКІЗА) =6,85/5					<b>1,37</b>

Підсумовуючи відмітимо, що для підвищення якості атмосферного повітря шляхом зменшення НКІЗА викидів перевагу слід надавати універсальним засобам придушення газопилових викидів підприємств, зокрема скрубєру Вентурі, налагодженому для роботи в режимі одночасного придушення пилу і газових домішок, що забезпечує більше зниження рівня НКІЗА викидів порівняно із застосуванням окремих засобів боротьби з певними забруднювачами атмосфери, які між тим теж дають певний екологічний ефект.

**Висновки.** Виконаний аналіз критеріїв оцінювання забруднення атмосферного повітря показав, що їх недостатньо для обґрунтування раціонального вибору засобів боротьби з викидами, оскільки немає однозначної диференціації рівнів комплексних індексів забруднення атмосфери, визначення яких проводиться за різною кількістю забруднюючих речовин.

Запропоновано нормований індекс забруднення атмосферного повітря, рівномірний розподіл шкали якого став основою класифікації якості атмосферного повітря, що передбачає 5 класів з проміжними діапазонами значень НКІЗА: 0-0,5; 0,5-1; 1-1,5; 1,5-2 та 2-2,5 (відповідно «умовно чисте», «слабко забруднене», «забруднене», «брудне» та «екстремально брудне»). Причому перші два проміжні діапазони відповідають допустимим рівням забруднення повітря, а інші три – недопустимим.

Обґрунтовано залежність необхідної ефективності технічного засобу боротьби з викидами від фактичної якості атмосферного повітря, визначеної за нормованим індексом у вигляді лінійного рівняння, що дозволяє визначати ступінь придушення викиду засобом в процентах при забезпеченні допустимого рівня НКІЗА=0,5, який відповідає верхній межі першого допустимого проміжного діапазону шкали якості повітря – «умовно чисте».

Рекомендовано при виборі засобів боротьби з викидами з використанням запропонованої шкали якості атмосферного повітря надавати перевагу універсальним засобам, наприклад скрубєру Вентурі, достатня ефективність якого забезпечується в режимі одночасного придушення пилу та газових домішок при відносно менших витратах, порівняно із застосуванням окремих

засобів для придушення різних забруднювачів атмосфери, зокрема електрофільтра, призначеного лише для пиловловлювання.

Запропонована екологічна класифікація висуває менш жорсткі вимоги порівняно з дотриманням санітарних норм по окремих забруднювачах повітря, а її впровадження певною мірою знизить вартість засобів боротьби з викидами та заохотить виробників фінансувати природоохоронні заходи та технології.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Shupranova, L.V. Air pollution assessment in the Dnepropetrovsk industrial megapolice of Ukraine / L.V. Shupranova, V.M. Khlopova, M.M. Kharytonov // *Air Pollution Modeling and its Application XXII. NATO Science for Peace and Security Series – C: Environmental Security*. Springer. – 2014. – pp. 101–104.
2. Cooper, C.D. Air Pollution Control: A Design Approach / C.D. Cooper, F.C. Alley // Long Grove (IL): Waveland press. – 2011. – XVI. – 839 p.
3. Gallagher, J. The passive control of air pollution exposure in Dublin, Ireland: A combined measurement and modelling case study / J. Gallagher, L.W. Gill, A. Mc Nabola // *Science of the Total Environment*. 2013. – Vol. 458-460. – pp. 331-343.
4. Разработка методов математического моделирования эмиссии шахтного метана / Т. В. Бунько, А. В. Боровский, И. Е. Кокоулин, А. Б. Бокий // *Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України*. – 2013. – Вип. 109. – С. 172-181.
5. Жуков, М.Н. Метод підвищення детальності просторового розподілу забруднення (на прикладі Київської агломерації) / М.Н. Жуков, І.Р. Стахів // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. – 2014. – №1. – С. 113-118.
6. Boyko, T. Definition of environmental risk as integral criterion in assessing of man-caused load / T. Boyko, A. Abramova // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. – no. 3. – Issue 10(69). – pp. 4–7.
7. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених міст (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). Введено МОЗ України 9.07.97. Наказ № 201) (Електронний ресурс) / Режим доступу: URL: <http://kisloroda.net.ua/articles/view/65.html>
8. Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» Затверджено Наказ МОЗ 13.04.2007 № 184.
9. Огляд про стан забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій. (Електронний ресурс) / Режим доступу: [http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine&p=1](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1)
10. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОП Грінь Д.С. – 2016. – 350 с.
11. Kolesnik V.Ye. Determination of dynamic parameters of dust emission from a coal mine fang / V.Ye. Kolesnik, A.V. Pavlichenko, Yu.V. Buchavy // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016. – №2. – pp. 81–87.
12. Колесник, В.Є. Розробка способів зниження рівня екологічної небезпеки від пилових викидів вугільних шахт / В.Є. Колесник, А.В. Павличенко // *Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. / ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України*. – 2016. – Вип 128.– С. 167-178.

#### REFERENCES

1. Shupranova, L.V., Khlopova, V.M. and Kharytonov, M.M. (2014), «Air pollution assessment in the Dnepropetrovsk industrial megapolice of Ukraine», *Air Pollution Modeling and its Application XXII. NATO Science for Peace and Security Series, C: Environmental Security*, Springer, pp. 101–104.
2. Cooper, C.D. and Alley, F.C. (2011), «Air Pollution Control: A Design Approach», Waveland press Long Grove (IL), XVI, 839 p.
3. Gallagher, J., Gill, L.W. and McNabola, A. (2013), The passive control of air pollution exposure in Dublin, Ireland: A combined measurement and modelling case study, *Science of the Total Environment*, Vol. 458-460, pp. 331-343.
4. Bunko, T.V., Borovsky, A.V., Kokoulin, I.Ye. and Boki, A.B. (2013), “Development of methods of mathematical design of emission of mine methane”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 109, pp. 172-181.

