

**ОЦІНКА ІНТЕГРАЛЬНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕННЯ  
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ  
МІСТА НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ**

**Горова А. І., Бучавий Ю. В.**

**ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВЫБРОСАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРОДА НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ**

**Горова А. И., Бучавый Ю. В.**

**INTEGRATED HAZARD ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION  
IMPACT BY EMISSIONS OF INDUSTRIAL URBAN ENTERPRISES  
ON PUBLIC HEALTH**

**Gorova A., Buchavyy Y.**

Державний ТУ «Дніпровська політехніка»  
Дніпро, Україна  
[buchavyy@gmail.com](mailto:buchavyy@gmail.com)

*Проведено аналіз існуючих підходів до визначення впливу викидів промислових підприємств на довкілля і здоров'я населення. Обґрунтовано доцільність застосування інтегральних показників небезпеки для оцінки впливу джерел забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення, що мешкає на прилеглих територіях, залежно від його чисельності населення. Надаються рекомендації щодо подальшого використання запропонованих інтегральних показників у природоохоронній галузі та моніторингу здоров'я населення.*

**Ключові слова:** Забруднення атмосферного повітря, промислові підприємства, здоров'я населення, моніторинг довкілля, інтегральні показники

*Проведен анализ существующих подходов к определению влияния выбросов промышленных предприятий на окружающую среду и здоровье населения. Обоснована целесообразность применения интегральных показателей опасности для оценки влияния источников загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения, проживающего на прилегающих территориях, в зависимости от численности населения. Даются рекомендации по дальнейшему использованию предложенных интегральных показателей в природоохранной отрасли и мониторинга здоровья населения.*

**Ключевые слова:** Загрязнение атмосферного воздуха, промышленные предприятия, здоровья населения, мониторинг окружающей среды, интегральные показатели

*The analysis of existing approaches of industrial emissions impact definition on the environment and human health are given. The expediency of integral risk indicators for assessing the impact from air pollution sources on the people health that living in the surrounding areas, was found according population amount. The recommendations for the further using of the proposed integral indicators in the environmental industry and the public health monitoring are suggested.*

**Keywords:** Pollution of atmospheric air, industrial enterprises, population health, environmental monitoring, integral indicators

## ВСТУП

Сьогодні для більшості регіонів України є характерним високий рівень урбанізації, тобто переважна більшість населення проживає в великих мегаполісах та містах з інтенсивно розвинутою промисловістю. За даними спостережень в 2013 р. у пріоритетний список міст із найбільшим рівнем забруднення атмосферного повітря ввійшли 25 міст країни – це Слов'янськ, Дніпродзержинськ, Донецьк, Одеса, Дніпропетровськ, Красноперекіпськ, Армянськ, Лисичанськ, Кривий Ріг, Рубіжне, Запорожжя, Дзержинськ, Ужгород, Миколаїв, Краматорськ, Горлівка, Маріуполь, Київ, Рівне, Єнакієве, Луганськ, Луцьк, Сєверодонецьк, Макіївка, Херсон. Основними джерелами забруднення повітря в цих населених пунктах є організовані стаціонарні джерела, а пріоритетними забруднювачами атмосфери у більшості випадків залишаються окисли азоту, двоокис сірки, окис вуглецю, феноли, формальдегід та пил. Високий рівень забруднення повітря в цих містах зв'язаний, в основному, зі значними середньорічними концентраціями перелічених вище пріоритетних забруднювачів. Таким чином, забруднення повітряного басейну промисловими підприємствами стає реальним чинником негативного впливу на здоров'я людини [1].

