

В. Б. Мокін¹
І. В. Варчук¹
Є. М. Крижановський¹

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ТОПОЛОГІЧНО СПОСТЕРЕЖУВАНОЇ БАГАТОЗВ'ЯЗНОЇ АНАЛІТИЧНОЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ

¹Вінницький національний технічний університет

Запропоновано нову інформаційну технологію побудови топологічно спостережуваної багатозв'язної аналітичної геоінформаційної системи зі змінною структурою, яка дозволяє проектувати таку систему досить швидко одразу у форматі реальних ГІС, адаптуючи моделі та алгоритми обробки інформації до способу збереження відповідних даних, та забезпечувати можливість швидкої зміни структури моделей під час моделювання різних сценаріїв розвитку об'єкта дослідження. Продемонстровано працездатність цієї технології на прикладі проектування ГІС для побудови та оптимізації водогосподарського балансу ділянок басейну річки.

Ключові слова: ГІС-система, геоінформаційна модель, геоінформаційні технології, математична модель, багатозв'язна розподілена система, топологічна спостережуваність.

Вступ та вихідні передумови

В наш час геоінформаційні системи широко використовуються для розв'язання численних задач у різних галузях та регіонах. Зазвичай ці системи містять карти з умовними об'єктами та бази даних (БД) з інформацією про них. Вибравши мишею будь-який об'єкт на карті, можна отримати всю інформацію про нього у БД, і — навпаки. Однак, таке лише інформаційно-пошукове застосування ГІС-технологій поступово стає другорядним. Все більше зростає потреба в аналітичних ГІС (ГІАС), які не тільки зберігають та дозволяють у зручному вигляді знайти і візуалізувати просторову інформацію, але й швидко та ефективно обробляють її за різними моделями та алгоритмами. Практика показує, що створення подібних ГІАС за моделями та алгоритмами користувача займає чималий час, оскільки готових універсальних рішень практично немає. Є типові рішення тільки для різного роду задач (наприклад, ArcGIS 3DAnalyst, ArcGIS Geostatistical Analyst, ArcHydro, ArcSchematics тощо [1]). Але в більшості випадків ще потрібно самостійно писати програми для обробки даних на різних мовах програмування.

Більше того, не позбавлені недоліків і готові рішення зі створення багатозв'язних аналітичних ГІС для окремих задач чи предметних галузей. У разі, коли будується така ГІС для складних багатозв'язних мережевих об'єктів (як правило, у сфері електроенергетики, транспорту, телекомунікацій, екології тощо) для кожної частини такого об'єкта дослідження може мати місце модель зі своїми особливостями. А ці особливості, у свою чергу, можуть бути взаємопов'язаними, тобто змінна, яка відображає стан якогось елемента в одній частині системи, може бути функціонально пов'язана з іншою змінною іншої частини системи. І таких особливостей можуть бути тисячі. Тому, успішна побудова та ідентифікація моделей підсистем складної ГІС не забезпечує адекватності моделі усій ГІС в цілому — необхідно, в першу чергу, правильно врахувати й усі зв'язки між змінними цих підсистем. А в таких задачах розмірність системи та кількість можливих комбінацій зв'язків між її змінними стану зростає нелінійно і це викликає проблему збереження усіх змінних і моделей з використанням комп'ютерних засобів. Але й це — не всі складнощі. Як правило, багатозв'язні аналітичні ГІС потрібні для моделювання сценаріїв розвитку об'єкта дослідження для вивчення його реакції на різні вхідні дані. Найбільшу складність викликають ситуації, коли процеси у складній системі можуть описуватись різними рівняннями за різних умов. Наприклад, для моделювання змін водного балансу (для поверхневих вод) взимку під дією метеофакторів слід враховувати такі специфічні процеси, як:

- втрати на льодоутворення з водосховищ;
- втрати води при осіданні льоду на берегах при зимовому спрацюванні;
- повернення води в результаті танення льоду, а влітку — тільки, головним чином, втрати на додаткове випаровування з водосховищ.

Це зовсім різні моделі. Крім того, у різні пори року вода по-різному випаровується, фільтрується у ґрунт, різною є і інтенсивність та склад стічних і зворотних вод. Отже, в моделюванні якихось процесів окремо по порах року слід щоразу враховувати різні моделі та взаємозв'язок різних змінних а у разі, якщо модель містить сотні змінних, задача перебудови багатозв'язної аналітичної ГІС зі змінною структурою перетворюється у дуже складну задачу, що займає чимало часу та збільшує ризик суб'єктивних та інших помилок при ідентифікації та застосуванні такої моделі ГІАС.

