

© А.В. Павличенко¹, Ю.В. Бучавий¹, О.В. Ангурець², П.В. Хазан²

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

² Дніпропетровська обласна рада, Дніпро, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ІНФОРМУВАННЯ НАСЕЛЕННЯ ПРО ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПРОМИСЛОВИХ МІСТ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

© A. Pavlychenko¹, Yu. Buchavyi¹, O. Angurets², P. Khazan²

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

² Dnipropetrovsk regional council, Dnipro, Ukraine

PROSPECTIVES OF OPERATIONAL INFORMATION SYSTEM IMPLEMENTATION FOR INDUSTRIAL CITIES POPULATION ABOUT THE ATMOSPHERIC AIR QUALITY BY INTERNATIONAL STANDARDS

Мета. Провести критичний аналіз існуючих підходів до оцінки забруднення атмосфери та обґрунтувати для м. Дніпро доцільність впровадження системи інформування населення про якість атмосферного повітря за міжнародними стандартами.

Методика досліджень. Для вирішення завдань в роботі застосовувались: науковий пошук та узагальнення даних літературних джерел – для SWOT аналізу різних підходів до оцінки забруднення атмосфери населених міст; статистичний аналіз – для розрахунку поточних індексів якості повітря, ризиків прояву гострих ефектів для здоров'я населення, а також середньомісячних показників якості атмосферного повітря за результатами спостережень.

Результати досліджень. Запропоновано алгоритм визначення поточних індексів якості повітря та ризиків прояву гострих ефектів для здоров'я населення. Проведено розрахунок середньомісячних показників якості атмосферного повітря за результатами спостережень за приземними концентраціями забруднюючих речовин. Наведено приклад розрахунку поточних індексів якості повітря та ризиків прояву гострих ефектів для здоров'я населення за фактичними приземними концентраціями забруднюючих речовин на території м. Дніпро. Удосконалена методика дозволяє визначати критичні органи та системи організму людини, які зазнають негативного впливу від дії концентрації певної речовини із урахуванням поєднаної дії декількох забруднюючих речовин.

Наукова новизна. Обґрунтовано перелік показників, необхідних для впровадження системи інформування населення про якість атмосферного повітря міст України за міжнародними стандартами. Запропоновані показники можуть бути визначені на основі даних про концентрації забруднюючих речовин які реєструються за допомогою високоточних газоаналізаторів безперервної дії.

Практичне значення. Запропонований у роботі підхід дозволить надавати інформацію про якість атмосферного повітря як за діючими вітчизняними стандартами й нормативами так і міжнародними, що сприятиме розширенню панєвропейської мережі моніторингу атмосферного повітря на терени України.

Ключові слова: моніторинг атмосферного повітря, індекс якості повітря, індекс забруднення атмосфери, індекс безпеки, здоров'я населення.

Актуальність. Одним із найважливіших чинників просування держави на шляху до сталого розвитку є покращення стану атмосферного повітря. Це стосується перш за все великих техногенно-навантажених міст. У місті Дніпро зареєстровано понад 200 підприємств чорної металургії, хімічної промисловості, машинобудування, виробництва будівельних матеріалів тощо, виробнича діяльність яких є головним чинником негативного впливу на навколишнє середовище, насамперед на стан атмосферного повітря. Загальний обсяг викидів в атмосферне повітря міста здійснюється понад 7 000 стаціонарними джерелами забруднення, з яких 6 200 (89%) – організовані. Окрім того, у м. Дніпро нараховується близько 1500 автоспоживачів, майже 27 тис. одиниць державного транспорту, та понад 150 тис. автомобілів у приватному користуванні мешканців міста. Отже вагомий внесок у забруднення повітряного басейну міста вносить також автотранспорт, на долю якого припадає біля 40% від сумарного обсягу викидів токсичних речовин [1, 2].

Систематичний нагляд за рівнем забруднення атмосферного повітря у місті Дніпро наразі здійснюється на 6 стаціонарних постах спостереження Дніпропетровським обласним центром з гідрометеорології за допомогою проведення вибіркового періодичного вимірювання забруднення повітря. Згідно порядку організації та проведення моніторингу на цих постах вимірюється концентрація в атмосферному повітрі 9 пріоритетних забруднюючих речовин: пил, двоокис сірки, окис вуглецю, двоокис азоту, окис азоту, сірководень, фенол, аміак та формальдегід. Забруднення атмосферного повітря м. Дніпро за 2015 р. за середньорічним вмістом показав перевищення вмісту пилу та діоксиду азоту в 2,3 рази, а за максимально-разовим вмістом – перевищення пилу у 3 рази, оксиду вуглецю у 1,6 рази, сірководню у 4,5 разів і формальдегіду в 2,3 рази [3, 4].

