

## КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ГІБРИДНОЇ ГІС МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРИ РЕГІОНАЛЬНОГО РІВНЯ

*Вперше створено концептуальну модель, що є інформаційною основою побудови гібридної ГІС моніторингу атмосфери регіонального рівня.*

### Вступ

Контроль якості атмосферного повітря сьогодні є однією з основних задач екологічного моніторингу. Останнім часом кількість викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря в окремих регіонах України є дуже значною. Тому безперервне спостереження за якістю атмосферного повітря є важливим заходом, що дозволяє вчасно реагувати на надзвичайні ситуації (наприклад, аварії на промислових підприємствах), здійснювати управління якістю атмосфери (наприклад, приймати рішення щодо місць розташування нових підприємств, які здійснюють викиди в атмосферне повітря), інформувати населення про стан повітря та ін. Крім того, управління якістю атмосферного повітря є одним з пріоритетних обов'язків України, прийнятих у рамках створення міжнародної європейської мережі спостережень EIONET [1].

Для здійснення контролю якості атмосферного повітря суб'єктами екологічного моніторингу (СЕМ) проводяться систематичні безперервні спостереження (вимірювання) концентрації основних забруднюючих речовин (ЗР) у приземному шарі атмосферного повітря та основних метеорологічних показників (МП). Вимірювання виконуються переважно вручну на стаціонарних постах моніторингу (СП) — невеличких спорудах, зі спеціальним устаткуванням для проведення відбору проб повітря. Кількість СП у межах крупного міста складає від 6 до 10, при цьому кожний СП дозволяє вимірювати 6–8 МП та відібрати проби для визначення концентрації 6–8 ЗР. Період спостережень складає від 4 до 6 годин.

Результати вимірювань вручну записуються в журналі спостережень, переводяться в електронну форму та щомісячно передаються у вищі відділи СЕМ, де зібрана інформація накопичується, аналізується, зберігається тощо. Надалі ця інформація використовується для розробки документації у разі отримання дозволів на викиди, а також для складання статистичних збірок, періодичних видань та буклетів для інформування населення. У разі виникнення екстремальних ситуацій спостереження на СП можуть виконуватися частіше.

Описаний підхід до збирання та розповсюдження даних про стан повітря сьогодні є морально застарілим. У вік розвитку інформаційних технологій сучасні системи моніторингу не можуть ґрунтуватися на ручному підході отримання та передачі даних. Тому сьогодні все більше країн переходить до впровадження автоматизованих засобів збирання, обробки та перетворення екологічної інформації. Основні рекомендації Європейської Екологічної Комісії (ЄЕК) ООН щодо впровадження автоматичних засобів моніторингу на державному та регіональному рівні [2, 3] передбачають використання автоматичних газоаналізаторів, метеостанцій з підтримкою відповідного програмного забезпечення, створення програмно-аналітичних та геоінформаційних систем (ГІС) для управління процесом спостережень і аналізу даних.

На Україні розвиток інформаційної інфраструктури екологічного моніторингу нового рівня, яка спроможна задовольнити всі вимоги ЄЕК ООН, знаходиться в початковому стані. Це пов'язано, в основному, з недостатністю фінансування та відсутністю державного рішення щодо перебудови існуючої системи моніторингу. Сьогодні автоматичні засоби моніторингу атмосфери впроваджені лише у Луганській та Запорізькій областях, а ГІС моніторингу атмосфери

регіонального рівня розробляється тільки в Донецькій області [4]. Все це створює передумови для подальшого розвитку подібних систем та впровадження їх на території інших областей України, а також підкреслює необхідність їх об'єднання в єдину систему державного рівня.

### Постановка задачі

*Основною задачею роботи* є створення концептуальної моделі гібридної ГІС моніторингу атмосфери регіонального рівня, що може стати основою для подальшої розробки такої системи в інших областях України.

Аналіз, проведений автором у роботах [5–8], показав, що гібридна ГІС моніторингу атмосфери регіонального рівня, окрім модулів прийому та зберігання просторових даних, має містити модулі для їх аналітичної обробки. Відповідно до рекомендацій ЄЕК ООН [3] аналітична обробка передбачає моделювання процесів розповсюдження забруднюючої речовини у просторі та часі, а також формування графіків та звітів державного зразка за запитом користувачів системи. Таким чином, концептуальна модель системи має також включати моделі програмно-аналітичних модулів, що дозволяють проводити моделювання розповсюдження домішок.

