

$$\begin{aligned}
U_n = & \cos \omega t_n - \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t_n + \frac{1}{\omega} \sum_{j=1}^m B_j^{(m,n)} \sin \omega(t_n - x_j) f(x_j) - \\
& - \omega^2 \sum_{i=1}^{n-1} A_i \bar{\Gamma}_1(t_n - t_i) U_i - \\
& - \rho \omega^2 \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} A_i \sin \omega(t_n - t_i) \left[ U_i^3 - \frac{A}{\alpha} U_i \sum_{j=1}^i D_j e^{-2\beta t_j} U_{i+1-j}^2 \right] \right\}.
\end{aligned} \tag{34}$$

**Заключення.** Предложены эффективные рекуррентные алгоритмы решения слабосингулярных интегро-дифференциальных уравнений для задач динамики вязкоупругих систем. Вычислительные эксперименты на компьютере показывают, что предложенные методы позволили достичь высокой точности приближенного решения.

1. *Бадалов Ф.Б.* Метод степенных рядов в нелинейной наследственной теории вязкоупругости. – Ташкент: Фан, 1980. – 221 с.
2. *Корнєєв О.М.* Про застосування інтегрального методу до розв'язування задач спадкової в'язкопружності. Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип. 52. – К.: 2009. – с. 221 – 225
3. *Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П.* Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 2003. – 561 с.
4. *Победря Б.Е.* Механика композиционных материалов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 336 с.

*Поступила 6.09.2010р.*

УДК 621.039.7.001.2

О.О.Попов, І.П.Каменева

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА АТМОСФЕРУ ВІД ВИКИДІВ СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗАБРУДНЕННЯ ЗА РІЗНИМИ СЦЕНАРІЯМИ**

### **Вступ**

На теперішній час фахівцями-екологами широко використовуються програми для розрахунку розповсюдження домішок в атмосфері та інші спеціалізовані екологічні програми, що прогнозують розмір викидів від окремих підприємств. Ці програми досить точно вирішують задачі, орієнтовані на оцінку локальних навантажень на атмосферу. Проте для вирішення найбільш актуальних задач моніторингу та контролю екологічного

стану атмосфери на рівні міста або регіону необхідно розробити принципово інші, спеціалізовані програмні засоби, адаптовані для роботи з рядом підприємств одночасно.

В роботах [8, 9] наведено порівняльний аналіз найбільш відомих вітчизняних та закордонних комп'ютерних систем прогнозу забруднення атмосфери міст, що дало змогу визначити їх основні недоліки і на підставі цього підтвердити актуальність даного наукового дослідження та необхідність розробки власного спеціалізованого програмного продукту для вирішення поставлених задач – інформаційно-комп'ютерної системи для прогнозу техногенних навантажень на приземний шар атмосфери (ПША) від стаціонарних джерел забруднення (ДЗ).

В статті [1] обґрунтовано актуальність створення та описано основні етапи проектування та розробки інформаційно-комп'ютерної прогнозуальної системи визначення техногенних навантажень на ПША, що отримала робочу назву MathMapMod.

В даній статті представлені приклади роботи створеної системи за різними сценаріями атмосферного забруднення, пов'язаними з метеорологічними факторами.

### **Вирішення задачі**

Розроблений програмний продукт дозволяє визначати розподіли концентрацій забруднюючих речовин (ЗР) для найбільш небезпечних сценаріїв атмосферного забруднення, пов'язаних з метеорологічними факторами. Розглянемо наступні сценарії:

1. Вибіркове забруднення.
2. Аномальна конвекція.
3. Нормальний штиль.
4. Аномальний штиль.
5. Середнє забруднення за період.
6. Залповий викид.

Проаналізуємо приклади реалізації кожного сценарію, починаючи з найпростіших.

Кожний сценарій характеризується певним набором метеопараметрів. Визначальними факторами впливу на процес розповсюдження ЗР та розподіл концентрації є режим вітру (швидкість і напрямок) та стан атмосфери.

