

О.О. Попов, Київ  
Є.Б. Краснов, Київ  
В.О. Куценко, Київ

## МАТЕМАТИЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НЕРАДІАЦІЙНИХ ВИКИДІВ АЕС НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

**Abstract.** Stochastic approach is proposed for modeling of NPP emissions in the atmosphere. This approach considers probability distribution of meteorological factors. Such factors as probability distribution of atmospheric stratification, effect of precipitation, chemical transformation of impurities and absorption by underlying surface were taken into account to increase accuracy of the stochastic model for intermediate wind direction. The stochastic mathematical and cartographical model of surface air pollution by sulfur dioxide emissions from Khmelnytsky NPP was drawn as example. Developed model adequacy was confirmed by mathematical calculations to compare the data with appropriate positions for pollution observation.

### Вступ

Сьогодні розвиток інформаційного суспільства розглядається як єдиний, безальтернативний шлях входження України до складу розвинених країн світу. Саме цей шлях сприятиме побудові високотехнологічної економіки та стабільно працюючої енергетичної галузі, що ґрунтується на знаннях та оперативному накопиченню необхідної інформації, що необхідна для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

У червні 1994 р. була підписана Угода про партнерство і співпрацю між Євросоюзом, державами-членами і Україною. В ст. 63 даної угоди зазначається, що в Україні на всіх рівнях має здійснюватись ефективний моніторинг рівнів забруднення та оцінка стану навколишнього середовища, а також має бути створена ефективна система інформації про стан довкілля. До теперішнього часу в силу різних обставин в Україні ці задачі не вирішені і залишаються досить актуальними.

Актуальність даної проблеми та необхідність її вирішення на об'єктовому рівні знайшло своє відображення у звіті Державного підприємства «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» по оцінці впливу нерадіаційних факторів на навколишнє середовище. Одним із завдань, які ставить перед собою Компанія в області екології на найближче майбутнє це вдосконалення систем моніторингу навколишнього природного середовища у бік підвищення їх рівня інформатизації з врахуванням сучасних європейських вимог та стандартів.

За результатами проведених досліджень встановлено, що рівень інформаційного забезпечення моніторингу нерадіаційних параметрів на всіх АЕС України є дуже низьким. Це викликано наступними особливостями даного контролю:

- здійснюється практично на всіх АЕС у ручному режимі;
- відсутні єдині вимоги до уніфікації спостережень і ведення баз даних;
- відсутня єдина геоінформаційна платформа для обробки моніторингової інформації і ведення баз моніторингових даних.

Нажаль, такий рівень інформаційного забезпечення для оцінки впливу нерадіаційних факторів на навколишнє природне середовище від функціонування АЕС абсолютно не відповідає європейським вимогам, щодо інформатизації систем моніторингу довкілля.

В зв'язку з чим, виникає необхідність створення сучасного інформаційно-аналітичного забезпечення, що призначено для накопичення, збереження, систематизації, обробки, аналізу, обміну та візуалізації інформації, що застосовується для комплексної екологічної оцінки нерадіаційного впливу АЕС України на навколишнє природне середовище і техногенного навантаження на населення в зонах спостереження станцій.

Вирішення даної задачі почнемо з розробки математичних засобів, що дозволять визначати розподіл забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери від викидів АЕС.

### **Постановка задачі**

В [8, 9, 13, 14, 18] розглянуто фактори, які впливають на концентрацію та процес розповсюдження домішок в атмосфері міста, викинутих одинарним джерелом забруднення (ДЗ) – трубою. В програмному математичному середовищі Matlab 7 реалізовано різні математичні моделі забруднення атмосфери, за якими можна розраховувати концентрації небезпечних речовин для прилеглих територій. Розглянуто основні напрямки моделювання поширення забруднюючих речовин (ЗР) в атмосфері міста. Виконані розрахунки концентрації забруднення за найбільш поширеними математичними моделями. В [8, 9, 13, 14, 18] застосовувались детерміновані моделі розсіювання домішок в атмосфері. Тобто не враховувався випадковий характер напрямку та швидкості вітру, а також стратифікації атмосфери, що досить важливо при обчисленні середнього рівня концентрації за певний період часу.

Математичні розрахунки без врахування особливостей прилеглих територій не забезпечують потрібного рівня екологічних оцінок для визначення навантажень від конкретного джерела викидів. Для більш глибокого дослідження впливу джерела забруднення на прилеглих територіях та населення необхідно наносити математичні розрахунки на карту.

В даній статті розглядається задача побудови стохастичної математичної моделі розсіювання забруднення від нерадіаційних викидів АЕС.