При побудові моделей складних багатозв'язних аналітичних ГІС є й інша небезпека — ризик не врахувати важливі зв'язки між змінними. Ці зв'язки відображає така характеристика складних динамічних систем як спостережуваність, а у відношенні до мережевих об'єктів — топологічна спостережуваність, яка означає, що усі стани мережевої системи можна визначити, а це, у свою чергу, є необхідною умовою керованості системи [2].

Досі немає достатньо універсальних візуальних середовищ, які дозволяли б швидко та зручно проектувати та оперативно, за необхідності, змінювати структуру та параметри моделей подібних ГІАС, що дозволило б швидко та ефективно використовувати ці ГІАС для розв'язання таких динамічних задач, як різні задачі моделювання сценаріїв прийняття рішень.

У роботі [1] запропоновано яким чином можна формалізувати більшість видів математичних моделей та синтезувати за ними відповідні інформаційні моделі. У роботі [5] запропоновано як будувати геоінформаційний простір параметрів (ГПП), що дозволяє підвищити швидкість та комплексність автоматизованої обробки параметрів шарів геоінформаційних систем: множина усіх параметрів системи, представлених у вигляді точок (вузлів) з координатами (x, y) , в математичному плані утворює площину, а в інформаційному — системний шар геоінформаційної системи, параметри якої вона описує. У кожній залежності, яка формалізується у ГПП, усі параметри поділяються на вхідні, якщо $K > 1$, та один вихідний, який обчислюється через вхідні, тобто кожна залежність є розв'язком певної математичної моделі відносно однієї вихідної змінної або алгоритмом обчислення цієї змінної із вхідних змінних. Кожен параметр в одній залежності може бути вхідним, а в іншій — вихідним, формалізуючи у такий спосіб систему залежностей. ГПП використовується для формалізації можливих аналітичних (функціональних) чи алгоритмічних зв'язків між параметрами шляхом створення полігонів, вузлами яких є точки ГПП, що відповідають усім пов'язаним між собою параметрам, а самі залежності, що описують ці зв'язки, в інформаційному плані формалізуються («прив'язуються») як атрибути (параметри) цих полігонів, що зберігаються у базі даних ГІС. Алгоритм побудови ГПП для заданої складної системи докладно описано у роботі [3]:

У роботі [4] запропоновано поєднання цих технологій в єдине ціле, завдяки доповненню технології інтегрування математичних моделей в геоінформаційні (ГІС-моделі) шляхом синтезу так званих G-моделей у вигляді системного шару цих ГІС-моделей. Така конструкція дозволяє пришвидшити процес побудови G-моделей за математичними моделями процесів у динамічних багатозв'язних просторово-розподілених системах (БПРС) різного типу, і водночас, дасть можливість в подальшому використанні інструментарію аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності цих систем.

Аналіз спостережуваності системи, як відомо [2], проводять на біхроматичному графі, застосовуючи типові методи. Зокрема, таким методом є пошук максимального паросполучення, описаний у роботі [2]. Цей метод полягає у знаходженні множини з максимальною кількістю ребер утвореного графа, що не мають попарно спільних вершин. Якщо існує паросполучення, де кожна змінна, що описує стан системи, відповідає ребру, що входить в максимальне паросполучення, то система, що описується заданими рівняннями є топологічно спостережуваною або повністю спостережуваною [5].

Однак, у жодній з робіт [1—4] не викладено всі етапи інформаційної технології побудови топологічно спостережуваної багатозв'язної аналітичної геоінформаційної системи зі змінною структурою, яка дозволяла б проектувати таку систему досить швидко одразу у форматі реальних ГІС, адаптуючи моделі та алгоритми обробки інформації до способу збереження відповідних даних, та забезпечувати можливість швидкої зміни структури моделей під час моделювання різних сценаріїв розвитку об'єкта дослідження. Отже, така задача є актуальною. *Метою цього дослідження є побудова такої інформаційної технології.*

Ідея технології

Для розв'язання поставленої задачі здійснимо формалізацію усіх етапів технології, яка пропонується. Вхідними даними є по-перше, реальна ГІС у певному форматі, в системному шарі якої зберігатимуться усі залежності між змінними (параметрами чи атрибутами усіх просторових об'єктів у множині). У класифікаторі ГІС формалізовані усі можливі для неї просторові об'єкти з умовними позначеннями та можливими для них атрибутами (позначимо множину усіх можливих атрибутів вже наявних у класифікаторі просторових об'єктів R). По-друге, це — множина математичних моделей (у т. ч. алгоритмічних), які пов'язують ці змінні. Важливо, що технологія, яка пропонується, дозволяє легко розширювати множину таких моделей на будь-якому етапі моделювання. І так само можна додавати нові шари та атрибути до класифікатору R ГІС.