З метою кількісної оцінки забруднень повітря у великих містах створюються системи спостережень, тобто організований моніторинг навколишнього середовища, який є дуже витратним для міського бюджету. Не менш складною і важливою задачею є не тільки визначення пріоритетних факторів забруднення атмосферного повітря окремими промисловими об'єктами, а, зокрема, прогнозування впливу їх дії на здоров'я населення. Для вирішення цієї задачі ступінь забруднення атмосферного повітря визначають за допомогою стандартизованих методик, а також певних математичних моделей розсіювання в приземній атмосфері речовин, що викидаються в атмосферу з різних джерел. Так, згідно з діючим стандартизованим керівним документом (РД 52.04.186-89) для визначення небезпеки підприємства використовують обсяги викидів його забруднювачів за статистичною формою звітності 2-ТП «Повітря», з урахуванням характеристик їх небезпеки.

Інший критерій за яким визначають небезпечний вплив підприємства базується на розрахунку забруднення атмосферного повітря від його викидів та визначення приземних концентрацій забруднювачів. Згідно з цим критерієм приземні концентрації забруднювачів не повинні перевищувати граничнодопустимі на території житлової забудови. При цьому приземні концентрації забруднювачів визначаються за стандартизованою методикою ОНД-86 й лише за несприятливих метеорологічних умов, тобто визначаються максимальні значення приземних концентрацій. В результаті, з використанням указаних підходів визначаються класи небезпеки підприємств та розраховуються значення ГДВ, тобто рівень граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин для кожного джерела.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Визначені таким шляхом класи небезпеки підприємств та відповідні значення ГДВ певною мірою характеризують екологічну небезпеку промислових джерел викидів. Проте, вони не дозволяють оцінити небезпеку впливу таких джерел на здоров'я населення, як людської популяції, особливо залежно від кількості людей, що мешкають на прилеглих до підприємств територіях. Очевидно, що, чим більше

людей мешкає на певних територіях з певним забрудненням повітря, тим більше людей ризикує здоров'ям, тим більше небезпека, для популяції.

Таким чином, виникає необхідність в застосуванні додаткових показників, за якими можна опосередковано визначати небезпеку промислового підприємства за критерієм впливу на здоров'я всього населення, яке знаходиться в зоні впливу підприємства. Частково вирішити цю задачу можна шляхом розрахунку осереднених (а не максимальних) приземних концентрацій, що утворюються внаслідок викидів джерел забруднення атмосфери з подальшим визначенням ризику для здоров'я населення від цих концентрацій, відповідно до «методичних рекомендацій з оцінки ризику від забруднення атмосферного повітря» [2], де розрахунок коефіцієнта небезпеки здійснюють за формулою (1):

$$HQ_i = C_i / RfC, \quad (1)$$

де  $HQ_i$  – коефіцієнт небезпеки впливу  $i$ -тої речовини;

$C_i$  – рівень впливу  $i$ -тої речовини, мг/м<sup>3</sup>;

$RfC$  – референтний, тобто безпечний рівень впливу, зокрема граничнодопустима концентрація, мг/м<sup>3</sup>.

Далі, згідно з указаною методикою, характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин проводять на основі розрахунку індексу небезпеки за формулою (2):

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

де:  $HQ_i$  – коефіцієнти небезпеки для окремих компонентів суміші хімічних речовин, що впливають на здоров'я населення.

Зазначена методологія не надає рекомендацій або роз'яснень щодо визначення індексів небезпеки або неканцерогенних ризиків на популяційному рівні. Проте зрозуміло, що значення індексів небезпеки можуть сильно варіюватися на території міста як і щільність населення на окремих його територіях, в житлових забудовах тощо. Вважається, що імовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню  $HQ$ , тому за критеріями нормування якості атмосферного повітря на територіях житлової забудови індекси і коефіцієнти небезпеки повинні бути менше одиниці. Слід також зауважити, що навіть коли розрахункові значення для окремого джерела забруднення не перевищують граничних величин, їх також доцільно урахувати, як показники певного вкладу промислового джерела у загальне забруднення атмосфери та у відповідні ризики для населення.

