

УДК 681.51

**В. Б. Мокін**, д. т. н., проф.,  
**Є. М. Крижановський**, асп.

## **НОВИЙ МЕТОД СИНТЕЗУ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИРОДНИХ СИСТЕМ ЗА МАТЕМАТИЧНИМИ МОДЕЛЯМИ ПРОЦЕСІВ У НИХ**

*Розроблено теоретичні та алгоритмічні основи нового методу синтезу геоінформаційних моделей природних систем за математичними моделями процесів у них. Зроблено постановку всіх варіантів задач, які можливі при цьому. Розроблено алгоритми розв'язання цих задач, в залежності від різних варіантів повноти вхідних даних. Сформульовано основні вимоги та алгоритмічні особливості створення спеціального програмного забезпечення для автоматизованого проектування СУБД за математичною моделлю.*

### **Постановка задачі**

Загальновідомо, що сучасний рівень досягнень теорії математичного моделювання, математичної фізики та теорії автоматичного управління стосовно реальних природних систем є таким значним, що дає можливість моделювати та прогнозувати практично будь-які процеси в них. У той же час, світовий та вітчизняний досвід довів, що найкращим способом представлення вхідних даних та виведення результатів моделювання стану природних систем є використання реляційних баз даних (БД) та геоінформаційних систем (ГІС). Таким чином, склалась така ситуація, що велика кількість вхідної для моделювання інформації розміщена в реляційних базах даних, відомості про просторове розташування об'єктів — в геоінформаційних системах, а математичні моделі та алгоритми традиційно реалізуються у спеціальному програмному забезпеченні, яке взаємодіє і з ГІС, і з реляційними БД.

На жаль, лише досить мала кількість математичних моделей інтегрується і з ГІС та БД, у той же час, більшість ГІС та БД виконують лише функцію накопичення та візуалізації даних без будь-якої їх обробки, а математичні можливості реалізуються шляхом розробки додаткових програмних модулів. Такий підхід до забезпечення геоінформаційних систем математичними можливостями вимагає залучення до розробки фахівців багатьох напрямків: фахівців з моніторингу довкілля, спеціалістів з програмування в середовищах ГІС та спеціалістів з математики чи математичного моделювання. А це, зрозуміло, суттєво ускладнює проведення наукових досліджень та розробку відповідного забезпечення. Отже, актуальною є задача розробки теоретичних основ методу автоматизованого синтезу ГІС природних систем за математичними моделями процесів у них та автоматизованої ідентифікації параметрів і структури математичних моделей за геоінформаційним шляхом інтеграції математичного апарату з моделями даних геоінформаційних систем.

Для розв'язання поставленої задачі необхідно, спочатку, розробити єдині підходи до формалізації екологічних даних, з якими працюють математичні моделі, геоінформаційні системи та реляційні бази даних.

### **Систематизація та формалізація даних, які використовують різні види моделей**

Проведемо систематизацію та формалізацію основних складових, величин та змінних математичних моделей процесів, геоінформаційних моделей (ГІС-моделей) систем та реляційних моделей баз даних.

1. Математична модель. Пропонується така класифікація величин та змінних типової математичної моделі з точки зору їх призначення:

- 1) вхідні змінні  $U$  — змінні, що задаються для проведення обчислень;
- 2) вихідні змінні  $Y$  — змінні, що є результатом обчислення;
- 3) змінні стану  $X$  — змінні, що є результатом обчислення на проміжній стадії розрахунку;
- 4) числові параметри  $K$  — параметри, що задаються або обчислюються під час ідентифікації параметрів моделі.

Звичайно, якщо розглядати усе розмаїття математичних моделей та загальноприйняті назви їх величин та змінних, тоді класифікація значно ускладниться. Наприклад, змінні стану можуть бути і вихідними змінними, константи можуть змінювати свої значення, в залежності від значення інших констант чи змінних (наприклад, від значення температури чи атмосферного тиску), параметри можуть бути змінними (залежати від часу  $t$ ) чи розподіленими у просторі (залежати від просторових координат). Іноді ще виділяється «збурення», яке має іншу природу, ніж вхідні змінні, та ін. Однак, в першому наближенні, такі ускладнення поки що не будемо брати до уваги. Покажемо, як вищевказані види величин та змінних типової математичної моделі взаємодіють із даними ГС та СУБД:

1) вхідні змінні  $U$  — їх значення зчитуються із БД (позначимо множину таблиць БД, які можуть зберігати дані, як  $D$ ) та ГС (позначимо множину таблиць та карт ГС як  $G$ ):

$$U \leftarrow D \cup G; \quad (1)$$

2) вихідні змінні  $Y$  — їх значення виводяться на карті ГС або на екрані (позначимо множину інформації на екрані комп'ютера як  $E$ ) у вигляді таблиці, графіка тощо:

$$Y \rightarrow G \cup E; \quad (2)$$

3) змінні стану  $X$  — їх значення тимчасово зберігаються в базах СУБД без виведення на карті ГС або на екрані:

$$X \rightarrow D; \quad (3)$$

4) числові параметри  $K$  — можуть змінюватись під час роботи з моделлю і зберігаються у спеціальних таблицях у базі даних:

$$K \leftarrow D. \quad (4)$$

Загалом, модель взаємодії даних ГС, СУБД та математичної моделі можна записати у вигляді:

$$U \leftarrow D \cup G; \quad K \leftarrow D; \quad X \rightarrow D; \quad Y \rightarrow G \cup E. \quad (5)$$

Пропонуємо розрізнити два таких варіанти застосування математичної моделі:

1) моделювання — коли всі параметри та структура моделі ( $K$ ) відомі і слід лише провести за нею обчислення (знайти  $X$  та  $Y$ ) — модель взаємодії у вигляді (5);

2) ідентифікація — коли відомо, які результати  $Y$  повинна давати модель за певних входів  $U$ , а треба знайти значення її параметрів та структури ( $X$  та  $K$ ) — модель взаємодії у вигляді:

$$U, Y \leftarrow D \cup G; \quad X \rightarrow D; \quad K \rightarrow E. \quad (6)$$

## 2. Модель реляційної БД.

Під моделлю бази даних розуміють способи відображення зв'язків між її даними на логічному рівні [1]. Розрізняють такі види моделей [1]: реляційну, ієрархічну, мережну і концептуальну. Найпоширенішою є модель реляційної бази даних.

Реляційні БД дозволяють зберігати інформацію у двовимірних таблицях, зв'язаних між собою за допомогою полів даних, так званих «ключів» [1]. Ключ (індекс) — унікальне ім'я запису, котрим може бути як елемент якого-небудь атрибута в записі — простий ключ, так і сукупність елементів декількох атрибутів — складений ключ. За допомогою ключа проводиться ідентифікація кожного конкретного запису, а також впорядкування записів у файлі. Зв'язки дозволяють здійснити групування записів у множині, а також показати взаємини між цими множинами [1].

Для формування реляційної моделі даних використовують правила нормалізації. Нормалізація — це розбиття таблиці бази даних на дві або більше, які характеризуються кращими властивостями при доповненні, зміні і видаленні даних. Нормалізована БД, в кінцевому випадку, не містить надлишкових даних. Кінцевою метою нормалізації є не стільки економія пам'яті, скільки виключення суперечності даних [1].

Є багато підходів щодо формалізованого опису моделей баз даних, наприклад, роботи [1—3]. Зокрема, в роботі [1] запропоновано робити опис у такому вигляді:

$$O = [\text{CodeO}, \text{Par01}, \text{Par02}, \dots], \quad (7)$$

де  $\text{CodeO}$  — унікальний код об'єкта  $O$  в базі даних (ключове поле для встановлення інформаційних відношень з іншими моделями);  $\text{Par01}$ ,  $\text{Par02}$  — назви параметрів об'єкта  $O$ .

Опис моделі бази даних об'єкта  $O_1$ , який є підоб'єктом об'єкта  $O$ , буде мати вигляд:

$$O_1 = [\text{CodeO}_1, \text{CodeO}, \text{Par11}, \text{Par12}, \dots], \quad (8)$$

де CodeO<sub>1</sub> — унікальний код об'єкта O<sub>1</sub> в базі даних (ключове поле для встановлення інформаційних відношень з іншими моделями, зокрема з моделлю (7) об'єкта O); Par11, Par12 — назви параметрів об'єкта O<sub>1</sub>.