### **Вирішення задачі**

Як показано в статті [13], досліджені математичні моделі для визначення розподілу забруднення вздовж вісі факела викидів за найбільш

несприятливих метеорологічних умов та небезпечній швидкості вітру дають майже однакові результати. Тому, за основу побудови стохастичної математико-картографічної моделі вибирається офіційна модель МАГАТЕ, яка базується на гаусовому розподілі концентрації, оскільки вона досить просто реалізується на ЕОМ і в той же час однозначно враховує основні фактори впливу на процес розсіювання. Нагадаємо, що модель МАГАТЕ має вигляд:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z - H_{ef})^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + H_{ef})^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} f_o f_{xim}, \quad (1)$$

де  $Q$  – потужність неперервного джерела, [г/с];  $u$  – швидкість вітру на висоті  $H_{ef}$ , [м/с];  $\sigma_y(x)$  – горизонтальна дисперсія, [м];  $\sigma_z(x)$  – вертикальна дисперсія, [м];  $H_{ef}$  – кінцевий підйом шлейфу над землею (ефективна висота підйому шлейфу), [м];  $f_o$  та  $f_{xim}$  – коефіцієнти, які враховують вплив опадів та хімічної трансформації на рівень концентрації забруднення.

За допомогою об'єднання таких програмних продуктів, як Matlab 7, в середовищі якого були отримані значення концентрацій забруднення, та геоінформаційного пакета ArcGis, стала можливим побудова екологічних карт техногенних навантажень на приземний шар атмосфери від досліджуваних джерел. Для побудови неперервної поверхні забруднення по опорним точкам використовується інтерполяція методом локальних поліномів, оскільки дана поверхня є згладженою, тобто поверхня повільно змінюється від точки до точки на досліджуваній території [6].

Так, за даними [13] в [7] побудовано екологічну карту забруднення приземного шару атмосфери м. Києва діоксидом азоту від дії ТЕЦ-5 за найбільш несприятливих нормальних метеорологічних умов, якими є поєднання нестійкого стану атмосфери та небезпечної швидкості вітру. Концентрація обчислювалась за допомогою моделі МАГАТЕ.

Екологічні карти дозволяють визначити частину території міста, кількість споруд і населення, яке підпадає під вплив досліджуваного техногенного об'єкту за тих чи інших метеорологічних умов, що є важливою інформацією для прийняття управлінських рішень щодо регулювання викидів в атмосферу.

Зрозуміло, що протягом певного періоду часу  $T$  метеорологічні умови змінюються, тобто вітер змінює свій напрямок та швидкість і також змінюється стан атмосфери. Тому, для того, щоб визначити середній рівень забруднення за певний період часу, необхідно враховувати випадковий характер зазначених факторів. Отже, необхідно перейти до стохастичної моделі розсіювання забруднення.

Розглянемо задачу розповсюдження забруднення від джерела викидів за визначений часовий період  $T$  (як правило, місяць, сезон або рік) в залежності від метеорологічних умов. Нехай для регіону, де розташоване дане джерело

викидів (наприклад, промислове підприємство), протягом досліджуваного періоду часу  $T$  має місце  $n$  типових метеорологічних ситуацій, тривалість кожної складає  $t_i$ . Тоді, нехтуючи перехідними процесами [10], можна вважати, що загальний процес розповсюдження забруднення за період  $T$  неперервний в часі та складається з чергування метеорологічних ситуацій різного типу. Час перебудови структури розподілу забруднення в регіоні через зміну напрямку вітру значно менше часу руху вітру в одному напрямку, тому, очевидно, можна розраховувати розповсюдження забруднення, яке відповідає одному напрямку руху повітряних мас, а потім проводити осереднення значень забруднення, що відповідає певному сезону.

Після виконання розрахунків для кожної метеорологічної ситуації осереднення концентрації забруднення за період  $T = \sum_{i=1}^n t_i$  здійснюється за формулою:

$$C_{cep} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = C_1 \frac{t_1}{T} + \dots + C_n \frac{t_n}{T} = C_1 p_1 + \dots + C_n p_n = \sum_{i=1}^n C_i p_i, \quad (2)$$

де  $C_i$  – значення концентрацій забруднюючої речовини, які характерні для певної метеорологічної ситуації тривалістю  $t_i$ ;  $p_i$  – повторюваність або ймовірність  $i$  – ї метрологічної ситуації.

Для вирішення задачі знаходження середньої концентрації забруднення на певній території за визначений період часу необхідно оперувати характеристиками метеорологічних режимів, які спостерігались протягом досліджуваного періоду часу. Метеорологічний режим визначається наступними основними характеристиками: напрямком вітру, швидкістю повітряних мас, станом атмосфери та кількістю опадів. Метрологічні служби щоденно визначають середньодобовий напрямок та швидкість вітру. Середньодобовий напрямок вітру відповідає одному з 8 основних напрямків сторін світу: західний, південно-західний, південний, південно-східний, східний, північно-східний, північний, північно-західний.

Як правило, проміжком часу, протягом якого визначається усереднена концентрація забруднення, є місяць чи рік. Інформація про метрологічний режим, який спостерігався протягом певного місяцю чи року, метрологічними службами надається в наступному вигляді:

1. Повторюваність напрямків вітру та штилів для даного регіону у відсотках у вигляді таблиці чи рози вітрів. Приклад рози вітрів наведено в [7].

Має місце рівність:  $P_{cx} + P_{пн-сх} + P_{пн} + P_{пн-зх} + P_{зх} + P_{пд-зх} + P_{пд} + P_{пд-сх} = 100\%$ , де  $P_{cx}$ ,  $P_{пн-сх}$ , ...,  $P_{пд-сх}$  – відсоток повторюваності східного, північно-східного та інших напрямків відповідно.

Як правило, в задачах, де застосовується ймовірність, оперують відносною величиною ймовірності, а не відсотками. Тобто ймовірність задану у відсотках, ділять на 100%. Надалі всі обчислення будемо виконувати у відносних ймовірностях.

2. Швидкість вітру та повторюваність по градаціям швидкостей вітру, які представлені в табл.1.

Таблиця 1

Ймовірнісний розподіл швидкості вітру

Швидкість вітру, м/с	Штиль, 0-1	1-2	2-3	3-4	...	$(k-1)-k$
Ймовірність	$p_1 = P_{шт}$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	...	$p_k$

Має місце рівність  $\sum_{i=1}^k p_i = 1$ .

Також надається інформація про середню  $u_{сер}$  та максимальну  $u_{max}$  швидкість вітру за досліджуваний період часу.

3. Кількість опадів, [мм].

З урахуванням рози вітрів формула осереднення концентрації (2) буде мати вигляд:

$$C_{сер} = C_{сх} P_{сх} + C_{пн-сх} P_{пн-сх} + C_{пн} P_{пн} + C_{пн-зх} P_{пн-зх} + C_{зх} P_{зх} + C_{пд-зх} P_{пд-зх} + C_{пд} P_{пд} + C_{пд-сх} P_{пд-сх} + C_{шт} P_{шт} \quad (3)$$

де  $C_{сх}$ ,  $C_{пн-сх}$ , ...,  $C_{пд-сх}$ ,  $C_{шт}$  – стаціонарні розподіли забруднення, які відповідають східному, північно-східному, ..., південно-східному напрямкам вітру та штилю при певній середній швидкості руху повітряних мас даного напрямку.

В [7] зображено екологічну карту середнього забруднення приземного шару атмосфери за 2007 р. Карта побудована за відповідною розою вітрів та при середній швидкості вітру за рік  $u_{сер} = 2,4$  м/с.

Отриманий розподіл концентрації діоксиду азоту не відповідає реальним умовам, оскільки не враховуються проміжні напрямки вітру між основними вісьма. А також значну похибку вносить використання лише середньої швидкості вітру, оскільки, як показано в [18], рівень концентрації значно залежить від швидкості вітру. Тому, для збільшення точності необхідно здійснити інтерполяцію проміжних напрямків вітру, а також використати ймовірнісний розподіл швидкості вітру за період  $T$  (табл.1). Також потрібно врахувати зміну стану атмосфери протягом періоду  $T$ .

*Інтерполяція проміжних напрямків вітру*

Для інтерполяції розбиваємо всю розу вітрів на  $n$  напрямків з кроком  $\Delta\varphi$ . При восьми румбовій розі вітрів найбільш зручним для інтерполяції є крок  $\Delta\varphi = 5^\circ$  або  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{36}$  рад. Тоді кількість напрямків розповсюдження

забруднення буде становити  $n = \frac{360^\circ}{5^\circ} = 72$ .