Головною метою моніторингу за станом атмосферного повітря є забезпечення державних органів, підприємств, громадськості, установ та інших зацікавлених організацій об'єктивною систематичною інформацією про рівень забруднення атмосфери, а також про прогнози його змін під впливом господарської діяльності та метеорологічних умов. Важливим аспектом ефективного функціонування на державному рівні системи моніторингу є наявність уніфікованого моніторингового устаткування, обов'язкових моніторингових показників, єдиних програм та методик збору і обробки отриманої інформації, моделювання та прогнозування екологічних процесів.

На даний момент в Україні у рамках угоди про асоціацію з ЄС зараз впроваджується Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 21.05.2008 р. про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи, яка визначає рамкові вимоги щодо контролю та оцінки якості атмосферного повітря за декількома типами стандартів. Проте імплементація зазначеної директиви потребує як впровадження сумісного технічного устаткування для оцінки концентрацій забруднюючих речовин так і відповідної системи інформування населення про якість атмосферного повітря.

На жаль, в існуючих системах спостережень за станом атмосферного повітря в Україні збір і обробка інформації здебільшого не автоматизовані, засновані

на лабораторно-хімічних методах аналізу проб і використовуються не стільки для прийняття оперативних управлінських рішень, скільки для статистичного аналізу. Так, аналіз атмосферного повітря здійснюється в робочі дні чотири рази на добу: о 1, 7, 13 і 19 годинах.

Саме тому в Дніпропетровській області була ініційована розбудова системи автоматизованого моніторингу за станом атмосферного повітря. Система створюється на базі комунального підприємства «Центр екологічного моніторингу» Дніпропетровської обласної ради відповідно до «Дніпропетровської обласної комплексної програми (стратегії) екологічної безпеки та запобігання змінам клімату на 2016–2025 роки» [5, 8, 9]. Вона почала працювати в грудні 2017 року та складається із 12 стаціонарних (міста Дніпро, Нікополь та Павлоград), а також 2 мобільні станції. Система включає в себе такі основні компоненти: оперативне збирання, обробка, збереження, обмін, аналіз та оцінка інформації за певними фізико-хімічними показниками, що описують стан навколишнього природного середовища [10]. У зв'язку з цим особливої уваги також заслуговує адаптація системи інформування населення про якість атмосферного повітря відповідно до міжнародних стандартів, зокрема Директиви 2008/50/ЕС.

Метою роботи було провести критичний аналіз існуючих підходів до оцінки забруднення атмосфери та обґрунтувати для м. Дніпро доцільність впровадження системи інформування населення про якість атмосферного повітря за міжнародними стандартами.

Основна частина. Сьогодні в Україні для оцінки ступеня забруднення атмосфери використовуються середні та максимальні концентрації забруднюючих речовин, що нормуються за відповідними величинами гранично допустимих концентрацій (ГДК) [10]. Окрім того, за кожною речовиною доцільно додатково розраховувати наступні статистичні величини:

Середнє арифметичне значення концентрації речовини визначають за формулою (1):

$$q_c = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}, \text{ мг/м}^3 \quad (1)$$

де q_c – середньодобові, середньомісячні або середньорічні концентрації речовини q_i , які обчислюються за даними постів спостереження; n – кількість разових концентрацій (зазвичай максимально разових за 20 хвилинний період осереднення), за відповідний період.

Середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань від середнього арифметичного, за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_c)^2}{(n-1)}}, \text{ мг/м}^3 \quad (2)$$

Зазвичай високі значення цього показника вказують на наявність суттєвого джерела забруднення атмосфери, вклад якого змінюється залежно до умов навколишнього середовища, наприклад зміною напрямку або швидкості вітру, інтенсивності викидів тощо.

Коефіцієнт варіації, що вказує на ступінь зміни концентрації шкідливої речовини (3):

$$V = \frac{\sigma}{q_c} \cdot 100, \% \quad (3)$$

де q_c – середня концентрація. Варіювання вважається слабким для значень цього показника менше 10%, середнім від 10% до 25%, значним – при значеннях більше 25%.

Максимальне значення концентрації речовини обчислюють при виборі максимальної з разових, добових, місячних, річних або багаторічних концентрацій і визначають за формулою:

$$q_M = \frac{1}{L} \sum_1^L q_M \quad (4)$$

де L – кількість досліджуваних населених пунктів.

Максимальну концентрацію речовини із заданої вірогідності її перевищення (P , %) визначають на основі логарифмічно нормального розподілу за формулою:

$$q_M^P = q_c \cdot e^{\frac{z\sqrt{\ln(1+V^2)}}{\sqrt{1+V^2}}} \quad (5)$$

де q_c – середня концентрація; при $P=0,1\%$, $z=3,08$; $P=1\%$, $z=2,33$; $P=5\%$, $z=1,65$.