Наведемо приклад моделі бази даних — модель бази даних системи моніторингу якості води річок певного регіону. Модель такої бази даних містить такі 4 ключові класи понять:

- Річка (R) — природний водотік, де проводяться спостереження якості води;
- Створ (S) — місце на річці R, де відбираються проби води;
- Показник якості води (F), значення (C) якого спостерігаються.

Модель такої бази даних пропонується у вигляді:

$$R = [\text{CodeR}, \text{NameR}, \text{ParR1}, \text{ParR2}, \dots]; \tag{9}$$

$$S = [\text{CodeS}, \text{CodeR}, \text{NameS}, \text{ParS1}, \text{ParS2}, \dots]; \tag{10}$$

$$F = [\text{CodeF}, \text{NameF}, \text{UnitF}, \text{TypeF}]; \tag{11}$$

$$C = [\text{CodeS}, \text{CodeF}, \text{DateC}, \text{ValueF}], \tag{12}$$

де для кожного об'єкту умовно X: CodeX — його унікальний код в базі даних; NameX — власна назва; ParX1, ParX2, ... — інші параметри об'єкта; UnitF — розмірність показника якості води; TypeF — тип показника якості води (гідрофізичний, гідрохімічний, гідробактеріологічний тощо); DateC — дата спостереження якості води за показником CodeF у створі під номером CodeS; ValueF — значення показника якості води.

Модель (9)–(12) побудована на основі таких положень:

1) усі створи знаходяться на річках, через це, кожному номеру створу CodeS повинен відповідати номер річки CodeR;

2) контроль якості води у створах з номерами CodeS можливий тільки за показниками F, тобто для кожного значення ValueF завжди має бути відомий його код CodeF.

Інший, складніший, приклад моделі бази даних типової регіональної системи державного моніторингу поверхневих вод наведений у роботі [1].

Проведемо аналогію між типами даних математичних моделей і моделей баз даних (табл. 1).

Таблиця 1

Аналоги типів даних в математичних моделях і моделях баз даних

В математичних моделях	В моделях баз даних
Значення параметра $x$	Таблиця з 1 полем та 1 записом (рис. 1а)
Вектор-рядок значень $m$ параметрів, наприклад, вектор $K$ параметрів моделі	Таблиця з $m$ полями та 1 записом (рис. 1б)
Вектор-стовпець значень одного параметра, наприклад, дискретні значення показника $X[m]$ , виміряні з однаковим інтервалом у моменти часу $m = 1, 2, \dots$	Таблиця з 1 полем та $m$ записами (рис. 2а)
Матриця $[m \times n]$ ; значення показника $X(t, z)$ в точках річки з координатами $z$ у різні моменти часу $t$	Таблиця з $n$ полями та $m$ записами (рис. 2б)

Таблиця 1 охоплює усі можливі види співвідношень між математичними моделями даних і варіантами структур таблиць баз даних. Отже, інші види математичних понять повинні зводитись саме до них.

$x$
5

а)

$\alpha$	$\beta$	$v$	$\delta$	$L$
2	0,1	0,6	0,002	230

б)

Рис. 1. Приклади таблиць баз даних, які відповідають таким поняттям в математиці як: а) значення параметра  $x$ , б) вектор  $K$  параметрів моделі

$X[m]$
2,3
4,7
6,9

а)

$X(t, 0)$	$X(t, 1)$	$X(t, 2)$	$X(t, 3)$	$t$
2,1	3,3	4,5	5,3	01.06.0 6
9,6	8,2	7,6	6,5	01.09.0 6
1,2	3,8	5,4	7,7	01.12.0 6

б)

Рис. 2. Приклади таблиць баз даних, які відповідають таким поняттям в математиці як:  
 а) вектор-стовпець значень, наприклад, дискретні значення показника, виміряні з однаковим інтервалом;  
 б) матриця значень двовимірної функції

### 3. Геоінформаційна модель (ГІС-модель).

Як і до запису моделей баз даних, є багато підходів до запису ГІС-моделей.

Традиційно зосереджуються на описі окремо інформаційної (значення характеристик об'єктів) та окремо просторової (координати об'єктів) складових ГІС-моделей [1, 4, 5].