5. Zhukov, M.N. and Stakhiv, I.R. (2014), «The method of detalization of pollution spatial distribution (on the example of Kiev metropolitan area)», *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 1, pp. 113-118.

6. Boyko, T. and Abramova A. (2014), «Definition of environmental risk as integral criterion in assessing of man-caused load», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 3, Issue 10(69), pp. 4–7.

7. *Gosudarstvennye sanitarnye pravila okhrany atmosfernogo vozdukha naseleennykh mest (ot zagryazneniya khimicheskimi i biologicheskimi veshchestvami)* [State sanitary rules of air protection in populated areas (from contamination by the chemical and biological matters)] (1997), Introduced by Ministry Protection of Health of Ukraine 09.09.97, Order no. 201.

8. *Metodychni rekomendatsii "Otsinka ryzyku dlia zdorovia naseleennia vid zabrudnennia atmosfernoho povitria* [Guidelines "Assessment of risk to health from air pollution"] [Electronic resource]. Introduced by Ministry Protection of Health of Ukraine 13.04.07, Order no. 184.

9. *Ogliad pro stan zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha na terytorii Ukrainy za danymy sposterezhen hidrometeorolohichnykh orhanizatsii* [Overview on the state of environmental pollution in Ukraine, according to observations of meteorological organizations]. [Electronic resource]. Available at: [http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine&p=1](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1)

10. *Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnjogo pryrodnoho seredovyscha v Ukraini u 2014 rotsi* [National Report on the Environment State of Ukraine in 2014], (2016), Physical person entrepreneur Grin D.S., Kyiv, Ukraine.

11. Kolesnik, V.Ye., Pavlichenko, A.V. and Buchavy, Yu.V. (2016), «Determination of dynamic parameters of dust emission from a coal mine fang», *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 2, pp. 81–87.

12. Kolesnik, V.Ye. and Pavlychenko A.V. (2016), «Development of the ways of reduction of ecological danger caused by dust emissions of coal mines», *Geo-TechnicalMechanics*, no. 128, pp. 167-178.

---

### Про авторів

**Колесник Валерій Євгенійович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, [kolesnikve@yahoo.com](mailto:kolesnikve@yahoo.com)

**Павличенко Артем Володимирович**, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, [pavlychenkoa@nmu.org.ua](mailto:pavlychenkoa@nmu.org.ua).

**Калініна Катерина Романівна**, студентка кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, [kalinina.k.r@nmu.one](mailto:kalinina.k.r@nmu.one).

### About the authors

**Kolesnyk Valeriy Yevhenovych**, Doctor of Technical Science (D.Sc.), Professor, Professor on the Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnipro, Ukraine, [kolesnikve@yahoo.com](mailto:kolesnikve@yahoo.com).

**Pavlychenko Artem Volodymyrovych**, Doctor of Technical Science (D.Sc.), Associate Professor, Head of the Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection, State Higher Educational Institution "National Mining University" (SHEI "NMU"), Dnipro, Ukraine, [pavlychenkoa@nmu.org.ua](mailto:pavlychenkoa@nmu.org.ua).

**Kalinina Kateryna Romanivna**, Student, Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection, State Higher Educational Institution "National Mining University" (SHEI "NMU"), Dnipro, Ukraine, [kalinina.k.r@nmu.one](mailto:kalinina.k.r@nmu.one)

---

**Аннотация.** Выполнен анализ критериев оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха. Установлено их недостаточность для обоснования необходимой эффективности средств минимизации выбросов, поскольку нет однозначного дифференциации уровней комплексных индексов загрязнения атмосферы. Предложено нормированный индекс загрязнения атмосферы, который положен в основу классификации качества атмосферного

воздуха. Обоснованно зависимость допустимой эффективности технического способа локализации выбросов от фактического качества атмосферного воздуха, определенной по нормированным индексам в виде линейного уравнения. Показано, что предложенная экологическая классификация выдвигает менее жесткие требования по сравнению с соблюдением санитарных норм по отдельным загрязнителям воздуха. Ее внедрение в определенной степени снизит стоимость средств минимизации выбросов и поощрит производителей финансировать природоохранные мероприятия и технологии.

**Ключевые слова:** промышленные выбросы, качество атмосферного воздуха, индексы загрязнения, классификация загрязнения, средства борьбы с выбросами.

**Annotation.** Criteria for estimating rates of atmospheric air pollution were analyzed, and it is concluded that their effectiveness is not enough for minimizing emissions, because no clear differentiation of complex indices for air pollution is available. A standardized index of atmospheric pollution is proposed as a basis for classification of air quality.

Dependence is established between permissible technical efficiency of technical equipment for capturing emissions and air quality, which is determined by normalized index in the form of linear equation. It is shown that the proposed ecological classification imposes less stringent requirements in comparison with current sanitary standards for some air pollutants. Its implementation will reduce, to some extent, cost of facilities for decreasing emissions and encourage manufacturers to finance environmental protective measures and technologies.

**Key words:** industrial emissions, atmospheric air quality, pollution indices, classification of pollution, facilities for decreasing emissions.

*Статья поступила в редакцию 1.12. 2017*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько*