

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ, ЕКОЛОГІЇ, МЕДИЦИНІ ТА ОСВІТІ

УДК 504.064.3

В.В. Мовшович, В.М. Задачин

*Харківський національний економічний університет, Харків*

## МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ЗОНІ ДІЯЛЬНОСТІ КОМУНАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

*У статті розглядаються математичні моделі розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі у результаті діяльності промислового підприємства. Проводиться аналіз існуючих моделей та вибір моделей, що є актуальними для комунального підприємства. Проаналізовані переваги та недоліки наведених моделей. Підкреслена перевага обраної моделі Гауса для процесу моделювання та прогнозування розповсюдження шкідливої домішки в атмосферному повітрі для комунального підприємства.*

**Ключові слова:** прогнозування, моделювання, забруднення атмосферного повітря, модель, промислове підприємство, забруднююча речовина, домішки, стаціонарні джерела.

### Вступ

Техногенний тиск на атмосферу міста полягає в емісії та розповсюдженні забруднюючих речовин, що утворюються в результаті діяльності промислових об'єктів. Вирішення проблеми забруднення атмосферного повітря викидами від підприємств починається з оцінки екологічних ризиків, що виникають при техногенній діяльності таких об'єктів [1]. Аналізуючи ступінь екологічного ризику, необхідно ідентифікувати джерела небезпеки та оцінити масштаби забруднення повітряного середовища шкідливими домішками [10].

Для прогнозування забруднення повітря використовуються різноманітні методи та математичні моделі розповсюдження забруднюючих речовин від їх джерел, які враховують закономірності просторово-часової динаміки розподілу концентрації домішок [5].

Моделі турбулентності та турбулентного переносу забруднюючих домішок приведені в роботах А.Е. Алояна, І.В.Белова, І.Е. Наац, М.Е. Берлянда [3, 7]. У цих численних роботах описуються різні моделі турбулентності, які записуються у вигляді системи диференціальних рівнянь. Ці моделі відрізняються різними граничними умовами, методами замикання системи рівнянь, а також дають різні результати при моделюванні відривних течій, примезових шарів та ін.

Але жодна з моделей не є універсальною, тому актуальним питанням, щодо створення моделі, що дозволяє дослідити просторову динаміку розповсюдження домішки в атмосфері для конкретного типу підприємств.

Метою даної роботи є огляд, характеристика та аналіз основних існуючих моделей розповсюдження домішок в атмосфері, а також їх чисельна реалізація для наведеного комунального підприємства.

### Основна частина

Задача ставиться та вирішується для міської території, де внаслідок викидів промислового об'єкту існує висока ймовірність перевищення деякими забруднюючими речовинами (сполук азоту, двоокис сірки, оксид вуглецю) гранично допустимих концентрацій.

Горизонтальні розміри даної ділянки порівняно малі, тому нижні і верхні межі області вважаються плоскими та прямокутниками. Інтенсивне перемішування повітря в приземному шарі атмосфери відбувається в обмеженій за висотою області, тому при розв'язанні задачі можна обмежити вертикальний розмір області висотою шару перемішування (600-1000 м) [2].

Джерелом викидів розглядається комунальне підприємство, діяльність котрого включає виробництво автомобільного, дорожнього та спеціального устаткування. Підприємство є стаціонарним джерелом (нижня межа заданої області). Речовини розповсюджуються під дією дифузії, вітру, сухого осадження [6].

Моделі розсіювання описують процеси турбулентної дифузії в атмосфері і представляються наступною класифікацією [8, 15]:

1. Лагранжеві моделі, в яких або відслідковуються процеси в рухомих масах повітря,

або використовуються умовні частки для імітації процесів розсіювання.

2. Ейлерові моделі, що дозволяють чисельно розв'язувати рівняння атмосферної дифузії.

3. Гаусові моделі, відповідно до яких, розподіл концентрацій характеризується як гаусовський в горизонтальному і вертикальному напрямках.

Головною перевагою моделі руху часток Лагранжа є те, що вона дуже точно імітує фізичні процеси, які задіяні у реалізації процесів розповсюдження речовини у атмосфері [4]. Внаслідок цього, такий спосіб моделювання може давати добрі результати у великому діапазоні масштабів: від локального до регіонального, а також для територій зі складним рельєфом.

Серед недоліків таких моделюючих систем слід відмітити складність у користуванні. Для запуску циклу моделювання необхідно зібрати дуже велику кількість інформації, а також є потреба у обчислювальних ресурсах [11, 14].