Індекс забруднення атмосфери (ІЗА) це безрозмірний показник, що дозволяє порівнювати між собою рівні забруднення атмосфери різними забруднюючими речовинами з урахуванням класу їх небезпеки. Індекс забруднення атмосфери (ІЗА) кількісно характеризує рівень забруднення атмосфери окремою добавкою, що враховує різницю в швидкості збільшення рівня небезпеки речовини, наведеного до рівня небезпеки діоксиду сірки, з ростом перевищення ГДК, формула (5):

$$ІЗА = \left(\frac{q_i}{ГДК_i} \right)^{C_i} \quad (6)$$

де C_i – константа, зі значеннями: 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 відповідно, для 1, 2, 3, і 4-го класів небезпеки речовини і дозволяє перевести ступінь небезпеки i -ої речовини до ступеня небезпеки діоксиду сірки. При нормуванні якості атмосферного повітря, безпечними вважається ІЗА, що мають значення менші або рівні одиниці.

Комплексний індекс забруднення атмосфери міста (КІЗА) – кількісна характеристика рівня забруднення атмосфери, що утворюється безліччю речовин, формула:

$$КІЗА = \sum_{i=1}^n ІЗА_i \quad (7)$$

де n – кількість шкідливих речовин в атмосфері.

Не існує єдиної стандартизованої шкали за якою нормуються рівні забрудненості атмосфери за показником КІЗА. За однією з цих шкал визначено чотири категорії якості повітря в залежно від рівня забруднення. Рівень забруднення вважається низьким при значеннях ІЗА менше 5, підвищеним при ІЗА від 5 до 8,

високим при ІЗА від 8 до 13, і дуже високим при ІЗА>13. У випадку коли кількість забруднюючих речовин, що контролюються на постах спостереження є різною, доцільно застосовувати наступну шкалу, табл. 1.

Таблиця 1
Гігієнічна оцінка рівня атмосферного повітря за показником КІЗА

| Рівень забруднення атмосферного повітря | Кількість забруднюючих речовин | | | |
|---|--------------------------------|---------|---------|----------|
| | 2–3 | 4–9 | 10–20 | більш 20 |
| I – допустимий | 2 | 3 | 4 | 5 |
| II – слабо забруднений | 2,14 | 3,1–6 | 4,1–8 | 5,1–10 |
| III – помірно забруднений | 4,1–8 | 6,1–12 | 8,1–16 | 10,1–20 |
| IV – сильно забруднений | 8,1–16 | 12,1–24 | 16,1–32 | 20,1–40 |
| V – дуже сильно забруднений | >16 | >24 | >32 | >40 |

Слід зауважити, що оцінка якості повітря за показниками ГДК або розрахованими ІЗА є зручною для нормування забруднюючих речовин на певній території відповідно до діючих стандартів України. Проте такий підхід не дозволяє прогнозувати наслідки для здоров'я населення у разі перевищення значень ГДК, оскільки вона характеризується як максимальна безпечна концентрація певної забруднюючої речовини що при разовій (або тривалій) експозиції не призводить до негативних наслідків для здоров'я людини.

Сьогодні в багатьох країнах ЄС для інформування населення про стан атмосфери використовуються дещо інший підхід щодо визначення індексів забруднення повітря API (від англ. Air Pollution Index) та індекс якості повітря AQI (від англ. Air Quality Index) відповідно з нормованими за стандартами ЄС показниками.

Розрахунок показника API проводиться на основі наступної формули [8]:

$$API = (BPhi - BPlow) * (Cp - IClow) / (IChi - IClow) + BPlow$$

де API – індекс забруднення повітря; BPhi – високий показник AQI, відповідний концентрації забруднюючої речовини. BPlow – низький показник AQI, відповідний концентрації забруднюючої речовини; IChi – високий показник значення концентрації вмісту забруднюючих речовин; IClow – низький показник значення концентрації вмісту забруднюючих речовин; Cp – концентрація вмісту забруднюючої речовини.

Розрахунок значення API проводиться на основі показників концентрації кожної окремо взятої забруднюючої речовини. Розрахунок значення API концентрації забруднюючих речовин проводиться за шкалою від 0 до 500. Визначення діапазону значень API виконується на підставі табл. 2, відображає ступінь концентрації забруднюючої речовини. Граничні значення цієї області є контрольними точками «КТ» (контрольні точки). Залежно від визначення концентрацій речовин визначається значення показника API.

Дана таблиця складена у відповідності з європейськими рекомендаціями.

Скориговані показники відповідають *API* і виглядають наступним чином:

- значення до 50, тобто до половини від безпечного значення, відповідають сприятливій екологічній ситуації для навколишнього середовища й ідеальним умовам для здоров'я населення;

- значення 51 – 100 – безпечні значення навколишнього середовища та здоров'я населення;

- значення 101 – 200 виникає небезпека для чутливої групи населення;

- 201 – 300 виникає небезпека для більшості людей;

- значення більше за 300 – виникає необхідність в організованому оповіщенні населення про загрозу від забруднення атмосфери та запровадження термінових заходів.

Проміжні значення визначаються з використанням лінійної апроксимації.