### Концептуальне представлення гібридної ГІС моніторингу атмосфери регіонального рівня

Існує досить велика кількість підходів, розглянутих у роботах [9–10], для формалізованого опису просторових даних та інформаційної складової ГІС, найвідомішим з яких є підхід, заснований на застосуванні теорії множин. Відповідно до цього підходу просторові об'єкти задаються у вигляді елементів множини (визначаються за допомогою фігурних дужок), математичні відносини між об'єктами представляються у вигляді операцій відносини множин (визначаються за допомогою символів  $\subset$ ,  $\in$ ,  $\exists$  та ін.), а інформаційна складова об'єкту — у вигляді блоку параметрів (визначається за допомогою квадратних дужок). При формалізації концептуальної моделі ГІС моніторингу в подальшому будуть використовуватися ці позначення.

Концептуальна модель ГІС моніторингу  $S$  описується так:

$$S = \{Pa, Ps, D^k, M, R\}, \quad (1)$$

де  $Pa = \{Pa^i\}$  — множина автоматизованих постів моніторингу (АП),  $i = \overline{1\dots 2}$ ;  $Ps = \{Ps^j\}$  — множина СП,  $j = \overline{1\dots 9}$ ;  $D^k$  — множина просторових даних, що використовується для формування мапи;  $M$  — множина математичних моделей системи, що дозволяють моделювати процес розповсюдження домішок;  $R$  — множина форм представлення результатів.

Елементи множини  $Pa^i, Ps^j, D^k$  утворюють вхідні дані моделі ГІС. Множина  $D^k$  містить опис просторових елементів карти — річок, міст, районів, вулиць, будівель та ін. Ця множина, в свою чергу, може бути розбита на декілька підмножин, кожна з яких являє собою окремий шар на мапі, проте, оскільки елементи цієї множини не використовуються для розрахунку значення концентрації, а необхідні тільки для візуалізації мапи в конкретній ГІС, то в цій роботі вони не розглядаються. Однак, чим більше параметр  $k$ , тим більше ступінь деталізації мапи.

Кожний пост моніторингу, як автоматизований  $Pa^i$ , так і стаціонарний  $Ps^j$ , характеризується географічними координатами та інформаційною складовою. Формалізований опис автоматизованого поста моніторингу в моделі ГІС задається у вигляді (2):

$$Pa^i \subset (x^i \leftarrow \phi^i, y^i \leftarrow \lambda^i);$$

$$Pa^i = [Name^i, Adress^i, Number^i, Type^i, Height^i, Frequency^i], \quad (2)$$

де  $\phi^i, \lambda^i$  — географічні координати  $i$ -го АП;  $x^i, y^i$  — декартові координати  $i$ -го АП;  $Name^i, Adress^i, Number^i, Type^i, Height^i, Frequency^i$  — назва, адреса, номер, тип, висота над рівнем

моря, частота збору даних для  $i$ -го АП; символ « $\leftarrow$ » визначає функціональну залежність елементів множини; круглі дужки визначають вибірку.

Враховуючи, що в моделях розповсюдження забруднюючих речовин у деяких випадках просторові дані повинні бути представлені у декартових координатах відносно початкової точки  $Q$ , концептуальна модель повинна має координати постів моніторингу у двох представленнях. Для переведення координат із географічного представлення в декартове використовується модифікована формула хаверсінусів [11], яка подана співвідношеннями:

$$\begin{aligned} x^i &= D(\phi^i, \phi_0, \lambda_0, \lambda_0); \\ y^i &= D(\phi_0, \phi_0, \lambda^i, \lambda_0); \\ D(\phi_1, \phi_2, \lambda_1, \lambda_2) &= R^* \Delta\delta; \\ \Delta\delta &= \arctg \left( \frac{\sqrt{(\cos \phi_2 \sin \Delta\lambda)^2 + (\cos \phi_1 \sin \phi_2 - \cos \phi_2 \sin \phi_1 \cos \Delta\lambda)^2}}{\sin \phi_1 \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \cos \Delta\lambda} \right), \end{aligned} \tag{3}$$

де  $\phi_0, \lambda_0$  — географічні координати початкової точки  $Q$ .

Початкова точка  $Q$  обирається за межами досліджуваної території так, щоб виконувалися такі умови:

$$\begin{aligned} \phi_0 &< Pa^i(\phi^i), Ps^j(\phi^j); \\ \lambda_0 &< Pa^i(\lambda^i), Ps^j(\lambda^j). \end{aligned}$$

Аналогічно задається і формальний опис для СП  $Ps^j$ .

Множина параметрів, що спостерігаються на постах моніторингу,

$$Z = A \cup C, \tag{4}$$

де  $A$  — множина метеорологічних параметрів, що спостерігаються на постах,  $A = \{A^k\}$ ;

$C$  — множина забруднюючих речовин, що спостерігаються на постах,  $C = \{C^l\}$ .