Інтерполяція проміжних значень ймовірності напрямків вітру при такій градації здійснюється геометрично. Для різних проміжків маємо:

$$1) 1 \leq n \leq 10, \bar{P}_{1-10} = P_{\text{cx}} \frac{\sin(\alpha_1)}{\sin\left((n-1)\frac{\pi}{36} + \alpha_1\right)}, \text{ де } \alpha_1 = \left| \arctg\left(\frac{P_{\text{пн-сх}}}{P_{\text{пн-сх}} - P_{\text{сх}} \sqrt{2}}\right) \right|;$$

$$2) 11 \leq n \leq 19, \bar{P}_{11-19} = P_{\text{пн-сх}} \frac{\sin(\alpha_2)}{\sin\left((n-10)\frac{\pi}{36} + \alpha_2\right)}, \text{ де } \alpha_2 = \left| \arctg\left(\frac{P_{\text{пн}} \sqrt{2}}{P_{\text{пн-сх}}} - 1\right) \right| + \frac{\pi}{4};$$

$$3) 20 \leq n \leq 28, \bar{P}_{20-28} = P_{\text{пн}} \frac{\sin(\alpha_3)}{\sin\left((n-19)\frac{\pi}{36} + \alpha_3\right)}, \text{ де } \alpha_3 = \left| \arctg\left(\frac{P_{\text{пн-3х}}}{P_{\text{пн}} \sqrt{2} - P_{\text{пн-3х}}}\right) \right|;$$

$$4) 29 \leq n \leq 37, \bar{P}_{29-37} = P_{\text{пн-3х}} \frac{\sin(\alpha_4)}{\sin\left((n-28)\frac{\pi}{36} + \alpha_4\right)}, \text{ де } \alpha_4 = \left| \arctg\left(\frac{P_{\text{3х}} \sqrt{2}}{P_{\text{пн-3х}}} - 1\right) \right| + \frac{\pi}{4};$$

$$5) 38 \leq n \leq 46, \bar{P}_{38-46} = P_{\text{3х}} \frac{\sin(\alpha_5)}{\sin\left((n-37)\frac{\pi}{36} + \alpha_5\right)}, \text{ де } \alpha_5 = \left| \arctg\left(\frac{P_{\text{пд-3х}}}{P_{\text{3х}} \sqrt{2} - P_{\text{пд-3х}}}\right) \right|;$$

$$6) 47 \leq n \leq 55, \bar{P}_{47-55} = P_{\text{пд-3х}} \frac{\sin(\alpha_6)}{\sin\left((n-46)\frac{\pi}{36} + \alpha_6\right)}, \text{ де } \alpha_6 = \left| \arctg\left(\frac{P_{\text{пд}} \sqrt{2}}{P_{\text{пд-3х}}} - 1\right) \right| + \frac{\pi}{4};$$

$$7) 56 \leq n \leq 64, \bar{P}_{56-64} = P_{\text{пд}} \frac{\sin(\alpha_7)}{\sin\left((n-55)\frac{\pi}{36} + \alpha_7\right)}, \text{ де } \alpha_7 = \left| \arctg\left(\frac{P_{\text{пд-сх}}}{P_{\text{пд}} \sqrt{2} - P_{\text{пд-сх}}}\right) \right|;$$

$$8) 65 \leq n \leq 72, \bar{P}_{65-72} = P_{\text{пд-сх}} \frac{\sin(\alpha_8)}{\sin\left((n-64)\frac{\pi}{36} + \alpha_8\right)}, \text{ де } \alpha_8 = \left| \arctg\left(\frac{P_{\text{сх}} \sqrt{2}}{P_{\text{пд-сх}}} - 1\right) \right| + \frac{\pi}{4}.$$

Отримані таким чином значення  $\bar{P}_i$  не імовірнісного змісту, оскільки

$\sum_{i=1}^{72} \bar{P}_i > 1$ . Для того, щоб отримати остаточний розподіл ймовірностей по

напряжкам, необхідно отримані  $\bar{P}_i$  поділити на  $\sum_{i=1}^{72} \bar{P}_i$ . Таким чином,

$$\text{отримаємо шукані ймовірності: } P_i = \frac{\bar{P}_i}{\sum_{i=1}^{72} \bar{P}_i}.$$

Оскільки на процес розповсюдження забруднення в атмосфері істотно впливає швидкість вітру, то для більш точного визначення поля розподілу концентрації забруднення необхідно враховувати всі швидкості вітру, які спостерігалися протягом часу  $T$ , а не здійснювати моделювання тільки для середніх значень. Для цього потрібно обчислити відносну повторюваність швидкостей вітру за географічними напрямками. Наприклад, для того, щоб отримати відносну повторюваність швидкостей вітру при східному напрямку вітру, необхідно перемножити ймовірність даного напрямку  $P_{cx} = P_1$  на ймовірності відповідних швидкостей вітру  $p_{1-k}$  (табл.1). Аналогічно отримуємо відносну повторюваність швидкостей вітру за іншими напрямками. Порядок обчислень показано в табл. 2.