Таким чином, показник загальної небезпеки від викидів окремого джерела забруднення, або групи джерел (окремого підприємства чи усіх підприємств) для населення яке потрапляє в зону впливу забруднення повітря (*Integral Rate*), можна визначити за формулою (3):

$$IR_p = \sum_{i=1}^n HI_i \cdot N_i \quad (3)$$

де  $HI_i$  – індекс небезпеки в дослідженій області (ділянці, зоні);

$N_i$  – чисельність населення на дослідженій області;

$n$  – кількість обраних областей на дослідженій території (території міста).

Слід зауважити, що кількість досліджуваних областей зазвичай залежатиме від розмірів площадок на які розбивається карта території міста.

Для територій де населення підвергається дії небезпечних приземних концентрацій від дослідженого джерела забруднення доцільно застосовувати показник підвищеної небезпеки (*Danger Rate*), який розраховується за формулою (4):

$$DR_p = \sum_{i=1}^n HI_i \cdot N_i \quad (4)$$

де  $HI_i$  індекс небезпеки, який не відповідає нормам, тобто перевищує референтні рівні;  $N_i$  – кількість населення на дослідженій ділянці з підвищеним індексом небезпеки;  $n$  – кількість ділянок на дослідженій території де індекс небезпеки не відповідає нормам.

Кількість населення, що мешкає на території міста з підвищеним індексом небезпеки від викидів дослідженого джерела забруднення повітря може бути визначена за наступною формулою (5):

$$P = \sum_{i=1}^n N_i \quad (5)$$

Отже запропоновані показники загальної та підвищеної небезпеки є безрозмірними величинами, що є залежними від значень приземних концентрацій та кількості людей, які зазнають негативного впливу від забруднення атмосферного повітря.

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для прикладу практичної реалізації запропонованого підходу проведемо моделювання процесів забруднення атмосферного повітря від умовних джерел, з подальшим визначенням інтегральних показників небезпеки для населення. Уявімо місто круглої форми діаметром 20 км та рівномірно розподіленим населенням в 1 млн. осіб, на здоров'я яких негативно впливають викиди від 2 точкових джерел забруднення атмосферного повітря, розташованих у центрі міста. Характеристики джерел та вхідні данні для моделювання наведені в табл. 1.

Згідно наведеним в табл. 1 характеристикам, джерело 1 є високим з гарячим викидом, що характерно для потужних ТЕС або підприємств металургійної промисловості. Джерело 2 є середньої висоти з холодним викидом інтенсивністю у 5 раз менше, ніж у джерела 1. Розрахунок осереднених приземних концентрацій забруднювачів виконувався відповідно з підходами, наведеним в роботі [3]. Розподіл напрямів вітру прийнято рівномірним, а розподіл швидкостей вітру і характеристик стратифікації атмосфери – відповідно їх середньорічним значенням м. Дніпро. Картографування території та підрахунок показників небезпеки проведено у середовищі *ESRI ArcGIS Desktop 9* із використанням інструментів інтерполяції та зональної статистики. Результати моделювання й розподіл індексів небезпеки за приземними концентраціями наведені на рис. 1–2 та в табл. 2.

Таблиця 1. Вхідні данні для визначення приземних концентрацій, утворених двома джерелами забруднення атмосфери, та показників небезпеки для населення

| ПАРАМЕТР  | Джерело 1  | Джерело 2 |
|---|------------|-----------|
| Висота джерела, м   | 100        | 15        |
| Діаметр гирла, м  | 4          | 1         |
| Швидкість виходу ГПС, м/с                                   | 6          | 2         |
| Інтенсивність викиду CO, г/с                                | 50         | 10        |
| Інтенсивність викиду SO <sub>2</sub> , г/с                  | 500        | 100       |
| Інтенсивність викиду NO <sub>2</sub> , г/с                  | 300        | 60        |
| Перегрів ГПС відносно довкілля, С                           | 80         | 24        |
| Референтна концентрація CO, мг/м <sup>3</sup>               | 3          |           |
| Референтна концентрація SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup> | 0,05       |           |
| Референтна концентрація NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup> | 0,06       |           |
| Референтна концентрація NO, мг/м <sup>3</sup>               | 0,04       |           |
| Коефіцієнт трансформації азоту (з NO <sub>2</sub> до NO)    | 0,6        |           |
| Коефіцієнт рельєфу навколо джерела                          | 1          |           |
| Середня температура довкілля, С                             | 8          |           |
| Площа міста, м <sup>2</sup>                                 | 1224603200 |           |
| Кількість населення, чол.                                   | 1000000    |           |
| Щільність населення, чол./м <sup>2</sup>                    | 0,00082    |           |
| Кількість розрахункових областей на всій площі міста        | 3061508    |           |