Оскільки параметри, представлені множинами  $A, C$ , мають тільки інформаційну складову, то їх формалізований опис

$$\begin{aligned} A^k &= [Name^k, Unit^k]; \\ C^l &= [Name^l, Number^l, Unit^l, PDK_{mr}^l, PDK_{ss}^l, Class^l], \end{aligned} \tag{5}$$

де  $Name^k, Unit^k$  — назва, одиниця виміру метеорологічного показника;  $Name^l, Unit^l, Number^l, PDK_{mr}^l, PDK_{ss}^l, Class^l$  — назва, одиниця виміру, код АСОІЗА [12], ГДК максимально-разове, ГДК середньодобове, клас небезпеки забруднюючої речовини;  $k$  — кількість контрольованих метеорологічних показників,  $k = \overline{1..8}$ ;  $l$  — кількість контрольованих забруднюючих речовин,  $l = \overline{1..9}$ .

З урахуванням (2) та (4) узагальнена модель даних ГІС може задаватися відповідно до формули

$$\begin{aligned} Data^u &= (Pa^i \cup Ps^j, Z, T), \quad u = \overline{1..Data^M}; \\ Data &= \{Data^u\}, \end{aligned} \tag{6}$$

де  $T$  — множина тимчасових відміток спостережень;  $Data^M$  — загальне число спостережень.

У моделюванні процесів розповсюдження забруднюючих речовин у атмосферному повітрі

виділяють два типи моделей. Перший тип моделей використовується для моделювання розповсюдження домішок в околі поста моніторингу у часі з метою прогнозу (нестационарна задача). Для цього в якості вихідних даних використовуються часовий ряд спостережень на посту. Другий тип моделей дозволяє відновлювати поле концентрації речовини для всієї території досліджуваного об'єкта (стаціонарна задача). У цьому випадку у якості вхідних даних виступають спостереження на всіх постах за наперед заданий проміжок часу. Таким чином, множину математичних моделей можна подати у вигляді

$$M = \{M^1, M^2\}, \tag{7}$$

де  $M^1$  — множина моделей першого типу;  $M^2$  — множина моделей другого типу.

У роботах автора [6, 7] наведено дві моделі першого типу, що можуть використовуватися для прогнозу концентрації забруднюючої речовини в околі поста моніторингу. Особливість цих моделей полягає в тому, що вхідними даними в них є дані спостережень на постах, а не інформація про джерела викидів, визначити яку неможливо, оскільки кількість джерел для промислового міста є дуже значною. Порівняльний аналіз цих моделей дає змогу виділити їх концептуальну форму

$$\begin{aligned} M^1 &= \{Ek, Data, Rm\}; \\ Ek &= \{Ek^q\}, \quad q = \overline{1 \dots (i+j) \cdot l}; \\ Ek^q &\leftarrow \{Data^u\}; \\ Rm &\leftarrow (\{Ek^q\}, \{Data^u\}), \end{aligned} \tag{8}$$

де  $Ek$  — множина емпіричних коефіцієнтів, розраховуються за даними ГІС відповідно до математичними залежностями моделі на етапі ініціалізації;  $Rm$  — результат прогнозу.

Моделі другого типу, одну з яких наведено у роботі автора [8], зазвичай, також використовують множину емпіричних коефіцієнтів, дані спостережень, а також просторові дані постів моніторингу. До того ж, у деяких моделях додаються додаткові точки  $G$ , що лежать на межі досліджуваної території. Враховуючи це, можна позначити концептуальне уявлення моделі другого типу у такому вигляді:

$$M^2 = \{\beta_\varepsilon, Pa \cup Ps \cup G, Data, Rp\}, \tag{9}$$

де  $G$  — множина точок, що лежать на межі досліджуваної території.

Кожна додаткова точка, як і пост моніторингу, являє собою пару координат без інформаційної складової. Таким чином, множина точок  $G$  може бути подана

$$\begin{aligned} G &= \{G^m\}, \quad m = \overline{1 \dots 9}; \\ G^m &\subset (x^m \leftarrow \phi^m, y^m \leftarrow \lambda^m). \end{aligned} \tag{10}$$

Множина емпіричних коефіцієнтів у моделях, зазвичай, визначається у залежності від математичного розкриття моделі. У роботі [8] емпіричні коефіцієнти  $\beta_\varepsilon$  визначаються для всіх комбінацій пар постів моніторингу та забруднюючих речовин, тобто:

$$\begin{aligned} \beta_\varepsilon &= \{\beta_\varepsilon^q\}, \quad q = \overline{1 \dots (i+j) \cdot l}; \\ \beta_\varepsilon^q &\leftarrow \{Data^u, Pa^i \cup Ps^j\}. \end{aligned} \tag{11}$$

Для відновлення концентрації забруднюючої речовини в довільній точці використовують як емпіричні коефіцієнти  $\beta_\varepsilon$ , так і дані спостережень:

$$C_{x,y} \leftarrow (\{\beta_\varepsilon\}, \{Data^u\}). \tag{12}$$

Множина форм подання результатів, позначена в (1), є множиною результуючих документів, які здатна генерувати система. В цю множину входять як мапи з нанесеними на них полями забруднень, так і узагальнюючі таблиці, звіти, графіки прогнозу, а також дані про забруднення атмосфери та метеорологічні показники.