Таблиця 2

Ймовірнісний розподіл швидкості вітру за напрямками

Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру				Сума
	CX, 0°	5°	...	355°	
Штиль, 0-1	$p_1 = P_{шт}$				$p_1 = P_{шт}$
1-2	$P_1 \cdot p_2$	$P_2 \cdot p_2$	...	$P_{72} \cdot p_2$	$p_2$
2-3	$P_1 \cdot p_3$	$P_2 \cdot p_3$	...	$P_{72} \cdot p_3$	$p_3$
...	...	...	...	...	...
$(k-1)-k$	$P_1 \cdot p_k$	$P_2 \cdot p_k$	...	$P_{72} \cdot p_k$	$p_k$
Сума					$\sum_{i=1}^k p_i = 1$

Істотний вплив на форму факела викидів від джерела забруднення і тим самим на розподіл приземної концентрації забруднюючих речовин здійснює стан (стратифікація) атмосфери. Розрізняють шість основних станів атмосфери, кожен з яких характеризується температурним градієнтом, тобто розподілом температури з висотою [13]. Так, за умов конвекції атмосфера характеризується значною турбулентністю з великим розміром вихорів. Це сприяє швидкому переміщенню забруднення до приземного шару атмосфери, де створюється значний рівень забруднення. За нейтральної атмосфери на розсіювання домішок впливають вихори маленьких розмірів. При цьому забруднення досягає поверхні землі значно далі, ніж за умов конвекції з

меншим максимумом концентрації. А за умов інверсії турбулентність практично відсутня і факел забруднення майже паралельний землі. Рівень концентрації в приземному шарі атмосфери за стійкого стану менше, ніж за нестійкого та нейтрального станів. В [13] показані різні форми факелів викидів за різного стану атмосфери.

В [19] в графічному вигляді зображений розподіл ймовірностей станів атмосфери в залежності від швидкості вітру. Стратифікація атмосфери суттєво залежить від швидкості вітру і цим не можна нехтувати при знаходженні концентрації забруднення.

За графічними даними побудовано таблицю розподілів ймовірностей станів атмосфери від швидкості вітру.

Таблиця 3

Ймовірнісний розподіл стану атмосфери в залежності від швидкості вітру							
Стан атмосфери	Швидкість вітру, м/с						
	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
<b>A</b>	0,64	0,38	0,21	0,11	0,06	0,03	0,02
<b>B</b>	0,35	0,35	0,3	0,25	0,17	0,08	0
<b>C</b>	0	0,19	0,31	0,33	0,33	0,31	0,27
<b>D</b>	0,01	0,08	0,16	0,22	0,31	0,38	0,44
<b>E</b>	0	0	0,02	0,07	0,1	0,13	0,18
<b>F</b>	0	0	0	0,02	0,03	0,07	0,09
Сума	1	1	1	1	1	1	1

За основні значення швидкостей вітру взято середини часткових інтервалів.

Для визначення ряду розподілу стратифікації атмосфери при швидкості вітру 1,5 м/с здійснювалась екстраполяція графічних даних зліво.

Таким чином, основні ймовірнісні параметри для моделювання розповсюдження забруднення визначені.

Почнемо запис ймовірнісної моделі з розгляду розповсюдження домішок при певному напрямку та швидкості вітру. Нехай це буде східний вітер зі швидкістю  $u_1 = 1,5$  м/с. Тоді модель, з урахуванням ймовірнісного розподілу стратифікації атмосфери, буде мати вигляд:

$$C(x, y) = \frac{Q}{\pi} f_o f_{xim} P_{11} \sum_{i=1}^6 p_{1i} \frac{1}{u_{1i} \sigma_{y_i} \sigma_{z_i}} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_{y_i}^2}\right] \exp\left[-\frac{H_{ef}^2}{2\sigma_{z_i}^2}\right] \quad (4)$$

де  $P_{11}$  – ймовірність східного напрямку вітру при швидкості  $u_1 = 1,5$  м/с (табл. 2);  $p_{1j}$  – ймовірності відповідних станів атмосфери при швидкості вітру  $u_1 = 1,5$  м/с (табл. 3);  $u_{1j}$  – швидкості вітру на висоті гирла труби при швидкості вітру на висоті флюгера  $u_1 = 1,5$  м/с;  $\sigma_{y_i}, \sigma_{z_i}$  – відповідно



горизонтальна та вертикальна дисперсії  $i$  – і стратифікації атмосфери.