Як бачимо з рис. 1, в центрі міста біля джерела 1 спостерігаються вкрай низькі значення індексів небезпеки, розрахованими за осередненими приземними концентраціями забруднювачів. Оскільки джерело 1 характеризується значною висотою і температурою, це сприяє суттєвому підйому газоповітряної суміші й переносу її на велику відстань навколо джерела, за межі міста. Найбільші значення індексів небезпеки спостерігаються на відстані від 4000...8000 м від даного джерела і поступово знижується по мірі віддалення від нього. Найбільші значення приземних концентрацій від джерела 2 спостерігаються поблизу 400...550 м. І хоча обсяги викидів від джерела 2 в 5 раз менші за джерело 1, інтегральний показник загальної небезпеки від нього є меншим лише у 2,5 рази (табл. 2), оскільки переважна їх більшість розподіляється на території міста.

## ВИСНОВКИ

Запропоновані інтегральні показники загальної та підвищеної небезпеки доцільно застосовувати як додаткові, за якими можна оцінити вплив джерела або підприємства на довкілля та здоров'я населення, що мешкає на прилеглих територіях, залежно від його чисельності. На основі запропонованих показників доцільно також проводити порівняння та ранжування підприємств або нормування їх окремих джерел забруднення атмосферного повітря за критерієм впливу на здоров'я всього населення, яке знаходиться в зоні впливу.