Побудова моделей перенесення і розсіювання домішок з використанням Ейлерового підходу основана на знаходженні розв'язку напівемпіричного рівняння турбулентної дифузії. Але необхідно зазначити, що для використання всіх можливостей даного підходу необхідна побудова поля вітру, що здійснюється або за допомогою створення власної метеорологічної моделі на основі розв'язку рівняння руху з рівняннями нерозривності, що його доповнюють, або за допомогою використання відомих метеорологічних моделей для прогнозу погод, що суттєво ускладнює задачу моделювання в цілому [13].

Гаусівські моделі використовують для визначення локальної дисперсії, і їх аналітичний розв'язок отримано для стаціонарних та нестаціонарних розподілів.

Загальне рівняння Гауса має вигляд [15].:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial C}{\partial z}) + Q,$$

де:  $x$  – просторова координата, відстань від джерела за напрямком вітру;

$y$  – просторова координата, відстань від джерела перпендикулярно напрямку вітру;

$z$  – просторова координата, вертикальна відстань від ґрунту;

$K_y, K_z$  – поширення турбулентності за напрямками осей  $y$  та  $z$ ;

$U$  – швидкість вітру на висоті  $H$  вздовж осі  $Ox$ ;

$Q$  – потужність джерела викиду.

При реалізації моделі можуть бути зроблені деякі спрощення:

- концентрації забруднюючих речовин не впливають на розряджений потік (пасивна дисперсія);
- молекулярна дифузія і поздовжня дифузія (вздовж напрямку вітру) незначні;
- турбулентні потоки є лінійними;
- бічна середня швидкість і вертикальна швидкість вітру дорівнюють нулю.

Інтегруючи за часом концентрацію забруднень, що викидаються з безперервного джерела, можна отримати розподіл концентрації для стаціонарної моделі Гауса [15]:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left( \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right), \quad (1)$$

де:  $Q$  – потужність джерела;

$H$  – кінцевий підйом шлейфу над землею (ефективна висота підйому шлейфу);

$$\sigma_y = \sqrt{2K_y \left(\frac{x}{U}\right)}, \quad \sigma_z = \sqrt{2K_z \left(\frac{x}{U}\right)}.$$

Перевагою використання гаусових моделей є те, що вони прості при реалізації, оскільки одержані аналітичні залежності концентрацій домішок від часу і координат простору, не вимагають великих об'ємів обчислень, і є оперативними.

В програмному математичному середовищі MATLAB 7 було реалізовано різні методи моделювання забруднення атмосфери від точкового джерела викиду, зокрема модель Гауса (1), саме за якою було виконано моделювання процесу розповсюдження забруднення при різних значеннях швидкості вітру (рис. 1-3). При цьому були застосані наступні значення  $H=30$  м,  $Q=0.618$  з/с.

За результатами моделювання було побудовано модель у програмному середовищі MATLAB, яку було впроваджено до використання на комунальному підприємстві «Харків-Сигнал».

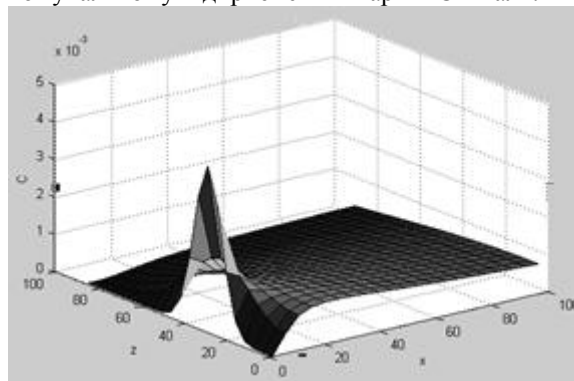


Рис. 1. Сильний вітер,  $U=5$  м/с.

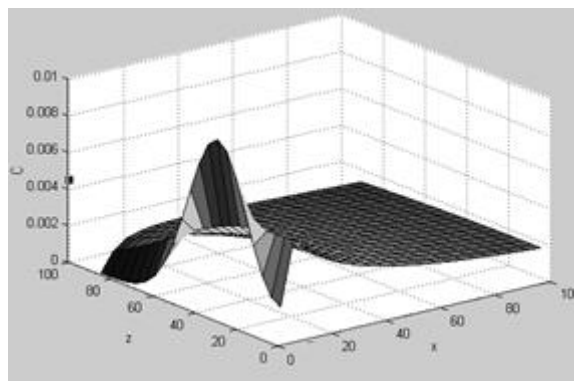
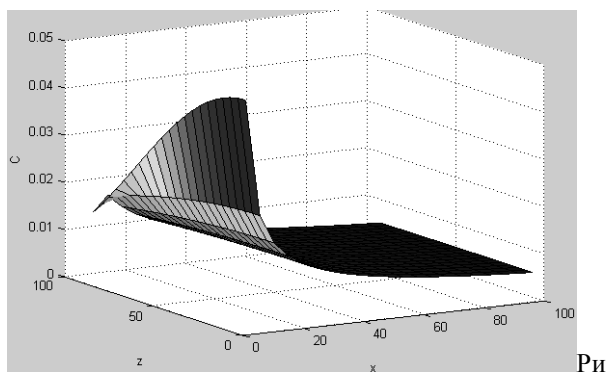


Рис. 2. Середній вітер,  $U=1$  м/с.