Найпростіший сценарій, реалізований в системі, – це „*Вибіркове забруднення*”. Метеорологічні умови, які характеризують даний сценарій, є короткотривалими. Тобто за цим сценарієм визначається розподіл ЗР в ПША при фіксованих метеорологічних параметрах (напрямок та швидкість вітру, стан атмосфери), тривалість яких може бути від декількох годин до декількох діб. В [5] досліджено вплив стану атмосфери на форму факела викидів, що в свою чергу визначає рівень концентрації ЗР в ПША.

Робота системи MathMapMod розпочинається з введення вхідних даних (рис. 1) або завантаження їх з спеціального файлу, якщо вони були введені і

збережені раніше.

На рис. 1 показана закладка „Вхідні дані” для даного сценарію щодо аналізу викидів ТЕЦ-5 (м. Київ). Після введення (завантаження) вхідних даних потрібно відкрити закладку „Вибір моделі” та обрати модель, за допомогою якої будуть здійснюватись обчислення концентрацій ЗР.

Параметр	Параметрство	Параметрство 1
Назва підприємства		ТЕЦ-5
Кількість труб на підприємстві		2
Координати [ш. широти, градуси]		50
	хвилини	23
	секунди	24
Координати [ж. довготи, градуси]		30
	хвилини	35
	секунди	20

Параметр	Труба	Параметрство 1 Труба 1	Параметрство 1 Труба 2
Висота, м (H)		100	100
Діаметр горла, м (D)		7.2	7.2
Швидкість виходу ЗР, м/с (W)		11	11
Температура виходу, град. С (T)		90	90
Потужність виходу ЗР, т/с		207	207

Введіть метеорологічні дані

Температура повітря, град. С (T<sub>a</sub>)  Інтенсивність опадів, мм/год (P)  Світловий надходження

Введіть швидкість вітру (W) для якої буде здійснено розрахунок концентрації забруднення за сценарієм "Вибіркове забруднення"

Введіть напрямки розподілення ЗР (град., початковий зі сходу (P) проти годинникової стрілки, для якого буде здійснено розрахунок:

Вибір стратегії щодо атмосферних (для сценарію "Вибіркове забруднення", "Загтовий викид" та "Норд-штамп") та потужності "ОК":

Рис. 1. Закладка „Вхідні дані” для сценарію „Вибіркове забруднення”

Визначення рівнів концентрацій за цим сценарієм здійснюється за двома моделями: Паскуїлла-Гіффорда (модель МАГАТЕ) та К-моделлю Робертса з відповідними вхідними параметрами [7].

Потім натискаємо кнопку „ОК”.

Алгоритм побудови карти розподілу концентрацій ЗР та характеристика полів закладки „Картографічне моделювання” описані в [3]. На рис. 2 показаний результат роботи MathMapMod у вигляді екологічної карти розподілу концентрацій діоксиду азоту в ПША від викидів ТЕЦ-5.

На отриманій екологічній карті забруднення ПША м. Києва чітко визначені території, забруднені викидами діоксиду азоту, які здійснює ТЕЦ-5. Для визначення рівня концентрації та відповідного ризику в тій чи іншій точці карти потрібно навести курсором миші на дану точку. Географічні координати вибраної точки, її поточні координати в системі координат, пов’язаній з картою, рівень концентрації ЗР та відповідні ризику в цій точці автоматично відображаються під картою. Це дає змогу визначити найбільш навантажені території, які в свою чергу характеризуються найбільшими ризиками проживання.

В разі необхідності можна нанести результат на карту більшого масштабу, що дає змогу більш чітко визначити розподіл концентрації ЗР.