Таблиця 2

Контрольні точки обчислення індексу забруднення повітря

| Граничні концентрації для забруднюючих речовин, мкг/м ³ | | | | | | | Границі AQI |
|--|---|------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------|
| Зважені речовини PM _{2.5} , добовий | Зважені речовини PM ₁₀ , добовий | CO, 30-хв. | NO _x , 30-хв. | NO ₂ , годиний | SO ₂ , годиний | O ₃ , 8-годинний | |
| 0–18,5 | 0–65 | 0–26 | 0–250 | 0–53 | 0–67 | 0–35 | 0–50 |
| 18,6–37,5 | 66–130 | 27–52 | 251–500 | 54–106 | 68–134 | 36–71 | 51–100 |
| 38–84 | 131–215 | 53–78 | 501–750 | 107–160 | 135–163 | 72–97 | 101–200 |
| 84,5–130 | 216–300 | 79–104 | 751–1000 | 161–213 | 164–191 | 98–117 | 201–300 |
| 130,5–165 | 301–355 | 105–130 | 1001–1200 | 214–260 | 192–253 | 118–155 | 301–400 |
| 165,5–200 | 356–430 | 131–156 | 1201–1400 | 261–316 | 254–303 | 156–188 | 401–500 |

Для визначення небезпеки від забруднення атмосфери доцільно також використовувати індекс якості повітря *API* (від англ. Air Quality Index), який визначається за формулою:

$$AQI=100-API \quad (9)$$

Розрахунок індексу виконується для кожної забруднюючої речовини. Якщо індекс забруднення повітря отримує більш низьке значення, рівень ризику для стану здоров'я підвищується. Найнижчий індекс всіх п'яти забруднюючих речовин, рівень концентрації яких вимірюється на станції моніторингу, й визначає значення індексу, що публікується на карті показників якості повітря.

Згідно цій формулі, якщо за концентраціями забруднюючих речовин розраховано значення *API* вище 100, то показник якості повітря *AQI* матиме негативні

значення. Таким чином, негативний індекс якості повітря вказує на небезпеку для стану здоров'я.

Отже індекс якості повітря являє собою безрозмірне числове значення у діапазоні від -400 до $+100$ та визначає рівень забруднення, що класифікується якісно залежно від категорії: низький, помірний, високий і дуже високий рівень забруднення (табл. 3).

Показники, що знаходяться в діапазоні $100-0$, як правило, вважаються безпечними. Значення індексу забруднення повітря «0» відповідає межі показнику незабрудненого повітря. При негативних значеннях якість повітря вважається шкідливою для здоров'я, при цьому в першу чергу визначаються категорії населення, чутливі до зміни даного показника. Коли індекс опускається до позначки -200 , це починає загрожувати всьому населенню. Згідно вищенаведеного підходу для розрахунку індексу забруднення повітря міста Дніпро необхідні наступні показники (табл. 4).

Таблиця 3

Рівень забруднення повітря в залежності від індексу забруднення повітря

| Найменування рівня | Рівень забруднення повітря | Індекс забруднення повітря |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| Зелений | Низький | $100 \dots 0$ |
| Жовтий | Середній | $-1 \dots -100$ |
| Червоний | Високий | $-101 \dots -200$ |
| Коричневий | Дуже високий | $-201 \dots -400$ |

Таблиця 4

Забруднюючі речовини та періоди розрахунку індексу забруднення повітря

| № | Забруднююча речовина | Період часу |
|---|---------------------------------|--|
| | | Індекс |
| 1 | Озон (O_3) | 8-годинне значення(змінне) |
| 2 | Діоксид сірки (SO_2) | Останнє годинне значення |
| 3 | Діоксид азоту (NO_2) | Останнє годинне значення |
| 4 | Оксиди азоту (NO_x) | Останнє 30-хвилинне значення |
| 5 | Оксид вуглецю (CO) | 30-хвилинне значення |
| 6 | Зважені речовини ($PM_{2.5}$) | Добове змінне значення (за останню добу) |
| 7 | Зважені речовини (PM_{10}) | Добове змінне значення (за останню добу) |

Для країни ЄС дія стандартний перелік забруднюючих речовин, за якими визначається Індекс якості: озон (O_3), діоксид сірки (SO_2), діоксид азоту (NO_2), оксид азоту (NO_2), окис вуглецю (CO), зважені речовин PM_{10} та $PM_{2,5}$. Індекс розраховується для кожної станції моніторингу окремо та визначається залежно від концентрації шкідливих речовин в атмосфері. Перелік та обґрунтування негативного впливу головних забруднювачів атмосфери викладено у рекомендаціях ВООЗ [6].