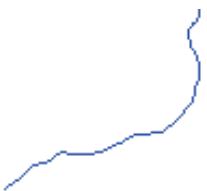

Під час проектування інформаційної складової ГІС-моделі об'єктів спочатку слід визначитися з типом їх відображення — вони проектуються у вигляді точкових, лінійних чи площинних? Щоб відповісти на це питання, слід чітко знати, що саме описують математичні моделі, наприклад, це може бути концентрація  $C(t, x, y)$  хлоридів у колодязі, річці чи водосховищі, яка змінюється у часі  $t$  та просторі вздовж, наприклад, двох координат  $x$  та  $y$ , чи інший варіант.

Проведемо аналогію між способами подання даних у математичних та геоінформаційних моделях (табл. 2).

Усі види ГІС-моделей просторових об'єктів зводяться до точкової, лінійної та площинної моделей (до так званих «примітивів») [5]. Відповідно, слід і в математичних моделях робити такі перетворення, щоб функції зводились до наведених у табл. 2.

Таблиця 2

**Аналоги способів подання даних в математичних та геоінформаційних моделях**

В математичних моделях	В ГІС-моделях
Характеристики об'єкта не змінюються або змінюються тільки в часі $t$ , наприклад, концентрація хлоридів $C(t)$ на пості спостереження якості води	Точковий об'єкт: 
Характеристики об'єкта змінюються в часі та по одній просторовій координаті, наприклад, концентрація хлоридів $C(t, x)$ у фарватері річки вздовж її течії	Лінійний об'єкт: 
Характеристики об'єкта змінюються в часі та по двох просторових координатах, наприклад, розподіл концентрації хлоридів $C(t, x, y)$ у фарватері річки вздовж її течії та по глибині, або вздовж течії і по ширині, або на поверхні водосховища	Площинний об'єкт: 

Ключовим моментом проектування просторової складової ГІС-моделі є правильне визначення та формалізація топології об'єктів ГІС. Під топологією маються на увазі відношення типу:

– «об'єкт  $O_1$  є підоб'єктом об'єкта  $O$ », наприклад, річка є підоб'єктом річкової мережі чи системи;

— «об'єкт  $O_2$  належить об'єкту  $O$ », наприклад, точковий об'єкт «пост спостережень якості води» належить об'єкту «річка» або «водосховище»;

— «Т-подібний перетин об'єктів  $O_3$  і  $O_4$ » — у такий спосіб одна річка впадає в іншу і т. д.

Наприклад, у роботі [1] запропоновано такий формалізований опис топології ГІС-моделей:

$$O_1 \subset (X_1, Y_1), O_2 \subset (X_2, Y_2), \exists(x_2, y_2) \in (X_2, Y_2): (x_2, y_2) \in (X_1, Y_1), \quad (13)$$

що слід розуміти так: об'єкт  $O_1$ , координати точок якого належать множині  $(X_1, Y_1)$ , та об'єкт  $O_2$ , координати точок якого належать множині  $(X_2, Y_2)$ , вступають у відношення типу «є спільні точки», тобто існують (« $\exists$ ») такі пари координат  $(x_2, y_2)$  із множини  $(X_2, Y_2)$  належать і множині  $(X_1, Y_1)$ .

Варіант «підоб'єкт», коли усі точки об'єкта  $O_3$  належать точкам об'єкта  $O_2$ , можна описати таким чином:

$$O_3 \subset (X_3, Y_3), O_2 \subset (X_2, Y_2): (X_3, Y_3) \in (X_2, Y_2). \quad (14)$$

Зазначені у (13) та (14) пари координат точок можуть бути і декартовими (абсциса та ордината), і полярними (довжина та кут), і геодезичними (широта та довгота) — це не принципово.

У роботі [1] наведено ГІС-моделі для багатьох екологічних об'єктів, у тому числі моделі (9)–(12).

Дотримування вимог щодо збереження коректності топології об'єктів забезпечує належне функціонування ГІС. ГІС з помилковою топологією (притоки річки не мають спільних точок з основною річкою, пости спостережень якості води не знаходяться на водних об'єктах тощо) буде працювати неправильно, а деякі програмні інструменти автоматизованої обробки геоінформаційних даних взагалі не будуть працювати.

Визначення топології об'єктів слід робити вже під час формалізації вхідних даних математичної моделі. Саме тоді слід визначити ключові фізичні об'єкти та їх топологічні співвідношення.