Надалі, необхідно просумувати (4) за різними швидкостями вітру. Будемо мати:

$$C(x, y) = \frac{Q}{\pi} f_o f_{xim} \sum_{j=1}^k P_{1j} \sum_{i=1}^6 P_{ji} \frac{1}{u_{ji} \sigma_{y_i} \sigma_{z_i}} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_{y_i}^2}\right] \exp\left[-\frac{H_{ef}^2}{2\sigma_{z_i}^2}\right] \quad (5)$$

Вираз (5) є імовірнісною моделлю розсіювання забруднення для певного напрямку вітру (східного). Остаточню, щоб отримати повну імовірнісну модель, просумуємо (5) за всіма напрямками вітру, врахувавши штиль:

$$C(x, y) = \left( \frac{Q}{\pi} \sum_{m=1}^{72} \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 P_{ji} \frac{1}{u_{ji} \sigma_{y_i} \sigma_{z_i}} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_{y_i}^2}\right] \exp\left[-\frac{H_{ef}^2}{2\sigma_{z_i}^2}\right] + C_{шт} P_{шт} \right) f_o f_{xim} \quad (6)$$

Цікавим є питання визначення розподілу забруднення в умовах штилю. Послаблення вітру в приземному шарі повітря до штилю спостерігається з великою повторюваністю в багатьох географічних областях. Особливо воно характерне для областей з континентальним та помірно континентальним кліматом, до яких відноситься Україна. Однак, сильне послаблення вітру спостерігається більшою частиною тільки до рівнів біля 20 м. Вище відмічається порівняно різке підсилення вітру [2].

Для визначення рівня концентрацій в приземному шарі атмосфери за умов штилю скористаємось результатами, які отримані в [2]. Математична модель розсіювання домішок за відсутності вітру в шарі  $L$  має вигляд:

$$C_{шт} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{(H_{ef} - L)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (7)$$

Розглянемо питання впливу опадів та хімічної трансформації на рівень концентрації забруднення.

Спроби отримати оцінку впливу опадів на концентрацію забруднення атмосфери наводяться в [1, 2, 20].

В літературі [5, 12, 15], де описується математичне моделювання розповсюдження забруднення за допомогою статистичних моделей, не вказується, яким чином враховувати вплив опадів на концентрацію забруднення. Зазначається лише те, що цей вплив можна охарактеризувати певним множником, а питання його обчислення залишається відкритим.

Для вирішення цього питання скористаємось результатами, які отримані при розв'язку рівняння турбулентної дифузії з врахуванням взаємодії домішок з навколишнім середовищем [2]. В [2] розглядається напівемпіричне транспортно-дифузійне рівняння. В даному рівнянні вводиться інтегральний параметр  $\sigma$ , який враховує вплив зовнішнього середовища на процес переносу домішок. В [2] зазначається, що з великою степеню точності можна прийняти:

$$C_{\sigma \neq 0} = C_{\sigma=0} e^{-\frac{\sigma x}{u_{\text{неф}}}} \quad (8)$$

В нашому випадку

$$\sigma = \sigma_{on} + \sigma_{xim}$$

де  $\sigma_{on}$ ,  $\sigma_{xim}$  – коефіцієнти, які враховують вплив опадів та хімічну трансформацію домішок (окислення, нейтралізація) відповідно.

Таким чином, невідомі коефіцієнти  $f_{on}$  та  $f_{xim}$  будуть знаходитись за формулами:

$$f_{on} = e^{-\frac{\sigma_{on} x}{u_{\text{неф}}}}, \quad f_{xim} = e^{-\frac{\sigma_{xim} x}{u_{\text{неф}}}} \quad (9)$$

Відмінності дифузії при опадах, в порівнянні з туманами та хмарами в основному обумовлені великим розміром крапель та їх швидким випадінням. Поглинена домішка випадає з опадами на землю, і тому величину  $\sigma_{on}$  називають коефіцієнтом вимивання, який визначається фізико-хімічними властивостями домішки та інтенсивністю атмосферних опадів [4, 16].

Коефіцієнт  $\sigma_{on}$  визначається за формулою:

$$\sigma_{on} = \gamma(I) \cdot 10^{-5}, \quad [c^{-1}] \quad (10)$$

де  $\gamma(I)$  – функція, яка залежить від інтенсивності опадів.