Перевагою надання інформації про стан атмосферного повітря у вигляді *API* та *AQI* є сумісність зі стандартами країн ЄС, зокрема Директиви 2008/50/ЄС, що дозволяє проводити порівняльний аналіз стану атмосферного повітря міст України та країн ЄС. Іншою перевагою оцінки якості атмосфери за цими індексами є те, що за зазначеною методологією не обов'язково мати єдиний перелік забруднюючих речовин, що контролюються на постах спостереження, оскільки якість атмосфери визначається за єдиною забруднюючою речовиною що має найнижчі значення *AQI*. Окрім того, ці індекси у порівнянні з ГДК або ІЗА є більш інформативними щодо визначення небезпеки для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря.

Іншим підходом застосування даних моніторингу є оприлюднення інформації про ризики для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря, згідно відповідної методології ВООЗ [6]. Дану методологію затверджено за наказом МОЗ України від 13.04.2007 р. №184, проте досі відбувається її адаптація та імплементація в системі моніторингу атмосферного повітря [10, 11].

Згідно зазначеної методології для характеристики ризику розвитку неканцерогенних ефектів вважається, чим вища доза впливу і чим більше вона перевищує референтну (*RfD*), тим більша імовірність їх проявлення, однак оцінити цю імовірність при такому методичному підході неможливо. У зв'язку з цим, кінцевими характеристиками оцінки експозиції на основі референтних доз і концентрацій є коефіцієнти (*HQ*) та сумарні індекси (*HI*) небезпеки. Якщо референтна доза не перевищена, то ніяких регулюючих втручань не потрібно. У випадку, коли вплив речовини перевищує *RfD*, виникає небезпека, величину якої можна оцінити лише за допомогою аналізу залежності «доза-відповідь» та спектра шкідливих ефектів.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів здійснюють шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з безпечними (референтними) рівнями впливу та визначенням коефіцієнта небезпеки.

Для інгаляційного надходження, якщо цього не потребують спеціальні задачі дослідження, немає необхідності розраховувати дозу впливу, а розрахунок коефіцієнта небезпеки можна здійснювати за формулою:

$$HQ_i = C_i / RfC \quad (10)$$

де HQ_i – коефіцієнт небезпеки впливу i -тої речовини; C_i – рівень впливу i -тої речовини, мг/м³; RfC – безпечний рівень впливу, мг/м³.

Коефіцієнт небезпеки розраховують окремо за умов короткотривалого (гострого), і тривалого впливу хімічної речовини. При цьому період осереднення експозиції і відповідних безпечних рівнів впливу має бути аналогічним.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин проводять на основі розрахунку індексу небезпеки за формулою:

$$HI = \sum HQ_i \quad (11)$$

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

Труднощі застосування зазначеної методології для моніторингу атмосферного повітря полягають у тому, що для розрахунку HQ_i та HQ_i потрібні значення про осереднені за тривалий період концентрації забруднюючих речовин, які можуть бути отримані лише із використанням високоточних газоаналізаторів безперервної дії. За даною методологією значення референтних концентрацій для деяких речовин співпадають зі значеннями ГДК_{сд} та ОБРВ (орієнтовно безпечний рівень впливу) що визначаються за діючими в Україні стандартами.

Для перерахунку коефіцієнтів та індексів небезпеки у показники ризику прояву гострих рефлекторних ефектів у населення можна скористатись наступними рівняннями (12–15), що враховують клас небезпеки забруднюючої речовини:

$$1 \text{ клас } Prob = -9,15 + 11,66 * \log(Ci / ГДК_{м.р}) \quad (12)$$

$$2 \text{ клас } Prob = -5,51 + 7,49 * \log(Ci / ГДК_{м.р}) \quad (13)$$

$$3 \text{ клас } Prob = -2,35 + 3,73 * \log(Ci / ГДК_{м.р}) \quad (14)$$

$$4 \text{ клас } Prob = -1,41 + 2,33 * \log(Ci / ГДК_{м.р}) \quad (15)$$

де Ci – концентрація речовини, яку зазнає населення; $ГДК_{м.р}$ – максимально-разова гранично допустима концентрація; $Prob$ – величина, пов'язана з ризиком за законом нормального розподілу. При цьому пробиті ($Prob$) і ймовірність ($Risk$) пов'язані табличним інтегралом:

$$Risk = (1/V(2\pi)) \cdot \int_{-\infty}^{Prob} e^{-t^2/2} dt \quad (16)$$

Ризик неспецифічних хронічних ефектів при забрудненні атмосферного повітря визначається формулою:

$$Risk = 1 - \exp(\log(0,84) * (C / ГДК_{с.д.})^b / k_3) \quad (17)$$

де $Risk$ – ймовірність розвитку токсичних ефектів при хронічній інтоксикації; C – осереднена концентрація речовини, яку зазнає населення; $ГДК_{с.д.}$ – середньодобова гранично допустима концентрація; k_3 – коефіцієнт запасу (змінюється відповідно до класу небезпеки речовини: 1-й клас 7,5; 2-й клас 6,0; 3-й клас 4,5; 4-й клас 3); b – коефіцієнт впливу класу небезпеки речовини: 1-й клас 2,35; 2-й клас 1,28; 3-й клас 1,0 и 4-й клас 0,87.