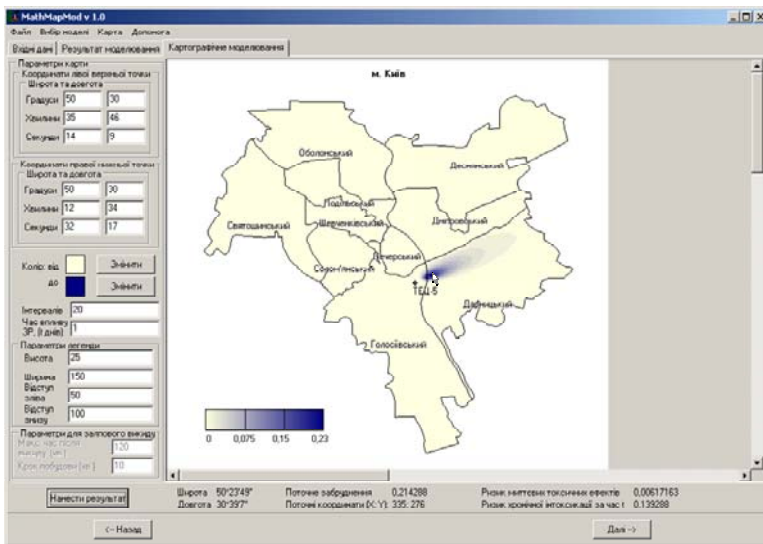


Рис. 2. Екологічна карта розподілу діоксиду азоту від викидів ТЕЦ-5 за сценарієм „Вибіркове забруднення”

Сценарій „Аномальна конвекція” характеризується наявністю потужного шару інверсії температури одразу над джерелом викидів та нестійким станом атмосфери нижче даного шару (рис. 3). Таким чином створюються небезпечні умови забруднення, оскільки інверсійний шар обмежує підйом викидів, сприяє їх опусканню і накопиченню в приземному шарі. Математичне моделювання процесу розповсюдження ЗР за цим сценарієм здійснюється за допомогою тих же моделей, які використовуються для сценарію „Вибіркове забруднення”, але при умові, що  $H_{ef} = H_{дз} + l$ , де  $l=5$  м – відстань від джерела до нижньої межі інверсії.

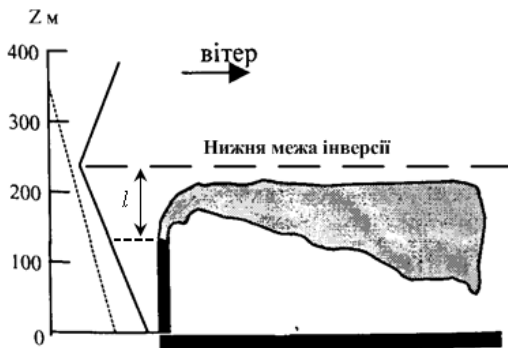


Рис. 3. Форма факела викидів за умов аномальної конвекції

Вхідні дані за цим сценарієм аналогічні вхідним даним сценарію „Вибіркове забруднення” за тією лише відмінністю, що стан атмосфери є визначеним – конвективним.

Сценарій „Нормальний штіль” характеризується наявністю штільового шару завтовшки  $L$  м від поверхні землі та підсиленням швидкості вітру вище даного шару, що характерно для регіонів з помірно-континентальним кліматом, до яких відноситься територія України. Форма факела викидів за даним сценарієм наведена на рис. 4.

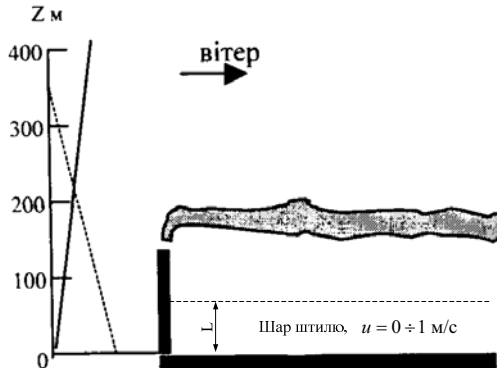


Рис. 4. Форма факела викидів при нормальному штилі в умовах помірно континентального клімату

Визначення розподілу концентрацій ЗР за даним сценарієм здійснюється за допомогою тих же моделей, які використовуються для сценарію „Вибіркове забруднення”, але при умові, що  $H_{ef}$  замінюється на  $H_{ef} - L$ , де  $L$  – товщина штільового шару. Вхідні дані за цим сценарієм аналогічні вхідним даним сценарію „Вибіркове забруднення”.