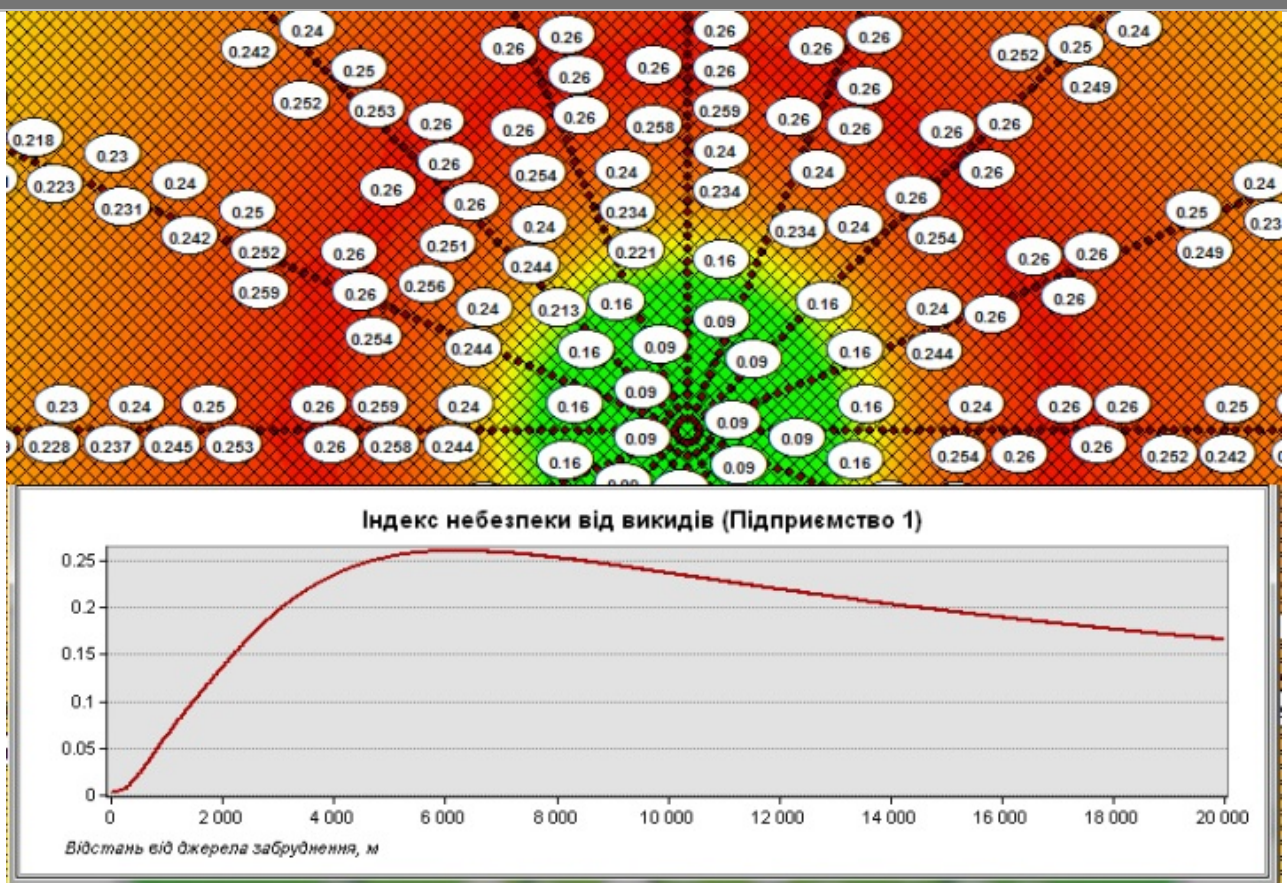


Рис. 1. Розподіл індексів небезпеки за приземними концентраціями від викидів джерела 1