Прогнозування наслідків для здоров'я населення за значеннями ризику прояву хронічних ефектів може бути оцінено за допомогою шкали (табл. 5).

Перевагою застосування даної методології є можливість визначати критичні органи та системи організму людини які зазнають негативного впливу від дії концентрації певної речовини із урахуванням поєднаної дії декількох забруднюючих речовин, а також прогнозування наслідків для здоров'я населення при тривалій експозиції й ризику прояву хронічних ефектів.

Таблиця 5

Прогнозування наслідків для здоров'я населення за значеннями ризику прояву хронічних ефектів

| Значення <i>Risk (R)</i> | Критерій ризику | Прогноз наслідків для здоров'я населення |
|--------------------------|-----------------|---|
| $R < 0,05$ | Прийнятний | Відсутні несприятливі медико-екологічні тенденції |
| $0,05 < R < 0,16$ | Задовільний | Виникає тенденція до зростання неспецифічної патології |
| $0,16 < R < 0,5$ | Незадовільний | Виникає достовірною тенденція до зростання неспецифічної патології при появі одиничних випадків специфічної патології |
| $R > 0,5$ | Небезпечний | Виникає достовірною тенденція до зростання неспецифічної патології при появі одиничних випадків специфічної патології, а також тенденція до збільшення смертності населення |

Результати дослідження. Для прикладу застосування наведених показників оберемо результати спостережень за приземними концентраціями забруднюючих речовин м. Дніпро, отриманих з посту моніторингу №1 за червень 2018 р. (рис. 1). Результати розрахунків приведені в табл. 6 та 7.

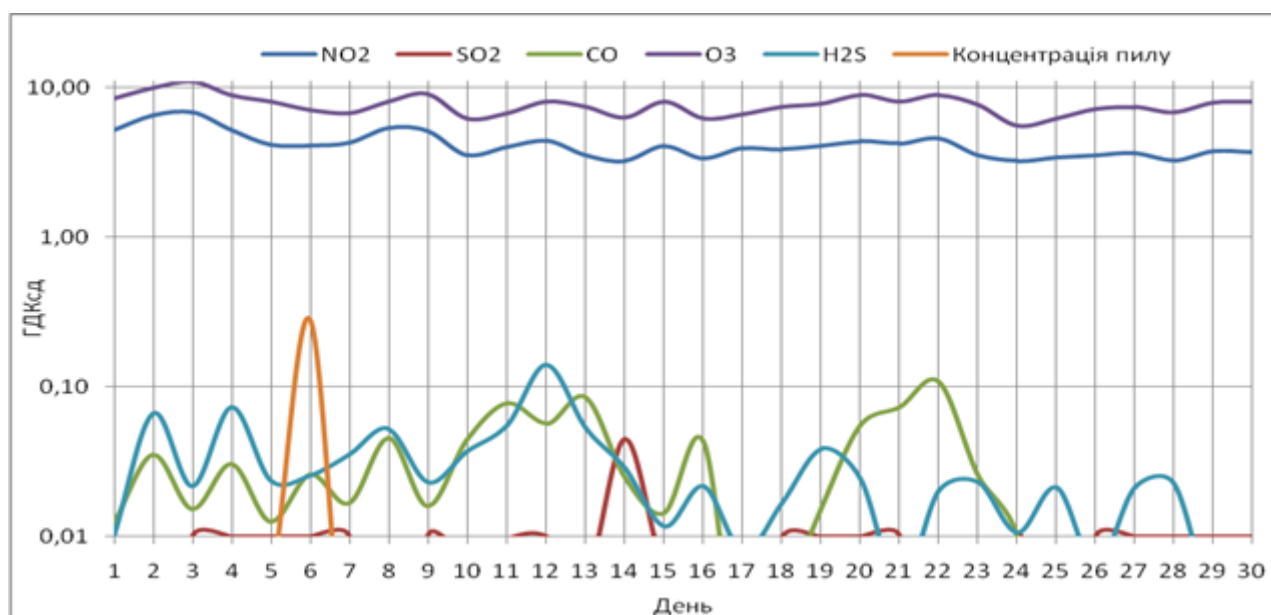


Рис. 1. Динаміка приземних концентрацій забруднюючих речовин (червень 2018 р.)