З метою візуалізації результатів моделювання за сценаріями „Аномальна конвекція” та „Нормальний штіль” екологічні карти будуються за тими ж вхідними даними, що і розглянутий вище сценарій „Вибіркове забруднення”, і будуть мати вигляд, показаний на рис. 2, але з іншими рівнями концентрацій ЗР.

Що стосується сценарію „Аномальний штіль”, то він, як і сценарій „Аномальна конвекція”, характеризується наявністю потужного шару інверсії температури одразу над джерелом викидів та відсутністю вітру нижче цього шару. Це створює вельми небезпечні умови накопичення забруднення навколо джерела викидів. Визначення поля концентрацій ЗР за даним сценарієм здійснюється за допомогою моделі, яка описана в [4] при умові  $H_{ef} = H_{ож} + l$ , де  $l = 5$  м – відстань від джерела до нижньої межі інверсії. Вхідними даними для реалізації цього сценарію є лише географічні координати ДЗ та параметри викидів.

Результат роботи системи за сценарієм „Аномальний штіль”

представлений на рис. 5. Як видно з отриманої карти, рівень концентрації за таких метеорологічних умов є досить високим і практично все поле ЗР зосереджується біля джерела викидів, що є особливо небезпечним для працівників даного підприємства та населення прилеглих територій.

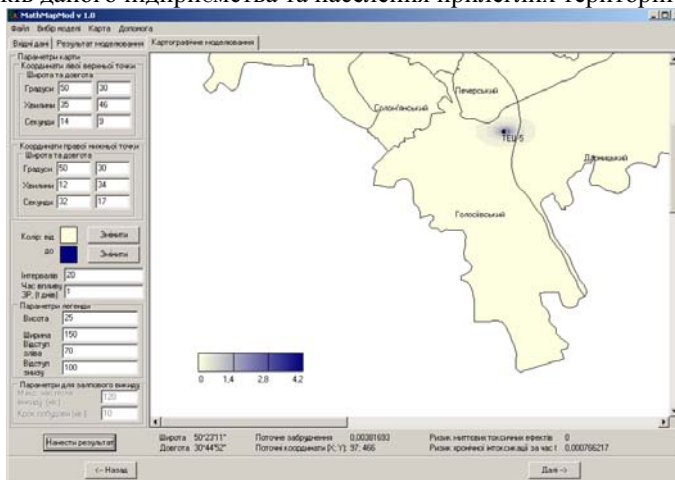


Рис. 5. Розподіл діоксиду азоту за умов аномального штилю

Результат роботи MathMapMod на прикладі реалізації одного із більш складних сценаріїв „Середнє забруднення за період” показаний в [2, 3]. Даний сценарій передбачає забруднення атмосфери довільною кількістю стаціонарних джерел протягом тривалого періоду часу (місяць, рік). Визначення техногенних навантажень на територію міста від дії досліджуваних ПНП здійснюється за допомогою модифікованих статистичних моделей [6].

Останнім розглянемо сценарій „Залповий викид”. Відмінною особливістю залпових викидів ЗР є їх децентралізованість і нестационарність процесу розповсюдження, коли за короткий проміжок часу в атмосферу викидаються великі кількості шкідливих речовин. Математичне моделювання процесу розповсюдження ЗР за даним сценарієм здійснюється на основі нестационарних моделей: МАГАТЕ та К-моделі Роберта [7].

Вхідними даними для даного сценарію є такі ж дані, як і для сценарію „Вибіркове забруднення”.