Етап 1. Формалізація всіх даних геоінформаційної системи.








1. Аналізується множина усіх вхідних даних U всіх моделей, усіх змінних стану X , тобто таких які визначаються із вхідних змінних за певними моделями, та усіх вихідних змінних Y і відбирається така множина змінних Λ , які не є атрибутами наявних у класифікаторі ГІС просторових об'єктів:

$$\Lambda = (U \cup X \cup Y) \cap G, \quad (1)$$

Ці атрибути мають бути віднесені до самого регіону дослідження (фон карти) — область, країна, басейн річки та ін. Результатом цього аналізу буде те, що всі атрибути моделей отримають просторове подання та відповідне місце у базі даних ГІС.

2. Проводиться класифікація математичних моделей і для кожного типу моделей розробляється свій модуль їх автоматизації (ГІС-модель, у т.ч. атрибути для збереження параметрів, алгоритм та програмний модуль для обробки цих атрибутів, умовне позначення для візуалізації). Усі типи моделей утворюють множину T . Налаштовується система умовних позначень у класифікаторі, яка кожному типу можливих математичних моделей ставить у відповідність певний вид умовного позначення (наприклад, як у табл.) (у багатьох ГІС-пакетах цей етап можна автоматизувати шляхом використання формалізації математичних моделей або в обчислювальних пакетах програм, або з використанням якихось XML-мов, наприклад MathML).

Класифікація математичних моделей з їх візуалізацією у ГІС

№	Назва	Вираз	Умовне позначення на ГІС
1	Лінійна залежність	$y(x) = ax + b$	Полігон з суцільною заливкою 
2	Нелінійна поліноміальна залежність	$y(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0$	Полігон з суцільною заливкою насиченого кольору 
3	Експоненційна залежність	$y(x) = ae^{-bx+c}, b > 0$	Полігон з штрихуванням крапками 
4	Нелінійна залежність	$y(x) = \frac{a}{1+bx}$	Полігон з штрихами різної товщини 
5	Логарифмічна залежність	$y(x) = a \ln(bx + c); bx + c > 0$	Полігон заштрихований клітинками 
6	Тригонометрична залежність	$y(x) = a + b \sin(ct + d)$	Полігон заповнений крапками 
7	Інші залежності	$y(x) = f(x)$	Полігон з діагональним штрихуванням вліво 

Приклад візуалізації типів моделей 1 і 2 з таблиці подано на рис. 1.

Етап 2. Здійснюється формалізація математичних моделей.

1. Усі моделі формалізуються у вигляді:

$$x_i = F_{ij}(U, X, K, \gamma_{ij}); \quad (1)$$

$$y_k \Psi_{kp}(U, X, K, \psi_{kp}); \quad (2)$$

$$x_i \in X; y_k \in Y; F \in T; \Psi \in T; \quad i = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, M_i}; \quad k = \overline{1, \Omega}; \quad p = \overline{1, \theta_k},$$

де F_{ij} — функціональна чи алгоритмічна залежність між змінною стану x_i та вхідними змінними з

множини U , іншими змінними стану з множини X з параметрами з множини K з можливими змінами у структурі, які описуються множиною з j варіантів γ_{ij} ; Ψ_{kp} — функціональна чи алгоритмічна залежність між вихідною змінною y_k та вхідними змінними із множини U , іншими змінними стану із множини X з параметрами з множини K з можливими змінами у структурі, які описуються множиною з p варіантів ψ_{kp} ; N — кількість моделей для змінних стану, M_i — кількість моделей різної структури для кожної i -ї змінної стану, Ω — кількість моделей для вихідних змінних, θ_k — кількість моделей різної структури для кожної k -ї вихідної змінної.