Таблиця 6

Розрахунок середньомісячних показників якості атмосферного повітря за результатами спостережень

| Показники | Забруднюючі речовини | | | | | |
|--|---------------------------|-----------------|-------|----------------|------------------|-------|
| | NO ₂ | SO ₂ | CO | O ₃ | H ₂ S | Пил |
| Середнє арифметичне, долі ГДК або НQ | 4,208 | 0,003 | 0,028 | 7,703 | 0,030 | 0,010 |
| Середнє квадратичне відхилення, долі ГДК | 1,35 | 0,05 | 0,08 | 2,27 | 0,12 | 0,49 |
| Коефіцієнт варіації | 0,32 | 16,75 | 2,96 | 0,30 | 4,13 | 46,43 |
| Максимальне значення | 9,10 | 4,30 | 0,92 | 23,59 | 4,24 | 34,22 |
| ІЗА | 6,477 | 0,003 | 0,028 | 6,280 | 0,003 | 0,010 |
| Кількість значень | 21492 | 21492 | 21492 | 21492 | 21492 | 21492 |
| Кількість значень вище за ГДК | 21491 | 6 | 0 | 21488 | 57 | 14 |
| Відсоток перевищень ГДК | 99,995 | 0,028 | 0,000 | 99,981 | 0,265 | 0,065 |
| Максимальна доля ГДК з вірогідністю 0,1% | 7,706 | 0,010 | 0,160 | 13,684 | 0,160 | 0,024 |
| Максимальна доля ГДК з вірогідністю 1% | 6,651 | 0,007 | 0,105 | 11,897 | 0,106 | 0,020 |
| Максимальна доля ГДК з вірогідністю 5% | 5,819 | 0,006 | 0,072 | 10,479 | 0,074 | 0,016 |
| КІЗА (рівень забруднення) | 12,8 (сильно забруднений) | | | | | |
| Індекс небезпеки (НІ) | 11,08 (не задовільний) | | | | | |

Таблиця 7

Приклад визначення поточних індексів якості повітря та ризиків прояву гострих ефектів для здоров'я населення станом на 8 годину 6-го червня 2018 р.

| № | Забруднюючі речовини | Показники | | | | | | | |
|--|--|--|------|-------|------|-------|------------|-------------|-------------|
| | | Ср | BPhi | BPlow | IChi | IClow | AQI | API | Risk |
| 1 | NO ₂ (30-хвилинне значення) | 140 | 200 | 101 | 160 | 107 | 163 | -63 | 0,1 |
| 2 | SO ₂ (годинне значення) | 0 | 50 | 0 | 67 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| 3 | CO (30-хвилинне значення) | 4,3 | 50 | 0 | 26 | 0 | 8,3 | 91,7 | 0 |
| 4 | O ₃ (8-годинне значення) | 186 | 500 | 401 | 188 | 156 | 493 | -393 | 0,38 |
| 5 | Пил (24-годинне значення) | 2 | 50 | 0 | 65 | 0 | 1,6 | 98,4 | 0 |
| Індекс якості (за максим. AQI) | | 493 | | | | | | | |
| Індекс забруднення (за мін. API) | | -393 | | | | | | | |
| Прогноз наслідків для здоров'я населення | | Виникає достовірною тенденцією до зростання неспецифічної патології при появі одиничних випадків | | | | | | | |
| Заходи щодо поліпшення ситуації | | Виникає необхідність в організованому оповіщенні населення про загрозу від забруднення атмосфери | | | | | | | |

Висновки та рекомендації щодо застосування запропонованого підходу до інформування населення про якість атмосферного повітря:

- кожен із розглянутих підходів до інтерпретації даних моніторингу атмосфери має свої особливості, переваги та обмеження до застосування і таким чином виникає необхідність у використанні усіх зазначених показників при впровадженні системи інформування населення про якість атмосферного повітря;

- усі наведені у роботі статистичні показники, що розраховуються за формулами (1–17) можуть бути визначені на основі даних про концентрації забруднюючих речовин які реєструються за допомогою високоточних газоаналізаторів безперервної дії;

- урахування запропонованих у роботі показників дозволить надавати інформацію про якість атмосферного повітря як за діючими вітчизняними стандартами й нормативами так і міжнародними, що сприятиме розширенню панєвропейської мережі моніторингу атмосферного повітря на терени України.

Перелік посилань

1. Хазан, П.В., & Ангурець, О.В. (2017). Впровадження принципів «зеленої економіки» в Дніпропетровській області. *Сучасний стан та проблеми розвитку статистики, обліку та аудиту в умовах глобалізації та енергозбереження*: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпро, ПП «Акцент», 2, 203–205.
2. *Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2017 рік* (2018). Департ. екології та природних ресурсів Дніпропетровської облдержадміністрації.
3. *Екологічний паспорт м. Дніпро за 2016 рік*. (2017). Департ. транспорту та охорони навколишнього середовища Дніпропетровської міської ради.
4. Колесник, В.Е., Бучавый, Ю.В., & Михайлов, А.Ю. (2015). Моніторинг пріоритетних загрязнителів атмосфери Днепропетровска. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 47, 58–67.
5. Рішення Дніпропетровської обласної ради № 680-34/VI від 21.10.2015 р. «Про Дніпропетровську обласну комплексну програму (стратегію) екологічної безпеки та запобігання змінам клімату на 2016-2025 роки». (2015) Retrieved from <http://www.oblrada.dp.ua/official-records/decisions/50/1316>
6. World Health Organization. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. (2006) Retrieved from http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf
7. *Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: методичні рекомендації*. (2007). Затв. наказом МОЗ України від 13.04.2007 р. №184. 28.
8. Хазан, П.В., & Ангурець, О.В. (2018). Побудова автоматизованої системи екологічного моніторингу в контексті сталого розвитку. *Проблеми впровадження інформаційних технологій в економіці*: матеріали IX Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Ірпінь: Університет державної фіскальної служби України, 289–291.
9. Хазан, П.В., & Ангурець, О.В. (2018). Запровадження інноваційних технологій Дніпропетровської області на прикладі автоматизованої системи екологічного моніторингу. *STABICON systems – 2018*: матеріали Міжнародного наукового форуму. Суми : Сумський державний університет, 112–114.
10. Ногова, А.І., Вучавуу, Y.V., & Kolesnyk, V.Y. (2016). Удосконалення системи інформування про ризику для здоров'я населення через забруднення атмосферного повітря. *Medical Informatics and Engineering*, (2).