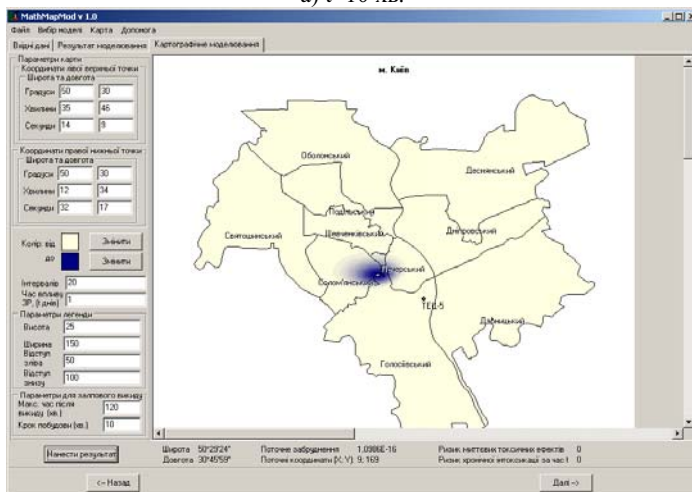
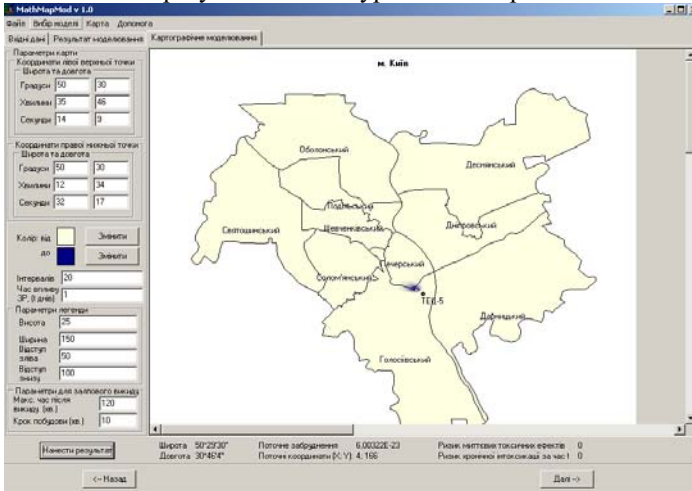
В закладці „Картографічне моделювання” для даного сценарію необхідно вказати такі параметри, як максимальний час після викиду, тобто час, до якого користувача цікавить процес розповсюдження ЗР та крок побудови. Після введення цих параметрів потрібно натиснути кнопку „Нанести результат”. Для візуалізації розподілу ЗР в ПША в інший момент часу необхідно двічі натиснути кнопкою миші на полі карти. Ввівши відповідний крок побудови, можна побудувати розподіл концентрації ЗР у

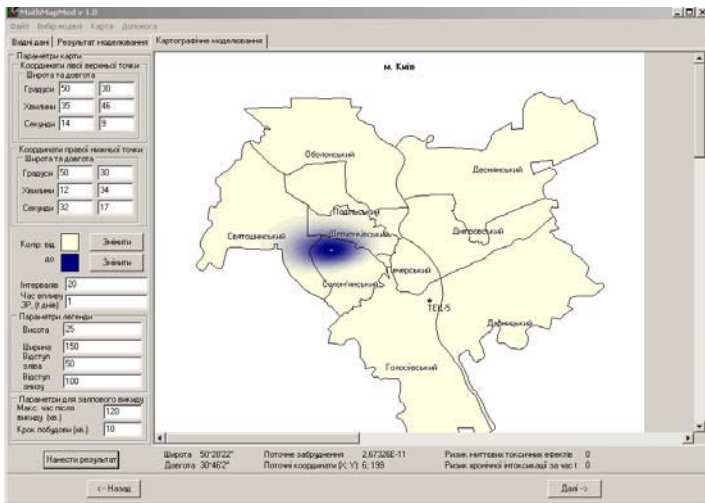
будь-який час після викиду з ДЗ.

На рис. 6 показані карти переміщення за вітром діоксиду азоту, який був викинутий залпово на ТЕЦ-5 за умов конвективного стану атмосфери при швидкості вітру 3 м/с.

Результати роботи комплексу MathMapMod можуть бути використані для вирішення широкого кола задач, пов'язаних з охороною повітряного басейну від забруднення, а саме:

- 1) Дослідження просторової конфігурації полів ЗР в атмосфері, розрахованих за теоретичними моделями, і порівняння їх з полями, розрахованими за результатами натурних спостережень.





в)  $t=30$  хв.