Для газоподібних речовин приймається [16]:

$$\gamma(I) = \begin{cases} 11,8 \cdot I^{0,9} e^{-2I}, & I \leq 0,2 \text{ мм/год}, \\ 7(I-0,1)^{0,575}, & I > 0,2 \text{ мм/год}. \end{cases}$$

Що стосується хімічної трансформації домішок, то для основних хімічних речовин, які викидають АЕС, такі як діоксиди азоту та сірки,  $\sigma_{xim}$  становлять  $\sigma_{xim}(\text{NO}_2) = 14 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$ ,  $\sigma_{xim}(\text{SO}_2) = 3 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$  [16, 20].

Таким чином, основні параметри для стохастичної моделі поширення домішок в атмосфері визначені.

На рисунку показана екологічна карта середнього забруднення діоксидом сірки приземного шару атмосфери на території розміщення Хмельницької АЕС за липень 2017 р.

Здійснюючи порівняння отриманих рівнів концентрації діоксиду азоту з гранично допустимими концентраціями, будемо мати, що

$$\frac{C_{\text{maxSO}_2}}{\text{ГДК}_{\text{с.д. SO}_2}} = \frac{0,042}{0,05} = 0,84 < 1. \quad \text{Таким чином, в середньому за липень 2017 р.}$$

рівень концентрації діоксиду сірки, який викидає Хмельницька АЕС, є прийнятним.

Створена стохастична математична модель дозволяє визначити середній рівень забруднення від будь-якої кількості підприємств, які знаходяться на

досліджуваній території.

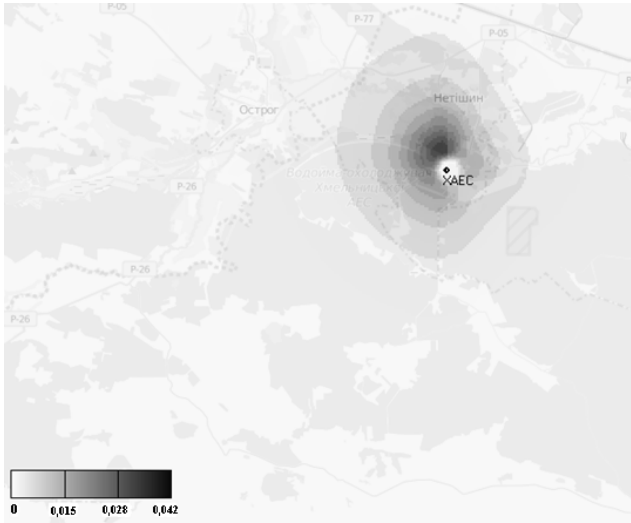


Рис. Приклад побудови середнього рівня забруднення приземного шару атмосфери від викидів діоксиду сірки за липень 2017 р. на ХАЕС

### Висновки

1. Для визначення середнього рівня забруднення атмосфери за певний період часу побудована стохастична модель, яка враховує імовірнісні розподіли напрямку та швидкості вітру, а також випадковість стану атмосфери.

2. Для збільшення точності моделі було здійснено інтерполяцію проміжних значень ймовірностей напрямків вітру, враховано вплив опадів та хімічну трансформацію домішок.

3. В геоінформаційному пакеті ArcGis за допомогою методу інтерполяції локальних поліномів побудовані карти середнього забруднення приземного шару атмосфери в результаті викидів діоксиду сірки від Хмельницької АЕС за липень 2017 р.

Публікація містить результати досліджень, проведених за грантом Президента України для підтримки наукових досліджень молодих вчених на 2018 рік за конкурсним проектом Ф75/28691 Державного фонду фундаментальних досліджень (договір № Ф75/175-2018).

1. *Беляев Н.Н.* Математическое моделирование распространения загрязняющих веществ в водной и воздушной средах: дис. доктора техн. наук: 05.13.02 / Беляев Николай Николаевич. – Днепропетровск, 1996. – 502 с.

2. *Берлянд М.Е.* Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения

атмосфери / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.

3. *Берлянд М.Е.* Физические основы расчета рассеивания в атмосфере промышленных выбросов / М.Е. Берлянд, Р.И. Оникул // Труды ГГО. – 1968. – Вып. 234. – С.3-27.

4. *Генихович Е.Л.* Оценка количества примеси, вымываемой осадками из дымового факела / Е.Л. Генихович // Труды ГГО. – 1984. – Вып. 479. – С.30-38.

5. *Замай С.С.* Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города: учеб. пособие / С.С. Замай, О.Э. Якубайлик. – Красноярск: Краснояр. гос. ун-т., 1998. – 109 с.

6. *Яцишин А.В.* Застосування ГІС-технологій в задачах оцінки екологічних ризиків / А.В. Яцишин, О.О. Попов, В.О. Артемчук // «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту»: Матеріали міжнародної наукової конференції, 28-31 травня 2014 р. – Херсон: ХНТУ, 2014. – С.189-191.