с. 3. Слабкий вітер,  $U=0.1$  м/с.

## Список літератури

1. Методика прогнозування масштабів зараження сильнодіючими ядовитими речовинами при аваріях (разрушеннях) на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті. Руководячий документ РД 52.04.253-90. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 23 с.
2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. –Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.
3. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. / М.Е Берлянд – Л.: Гидрометеиздат, 2006. – 448 с.
4. Бородулин А.И. Статистическое описание распространения аэрозолей в атмосфере: метод и приложения. / А.И. Бородулин, Г.М Майстренко, Б.М. Чалдин – Новосибирск: Сибирь-7, 2002. – 123 с.
5. Бызова Н.Л. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчет распространения примеси. / Н.Л. Бызова, Е.К Гаргер, В.Н. Иванов – Л.: Гидрометеиздат, 2006. – 238 с.
6. Громова О.В. Аналіз моделей поширення домішок в атмосфері від стаціонарних джерел/ О.В Громова – Київ: УкрНДГМІ, 2004. – 253 с.
7. Наац И.Э. Параметризованные модели теории переноса в задачах экологического мониторинга атмосферы и принцип минимакса / Наац И.С., Наац В.И., Рыскаленко Р.А. – Ставрополь: Вестник СГУ, 2009, №4. – С. 46-50.
8. Никифоров А. Н. Моделирование полей загрязненности атмосферы в мезометеорологическом пограничном слое / А. Н. Никифоров, Н. С. Бузало // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки (спецвыпуск), 2001. – С. 126-128.
9. Пененко В. В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1985. – 256 с.
10. Попов О. О. Математичне та комп'ютерне моделювання техногенних навантажень на атмосферу міста від стаціонарних джерел забруднення / О. О. Попов. – Київ: НАН України, 2010. – 20 с.
11. Briggs G.A. Analytical parameterization of diffusion: the convective boundary layer // J. Clim. Appl. Met. 2005, V. 24. – P. 1167-1186.
12. Moussiopoulos N. Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models // Copenhagen: European Environment Agency, 2006, Topic Report No. 19.

13. Zannetti P. Numerical simulation modelling of air pollution: an overview. Air pollution // Southampton: Computational Mechanics Publications, 2003. – P. 3-14.

14. Экология окружающей среды [электронный ресурс], режим доступа: <http://www.ecotir.net/show/1270>.

15. Бабков В. С. Анализ математических моделей распространения примесей от точечных источников / Бабков В.С., Ткаченко Т.Ю. // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», випуск 13(185), 2011. – С. 147-155.

Надійшла до редколегії 21.03.2013

**Рецензент:** кандидат технічних наук, професор І.Г. Гусарова, Харківський національний технічний університет радіоелектроніки, Харків.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ КОММУНАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

В.В. Мовшович, В.М. Задачин

*В статье рассматриваются существующие математические модели распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в результате деятельности коммунальных предприятий. Производится выбор, описание и анализ существующих моделей распространения примесей в атмосфере, которые являются актуальными для выбранного предприятия. Проанализированы достоинства и недостатки рассмотренных моделей. Подчеркнуто преимущество выбранной модели Гаусса для процесса моделирования и прогнозирования распространения вредных примесей в атмосферном воздухе для коммунального предприятия.*

**Ключевые слова:** *прогнозирование, моделирование, загрязнение атмосферного воздуха, модель, промышленное предприятие, стационарный источник загрязняющее вещество, примеси.*

## **MODELING OF AIR POLLUTION LEVEL IN THE AREA OF INDUSTRIAL ENTERPRISE'S ACTIVITIES**

V.V. Movshovych, V.M. Zadachin

*This article examines existing mathematic model of air pollutants resulting of industrial activities. The classification of the models used for simulation of air pollution was considered. Carried out the selection, characterization and analysis of existing models of the spread of pollutants in the atmosphere, which are currently being used for utility enterprise. Advantages and disadvantages of mentioned models are analyzed. The advantages of developing of the pollutants diffusion in the atmospheric air mathematical tool on the ground of the Gaussian model is emphasized for utility enterprise.*

**Keywords:** *prognostication, modeling, air pollution, model, industrial enterprise, stationary sources, contaminant, contaminants, precipitation.*