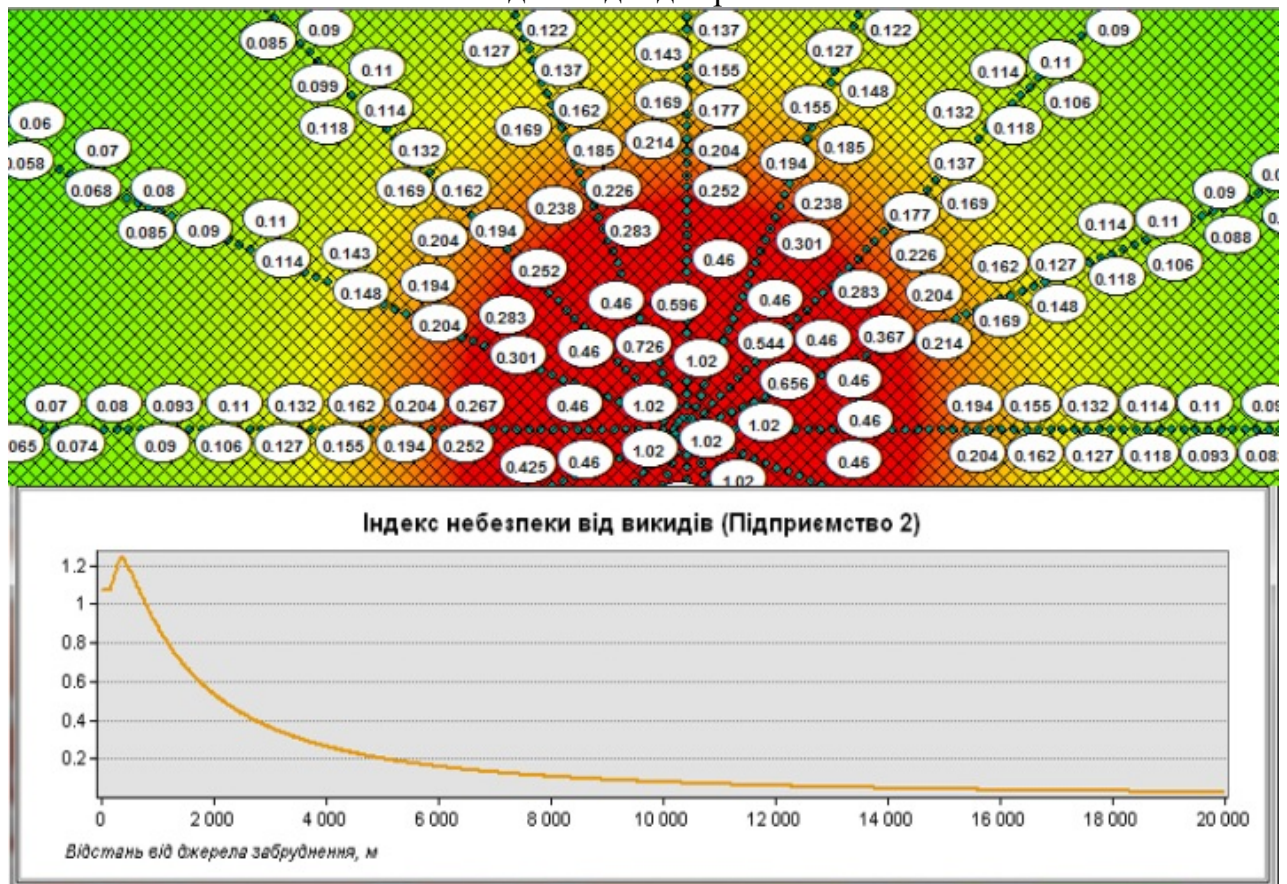


Рис. 2. Розподіл індексів небезпеки за приземними концентраціями від викидів джерела 2

Таблиця 2. Результати розрахунку показників небезпеки для здоров'я населення від джерел забруднення атмосфери

| Параметр   | Джерело 1      | Джерело 2    | Разом      |
|--|----------------|--------------|------------|
| Коефіцієнти небезпеки від викидів $CO$                                       | 0÷0,000275     | 0÷0,0013     | 0÷0,001    |
| Коефіцієнти небезпеки від викидів $SO_2$                                     | 0,000135÷0,165 | 0,018÷0,793  | 0,123÷0,8  |
| Коефіцієнти небезпеки від викидів $NO_2$                                     | 0,000018÷0,021 | 0,0023÷0,103 | 0,02÷0,104 |
| Коефіцієнти небезпеки від викидів $NO$                                       | 0,000061÷0,074 | 0,008÷0,357  | 0,05÷0,36  |
| Індекси небезпеки від усіх викидів, $HI$                                     | 0,0002÷0,26    | 0,028÷1,254  | 0,194÷1,26 |
| Середньо-взважені значення індексу небезпеки міста                           | 0,2            | 0,08         | 0,29       |
| Сумарні значення індексів небезпеки міста                                    | 627463,171     | 246370,5646  | 873833,732 |
| Інтегральний показник загальної небезпеки                                    | 204952,321     | 80473,598    | 285743,63  |
| Інтегральний показник підвищеної небезпеки                                   | 0              | 12628,207    | 16482,19   |
| Частка населення, яка мешкає на території з підвищеним індексом небезпеки, % | 0              | 1,7          | 1,9        |

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2013 році. Міністерство екології та природних ресурсів України, Київ, 2014. 146 с.
2. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: [Методичні рекомендації] / МОЗ України (Затверджено за наказом МОЗ України від 13.04.2007 р. №184). Офіц. вид. 2007 р. 28 с. – (Нормативний документ МОЗ України).
3. Горова А. І., Бучавий Ю.В. Аналіз ризиків для здоров'я населення від викидів промислових підприємств Дніпродзержинська з використанням ПС. *Гігієна населених місць*, К. : Національна академія медичних наук України, Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва, 2015. № 65. С. 32–38.