doi:10.11603/mie.1996-1960.2016.2.6478

11.Горова, А.І., Бучавий, Ю.В., Павличенко, А.В., & Миронова, І.Г. (2014). Удосконалення методів оцінки якості атмосферного повітря із використанням рослин-індикаторів та геоінформаційних технологій. *Екологічна безпека та природокористування*, 14, 53-58. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebpk_2014_14_7

АНОТАЦІЯ

Цель. Провести критический анализ существующих подходов к оценке загрязнения атмосферы и обосновать для г. Днепр целесообразность внедрения системы информирования населения о качестве атмосферного воздуха по международным стандартам.

Методика исследований. Для решения задач в работе применялись: научный поиск и обобщение данных литературных источников – для SWOT анализа различных подходов к оценке загрязнения атмосферы населенных городов; статистический анализ – для расчета текущих индексов качества воздуха, рисков проявления острых эффектов для здоровья населения, а также среднемесячных показателей качества атмосферного воздуха по результатам наблюдений.

Результаты исследований. Предложен алгоритм определения текущих индексов качества воздуха и рисков проявления острых эффектов для здоровья населения. Проведен расчет среднемесячных показателей качества атмосферного воздуха по результатам наблюдений за приземными концентрациями загрязняющих веществ. Приведен пример расчета текущих индексов качества воздуха и рисков проявления острых эффектов для здоровья населения по фактическим приземным концентрациям загрязняющих веществ на территории г. Днепр. Усовершенствованная методика позволяет определять критические органы и системы организма человека, которые испытывают негативного влияния от действия концентрации определенного вещества с учетом сочетанного действия нескольких загрязняющих веществ.

Научная новизна. Обоснован перечень показателей, необходимых для внедрения системы информирования населения о качестве атмосферного воздуха городов Украины по международным стандартам. Предложенные показатели могут быть определены на основе данных о концентрации загрязняющих веществ, которые регистрируются с помощью высокоточных газоанализаторов непрерывного действия.

Практическое значение. Предложенный в работе подход позволит предоставлять информацию о качестве атмосферного воздуха как с действующими отечественными стандартами и нормативами, так и международным, что будет способствовать расширению паневропейской сети мониторинга атмосферного воздуха на территории Украины.

Ключевые слова: мониторинг атмосферного воздуха, индекс качества воздуха, индекс загрязнения атмосферы, индекс опасности, здоровье населения.

ABSTRACT

The purpose of the work. To conduct a critical analysis of existing approaches to the assessment of atmospheric pollution and to substantiate the feasibility of introducing a system of informing the population about the quality of atmospheric air according to international standards for the city of Dnipro.

Research Methods. To solve problems in the work were used: scientific search and generalization of the data of literary sources – for SWOT analysis of different approaches to the assessment of the pollution of the atmosphere of inhabited cities; statistical analysis – to calculate the current air quality

indices, the risks of manifestation of acute effects on the health of the population, as well as the average monthly atmospheric air quality as a result of observations.

The results. The algorithm for estimation the current air quality indices and risk acute effects on health are given. The air quality average indicators estimation based on ground-level pollutant concentrations observing. An example of estimation the current air quality indices and appropriate risk acute health effects based on ground-level pollutants concentrations in Dnipro city are illustrated. Such approach allows find out the critical organs and systems of the human body that are affected by the actions of concentration of a substance in the light combined effects of complex pollutants.

Scientific novelty. The list of indicators necessary for implementation of the system of informing the population about the quality of atmospheric air of Ukrainian cities according to international standards is substantiated. The proposed indicators can be determined on the basis of the concentration data of pollutants recorded using high-precision gas analyzers of continuous action.

The practical significance. The proposed approach will allow the provision of information on the quality of atmospheric air, in accordance with current domestic standards and regulations, as well as international ones, which will contribute to the expansion of the pan-European monitoring network for atmospheric air in Ukraine.

Keywords: *atmospheric air monitoring, air quality index, index of atmospheric pollution, index of danger, population health.*