7. *Каменева И.П.* Математико-картографическое моделирование техногенных нагрузок на атмосферу / И.П. Каменева, А.А. Попов, А.В. Яцишин // Моделирование та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім Г.Є. Пухова НАН України. – Вып. 51. – К.: 2009. – С.58-64.

8. *Попов О.О.* Математичні моделі розповсюдження забруднень від впливу радіаційно-небезпечних об'єктів на навколишнє середовище / О.О. Попов, А.В. Яцишин // Моделирование та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім Г.Є. Пухова НАН України. – Вып. 69. – К.: 2013. – С.11-21.

9. *Попов О.О.* Математична модель розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері за умов неперервних викидів від хімічно небезпечних об'єктів / О.О. Попов, А.В. Яцишин, В.О. Ковач, В.О. Артемчук, Є.Б. Краснов // International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus. Special edition. – 2017. – Vol. 1. – P.129-134.

10. *Марчук Г.И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.

11. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий / ГОСКОМГИДРОМЕТ. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 126 с. – (Общесоюзный нормативный документ Госкомгидрометцентра СССР (ОНД-86)).

12. *Пененко В.В.* Модели и методы для задач охраны окружающей среды / В.В. Пененко, А.Е. Алоян. – Новосибирск: Наука, 1985. – 256 с.

13. *Попов А.А.* Применение математического моделирования для определения зон влияния выбросов предприятий топливно-энергетического комплекса в атмосферу / А.А. Попов // Інформаційна безпека. – 2014. – № 4(16). – С.187-193.

14. *Попов О.О.* Математична модель техногенного навантаження на атмосферу за умов короткочасного викиду від потенційно небезпечного об'єкту / О.О. Попов // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку», (м. Черкаси, 13-19 березня 2017 р.). – Черкаси: ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2017. – С.130-132.

15. *Прусов В.А.* Моделирование природных и техногенных процессов в атмосфере / В.А. Прусов, А.Ю. Дорошенко. – К.: Наукова думка, 2006. – 541 с.

16. *Самарская Е.А.* Построение математической модели распространения загрязнений в атмосфере / Е.А. Самарская // Математическое моделирование. – 1997. – Т. 9, №11. – С.59-71.

17. Сердюцкая Л.Ф. Влияние некоторых параметров ТЭС на состав и количество загрязняющих веществ выбросах в атмосферу / Л.Ф. Сердюцкая, Н.А. Попова // Моделирование та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 40. – К.: 2007. – С.73-82.
18. Сердюцка Л.Ф. До огляду моделей розповсюдження домішок в атмосфері міста / Л.Ф. Сердюцка, О.О. Попов // Моделирование та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 45. – К.: 2008. – С.67-80.
19. Швыряев А.А. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: [учебное пособие для вузов] / А.А. Швыряев, В.В. Меншиков. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 124 с.
20. Davies T.D. Precipitation scavenging of sulphur dioxide in an industrial area / T.D. Davies // Atmospheric Environment. – 1976. – №10. – P.879-890.
21. McNaughton D.J. Errors Inherent in Wind Inputs to Unliked Source and Dispersion Models / D.J. McNaughton // Air Waste Manage. Assoc. – 2010. – №7. – P.1018-1020.

*Поступила 13.08.2018р.*

УДК 519.7-004.65

М.Ю. Комаров, Київ  
С.Ф. Гончар, Київ

## **АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ ORACLE DATABASE 12C ENTERPRISE EDITION**

**Abstract.** Data base; The United Energy System of Ukraine, Real Application Cluster (RAC), Automatic Control Systems.

### **Актуальність**

Надійна і стійка робота електроенергетики України значною мірою залежить від ефективної реалізації наявних можливостей і способів управління режимами роботи устаткування на усіх рівнях наявної ієрархічної системи управління.

Експлуатацію електроенергетичного устаткування здійснює оперативно-диспетчерський персонал, від рівня кваліфікації якого також залежить надійність енергопостачання споживачів.

Реалізація можливостей і способів управління режимами, у свою чергу, нерозривно пов'язана з процесами послідовного отримання оперативним персоналом центральних диспетчерських центрів (підприємств) достовірних вимірюваних або розрахункових даних про параметри режиму роботи електроенергетичних систем (ЕС) і завжди базується на різних інформаційних моделях елементів або окремих частин ЕС.

Сьогодні нестримно розвивається система глобальної світової  
© М.Ю. Комаров, С.Ф. Гончар