### Висновки

Вперше запропонована концептуальна модель ГІС моніторингу атмосфери регіонального рівня, що описує загальну структуру системи відповідно до загальноприйнятого підходу, заснованому на використанні теорії множин. Ця модель ніяк не пов'язана з конкретною ГІС, тому може бути використана для подальшого проектування ГІС моніторингу атмосфери регіонального рівня, яке полягає у відображенні залежностей (1)–(12) на конкретну ГІС.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. European Environment Information and Observation Network — Eionet [Electronic source]. — Access mode: <http://www.eionet.europa.eu>.
2. Участие новых независимых государств (ННГ) и некоторых других стран переходного периода в международных сетях мониторинга и оценки загрязнения воздуха [Текст] : СЕР/АС.10/2002/6. — ЕЭК ООН. — 2 января 2002. — 12 с.
3. Рекомендации по совершенствованию национальных систем мониторинга и информации по окружающей среде для стран ВЕКЦА [Текст] : ЕСЕ/СЕР/109. — 5 конф. министров. — Киев, Украина. — 21—23 мая, 2003. — 6 с.
4. ОМОС 2.0: Автоматизована система моніторингу довкілля Донецької області [Електронний ресурс] / Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Донецькій області, 2008—2009. — Режим доступу : <http://omos.org.ua/>.
5. Павлій В. А. Построение информационной модели расчета распространения примеси в приземном слое атмосферы над территориально-распределенными объектами [Текст] : научн. журн. / Виталий Александрович Павлій // Наук. праці Донецького Національного технічного університету / за ред. Є. О. Башкова. — Сер. «Системний аналіз та інформаційні технології у науках про природу та суспільство». — (САІТ-2011). — Вип. 1 (133) — Донецьк : ДонНТУ, 2011. — С. 71—81.
6. Павлій В. А. Термодинамические модели загрязнения атмосферы вредными газами [Текст] : научн. журнал / В. А. Павлій, Г. В. Аверин // Вісник Донецького університету / гол. ред. В. П. Шевченко]. — Сер. А : Природничі науки. — 2007. — № 1. — С. 302—308.
7. Павлій В. А. К вопросу моделирования неравновесных процессов при загрязнении атмосферного воздуха [Текст] : научн. журнал / В. А. Павлій, О. В. Дейкун // Вісник Донецького університету / гол. ред. В. П. Шевченко. — Сер. А : Природничі науки. — 2009. — № 2. — С. 317—324.
8. Павлій В. А. Алгоритмы моделирования полей загрязнения атмосферы по экспериментальным данным [Текст] : научн. журнал / В. А. Павлій, Г. В. Аверин // Вісник Донецького університету / гол. ред. В. П. Шевченко. — Сер. А : Природничі науки. — 2007. — № 2. — С. 338—346.
9. Мокін В. Б. Інформаційна технологія інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод [Текст] : моногр. / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, М. П. Боцула. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 152 с. — ISBN 978-966-641-394-2.
10. Демерс Майкл Н. Географические информационные системы [Текст] / Michael N. DeMers ; пер. с англ. В. Андрианова. — М. : Data+, 1999. — 490 с. — ISBN 0-471-14284-0.
11. Вычисление расстояния и начального азимута между двумя точками на сфере [Электронный ресурс] / материалы сайта GisLab : Географические информационные системы и дистанционное зондирование, 2002—2009. — Режим доступа : <http://gis-lab.info/qa/great-circles.html>.
12. Руководство по контролю загрязнения атмосферы [Текст] : РД 52.04.186-89 ; утв. зам. пред. Госкомгидромета СССР Ю. С. Цатуровым 01.06.1989 и Главным гос. сан. врачом СССР А. И. Кондрусевым 16.05.1989 ; введ. в действие с 01.07.1991. — М. : Госкомгидромет СССР. — 693 с.

Рекомендована кафедрою моделювання і моніторингу складних систем

Стаття надійшла до редакції 17.09.12  
Рекомендована до друку 20.04.12

**Павлій Віталій Олександрович** — асистент кафедри комп'ютерних систем моніторингу,  
Донецький національний технічний університет, Донецьк