### Розв'язання задачі

Застосовуючи теоретичні положення методу, слід враховувати різні варіанти повноти вхідних даних для моделювання даних. У таблиці 3 наведено усі 4 можливі варіанти.

Пропонуємо розв'язувати задачу автоматизації обміну даними між моделями різного типу в декілька етапів:

1. Провести аналогію між поняттями і типами даних в математиці та ГІС-технологіях і теорії реляційних баз даних.

2. За наявності бази даних та/або ГІС — формалізувати процеси зчитування інформації із бази даних та ГІС для проведення розрахунків за математичною моделлю та занесення результатів обчислень в ці системи для збереження і візуалізації.

3. За відсутності бази даних та/або ГІС — розробити уніфікований алгоритм послідовного перетворення математичної моделі до певного вигляду, який дозволяє одразу спроектувати відповідні моделі реляційної бази даних та геоінформаційної системи.

4. Створити програмне забезпечення, яке дозволить автоматизувати процес застосування цього методу.

Основна ідея, на якій будується алгоритм запропонованого методу, полягає в тому, що формується множина перехідних понять, моделей та методів, які є загальноприйнятими у класичній математиці, і для яких можна знайти аналоги в теорії баз даних та ГІС-технологій, а типові поняття, моделі та методи математики, теорії баз даних та ГІС-технологій приводяться до перехідних. Відповідно, застосування методу обмежується тільки тими математичними моделями, які коректно можуть бути зведені до перехідних моделей.

**Варіанти постановки задач автоматизованого синтезу моделей різного типу,  
в залежності від ідентифікованості структури та параметрів цих моделей**

№ п/п	Ідентифіковані структура та введені дані або ідентифіковані параметри			Постановка задачі
	Карти ГІС	Бази даних (БД)	Математичної моделі (ММ)	
1	+	+	-	Ідентифікація параметрів та структури математичної моделі за даними ГІС та БД
2	-	+	+	Ідентифікація структури (класифікатора) карти ГІС, яка відповідає структурі БД та ММ, та створення цієї карти
3	+	-	+	Ідентифікація структури бази даних, яка відповідає даним ММ та об'єктам ГІС, та її наповнення даними
4	-	-	+	Ідентифікація структури та створення бази даних і карти ГІС, які відповідають ММ

Розробимо теоретичний апарат формування перехідних моделей та їх відповідності типовим в математиці, теорії баз даних та ГІС-технологіях.

**Формалізація процесу зчитування інформації із бази даних та ГІС для  
проведення розрахунків за математичною моделлю**

Основними операторами, які організують обмін інформацією з базами даних, є такі [5]:

— вибір значень полів (Par1, Par2, ... Par $r$ ) з таблиці T, які відповідають заданим критеріям відбору  $\Omega$ :

$$\text{SELECT Par1, Par2, ... Par}r \text{ FROM T WHERE } \Omega; \quad (15)$$

— занесення значень  $X_1, X_2, \dots, X_r$  заданих полів (Par1, Par2, ... Par $r$ ) у таблицю T:

$$\text{INSERT INTO T(Par1, Par2, ... Par}r \text{) VALUES } X_1, X_2, \dots, X_r. \quad (16)$$

Важливо зазначити, що результатом операції SELECT є нова таблиця T1 з полями Par1, Par2, ... Par $r$ , назви яких вказані між словами «SELECT» і «FROM» у (15).

Пропонуємо здійснити формалізацію цих операцій за аналогією із математичними функціями:

— для (15):

$$T_1 = \text{Select}(T, \text{Par1, Par2, ... Par}r, \Omega); \quad (17)$$

— для (16):

$$T = \text{Insert}(\text{Par1, Par2, ... Par}r; X_1, X_2, \dots, X_r). \quad (18)$$

Відповідно до аналогій табл. 1, моделі (17), (18) можна записати в такому вигляді:

$$M_{T_1} = \text{Select}(T, P, \Omega); \quad (19)$$

$$V_T = \text{Insert}(P, X); \quad (20)$$

$$P = [\text{Par1, Par2, ... Par}r], \quad X = [X_1, X_2, \dots, X_r], \quad (21)$$

де  $M_{T_1}$  — матриця розмірності  $[n \times r]$  ( $n$  — кількість записів, які задовольняють множині критеріїв відбору  $\Omega$ );  $V_T$  — вектор-рядок значень розмірності  $r$ ;  $P$  та  $X$  — вектор-рядок назв та значень, відповідно, параметрів (полів таблиці T) розмірності  $r$ .