Рис. 6. Розподіл діоксиду азоту при залповому викиді в різні моменти часу

- 2) Визначення небезпечної швидкості і напрямку вітру.
- 3) Регулювання об'ємів викидів в залежності від метеоумов.
- 4) Проектування нових та реконструкція вже існуючих промислових підприємств, систем теплопостачання, житлових масивів тощо.
- 5) Визначення розмірів санітарно-захисних зон.
- 6) Встановлення принципів раціонального розміщення пунктів для спостереження за чистотою повітря.
- 7) Вирішення обернених задач щодо визначення джерел, які здійснюють найбільший внесок в забруднення приземної атмосфери за досліджуваний період, з подальшим регулюванням об'ємів викидів потенційно небезпечних підприємств або накладенням на них штрафів.

## Висновки

1. Розроблено засоби моделювання ряду небезпечних сценаріїв атмосферного забруднення, пов'язаних з метеорологічними факторами, та комп'ютерні технології для відображення просторового розподілу небезпеки за допомогою електронних карт техногенних навантажень і карт ризиків.
2. За допомогою розроблених математичних моделей і комп'ютерних засобів побудовані карти техногенних навантажень на ПША міста для кожного сценарію, за якими можна розрахувати рівні ризиків для населення, пов'язані з функціонуванням ТЕЦ-5 і ряду інших техногенних об'єктів.
3. Розроблена методика моделювання і графічної візуалізації екологічних ризиків для здоров'я, обумовлених забрудненням атмосфери, може бути



використана як універсальний інструмент підтримки управлінських рішень в області охорони навколишнього середовища і здоров'я населення на великих територіях, у тому числі – в нових районах розвитку промисловості та освоєння природних ресурсів.

4. Областю застосування комплексу є моніторинг навколишнього середовища. Система може ефективно застосовуватися в локальних системах моніторингу службами Мінприроди, екологічними службами промислових підприємств, а також для учбових цілей як моделююча система.

1. *Артемчук В.О.* Проектування та розробка комп'ютерної системи прогнозу техногенних навантажень на приземний шар атмосфери / *В.О. Артемчук, О.О. Попов* // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2010.

2. *Попов А.А.* Компьютерная система для прогнозирования опасных ситуаций от техногенных выбросов в атмосферу / *А.А. Попов* // Моделювання та інформаційні технології. Спец. випуск. – К. – 2010. – Т.3. – С. 48–55.

3. *Попов О.О.* Інформаційно-комп'ютерна прогнозна система визначення техногенних навантажень на приземний шар атмосфери за сценарієм „Середнє забруднення за період” / *О.О. Попов* // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К. – 2010.

4. *Попов О.О.* Математико-картографічне моделювання атмосферного забруднення в умовах штилю / *О.О. Попов* // Матеріали міжнародної наукової конференції „Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCS'2009)” (Євпаторія, 18-22 травня 2009 р.). – Херсон : ХНТУ, 2009. – Т.2. – С. 75–79.

5. *Попов О.О.* Математичне моделювання розповсюдження техногенного забруднення від підприємств паливної енергетики / *О.О. Попов* // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К. – 2009. – Вип. 51. – С. 73–84.

6. *Попов О.О.* Стохастична модель забруднення приземної атмосфери від підприємств паливної енергетики (на прикладі ТЕЦ) / *О.О. Попов* // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К. – 2009. – Вип. 53. – С. 10–21.

7. *Сердюцька Л.Ф.* До огляду моделей розповсюдження домішок в атмосфері міста / *Л.Ф. Сердюцька, О.О. Попов* // Моделювання та інформаційні технології. – К. – 2008. – Вип. 45. – С. 67–80.

8. *Яцишин А.В.* Комп'ютерна система для прогнозу стану атмосфери міста / *А.В.Яцишин, І.П.Каменева, О.О.Попов, В.О. Артемчук* // Організація управління в надзвичайних ситуаціях : Матеріали 11-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції, 30 вересня-1 жовтня 2009 р. – К. : ІДУЦЗ УЦЗУ, 2009. – С. 323–325.

9. *Яцишин А.В.* Комп'ютерні засоби прогнозування техногенних навантажень на атмосферу / *А.В. Яцишин, О.О. Попов, В.О. Артемчук* // Східно-Європейський журнал передових технологій, 2009. – № 5/2 (41). – С. 33–36.

*Поступила 15.09.2010р.*