Наприклад, для зчитування значення довжини  $L$  річки № 1 з таблиці T паспортних даних річок необхідно задіяти таку функцію:  $L = \text{Select}(T, L, I = 1)$ , що мовою SQL виглядає так:

SELECT L FROM T WHERE I = 1.

Відповідна таблиця T повинна виглядати наприклад так, як наведено на рис. 3:

I	L
1	11
	5
2	14

Рис. 3. Вигляд таблиці бази даних, яка містить довжини річок в км

А, наприклад, для збереження значення довжини  $L$  річки

№ 1 у таблиці T паспортних даних річок необхідно задіяти таку функцію:

$$T = \text{Insert}(P, X), \quad P = \begin{pmatrix} I \\ L \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} 1 \\ 115 \end{pmatrix},$$

що мовою SQL виглядає так: INSERT INTO T(I,L) VALUES 1,115.

### Способи візуалізації (виведення) результатів моделювання

Поєднання можливостей трьох технологій (комп'ютерних програм, які проводять обчислення за математичними моделями, СУБД та ГІС-технологій) відкриває широкі можливості для візуалізації результатів моделювання. Стандартні комп'ютерні програми для проведення математичних обчислень, як правило, виводять результати у вигляді таблиць та графіків. Системи управління базами даних дозволяють автоматично формувати досконаліші звіти у форматах MS Word та MS Excel. Геоінформаційні системи дозволяють будувати тематичні карти та діаграми різної складності. На рис. 4, 5 показано приклади візуалізації просторово-розподілених даних у певній місцевості чи в межах об'єкта, в залежності від кількості просторових координат.

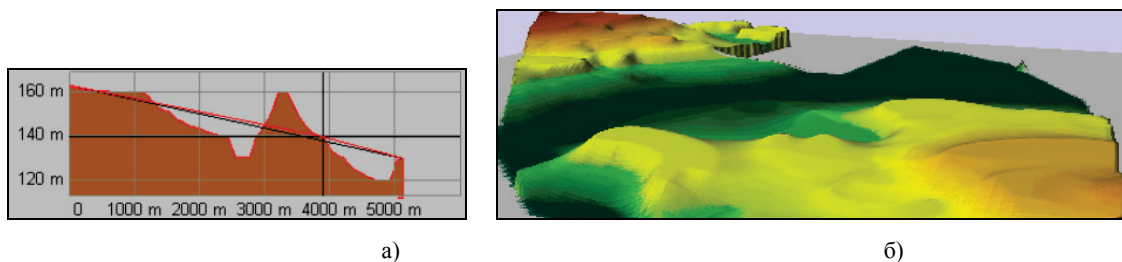


Рис. 4. Графіки розподілу значень, що автоматично будуються в ГІС: а) значення, що міняються вздовж лінійного об'єкта; б) розподіл значень на площині [6]

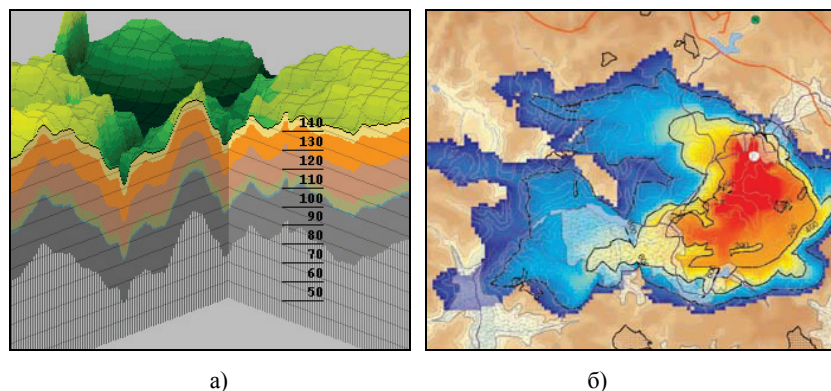


Рис. 5. Графіки розподілу значень, що будуються засобами ГІС-інструментарію: а) фактично, 4-вимірний просторовий графік (тривимірні графіки на різній глибині) [6]; б) зміна двовимірного поля значень (зона лісової пожежі) з часом [7]

### Алгоритм застосування методу

Таким чином, для синтезу системи «ГІС+БД» за заданою математичною моделлю повинно виконуватись таке:

1. Перетворення математичної моделі та її величини до форм, показаних у табл. 1.
2. Виділення ключових фізичних об'єктів, з якими працює модель, та визначення і формалізація відношень між ними.
3. Проектування бази даних, відповідно до сформованих моделей.
4. Визначення розмірності просторової розподіленості та зміни в часі параметрів ключових фізичних об'єктів та відповідне налагодження класифікатора ГІС відповідно табл. 2.
5. Формалізація процесу обміну даними між математичною моделлю та БД через оператори Select та Insert.
6. Налгодження процесу візуалізації результатів обчислень, тобто, їх виведення на екран та на друк засобами ГІС-технологій.

## 7. Відпрацювання створеної системи на прикладах.

У відповідності до поставленої вище задачі, процес створення ГІС чи СУБД повинен бути автоматизований і запрограмований так, щоб будь-який користувач лише вводив з клавіатури необхідні дані та відповідав на конкретні питання.

Етап автоматизованого створення СУБД передбачає такі кроки:

- 1) синтезується реляційна модель бази даних (які потрібні таблиці, їх поля, типи полів, визначаються поля, які зв'язані з іншими, і т. д.);
- 2) мовою VBA створюється база даних відповідно її моделі;
- 3) аналогічно створюються форми для зручного введення користувачем усіх необхідних даних.

Етап автоматизованого створення ГІС полягає в реалізації таких кроків:

- 1) синтезується геоінформаційна модель системи у вигляді UML-моделі (які повинні бути шаблони, об'єкти, їх просторові типи, топологія і т.д.);
- 2) засобами об'єктно-орієнтованого програмування (Delphi, Visual C++ та ін.) формується класифікатор карти відповідно вибраній ГІС-моделі;
- 3) якщо немає ніяких даних про просторове розташування об'єктів (набори координат від GPS-приймачів, дані геодезичного знімання тощо), користувачу пропонується самостійно створити карту; для цього запускаються необхідні демонстраційні відеоролики, які показують що слід натиснути, щоб нарисувати необхідні об'єкти; якщо усі координати об'єктів є — вони автоматично створюються засобами векторизації.

Для роботи з математичною моделлю створюється спеціальне програмне забезпечення та редактор для її введення.

## Висновки

Розроблено теоретичні та алгоритмічні основи нового методу синтезу геоінформаційних моделей природних систем за математичними моделями процесів у них. Зроблено постановку усіх варіантів задач, які можливі при цьому. Розроблено алгоритми розв'язання цих задач, в залежності від різних варіантів повноти вхідних даних. Сформульовано основні вимоги та алгоритмічні особливості створення спеціального програмного забезпечення для автоматизованого проектування СУБД за математичною моделлю.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми. Монографія / Під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. — 315 с.
2. Романюк О. Н., Савчук Т. О. Організація баз даних і знань: Навч. посібник / Мін-во освіти і науки України. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — 217 с.
3. Building a Geodatabase. — ESRI: Redlands, USA, 2003. — 460 p.
4. Michael Zeiler. Modeling our World. — ESRI: Redlands, USA, 1999. — 202 p.
5. Бусыгин Б. С., Гаркуша И. Н. Инструментарий геоинформационных систем (справочное пособие). — Киев, ИРГ «ВБ». — 2000. — 172 с.
6. Колорадо в огне: космоснимки и ArcGIS / По материалам компании Space Imaging и журнала Geoinformatics // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. — 2003. — № 3 (26). — С. 23.
7. Петрук В. Г., Володарський С. Т., Мокін В. Б. Основи науково-дослідної роботи. Навчальний посібник / Під ред. В. Г. Петрука. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. — 144 с.

Рекомендована кафедрою моделювання та моніторингу складних систем

Надійшла до редакції 30.06.07  
Рекомендована до друку 02.07.07

**Мокін Віталій Борисович** — завідувач кафедри; **Крижановський Євгеній Миколайович** — аспірант.

Кафедра моделювання та моніторингу складних систем, Вінницький національний технічний університет