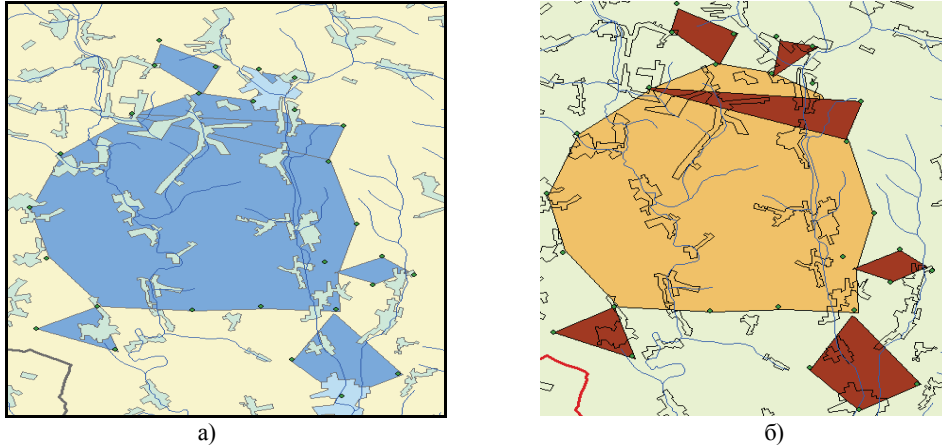


Рис. 1. Приклад візуалізації типів моделей 1 і 2 з таблиці

2. У певний спосіб формалізуються усі моделі (рівняння, алгоритми тощо) (в Matlab, Mathcad, MS Excel, з використанням MathML тощо).

3. У системному шарі ГІС (тобто шарі, який видимий тільки за певних умов, але за замовчуванням — невидимий) визначається центр регіону, який є фоном (максимально узагальненим об'єктом дослідження). Саме навколо цього центру і буде будувати ГПП. Цей центр є просторовою візуалізацією усіх вхідних змінних, які відносяться до множини Λ . В околі цього центру слід нанести таку кількість точок, яка відповідає кількості об'єктів у цій множині.

4. Для кожної моделі (1) та (2) аналізується кожна змінна множин U , X , Y і здійснюється їх геокодування (нанесення об'єкта на карту) у системному шарі ГІС, якщо вона ще не була геокодована у п. 3, одним із двох способів:

— шукається реальний об'єкт на карті, в атрибутах якого вже є необхідна змінна, і копіюється у системний шар;

— якщо об'єкта на карті ще немає, тоді із заданою відстанню між колом точок та центром наноситься об'єкт з класифікатора R , в атрибутах якого є відповідна змінна, рівновіддаленна від центру регіону, по колу: одна модель — одне коло точок.

Етап 3. Трансформація ГПП.

1. Здійснюється трансформація ГПП у біхроматичний граф (БГ) за розробленими у роботі [5] правилами:

$$\begin{aligned}
 F_{ij} &\rightarrow F_{ij}^* \cup \xi_{rq}; & \Psi_{kp} &\rightarrow \Psi_{kp}^*; \\
 z_i &= F_{ij}^*(U, X, K, \Omega_{ij}^x); \\
 z_r^* &= \xi_{rq}(X, Z, K, \Omega_{rq}^z); \\
 y_k &= \Psi_{kp}^*(U, X, Z, K, \Omega_{kp}^y); \\
 z_i &\in Z; & z_r^* &\in Z; & Z &\subset \Lambda^*; \\
 y_k &\in Y; & F_{ij}^* &\subset T; & \xi_{rq} &\subset T; & \Psi_{kp}^* &\subset T; \\
 i &= \overline{1, N}; & j &= \overline{1, M_i}; & r &= \overline{1, \Theta}; & q &= \overline{1, Q_q}; & k &= \overline{1, \Omega}; & p &= \overline{1, \theta_k},
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

де F_{ij}^* — функціональна чи алгоритмічна залежність між змінною z_i , що є вузлом біхроматичного графу, та вхідними змінними із множини U , змінними стану з множини X з параметрами із множини K з можливими змінами у структурі, які описуються множиною з r варіантів Ω_{ij}^x ; ξ_{rq} — функціональна чи алгоритмічна залежність між змінною z_r^* , що є вузлом біхроматичного графу, та змінними стану із множини X , іншими змінними, що є вузлами біхроматичного графу із множини Z , з параметрами із множини K з можливими змінами у структурі, які описуються множиною з q варіантів Ω_{rq}^z ; Ψ_{kp}^* — функціональна чи алгоритмічна залежність між вихідною змінною y_k та вхідними змінними із множини U , змінними стану із множини X та іншими змінними, що є вузлами біхроматичного графу із множини Z , з параметрами із множини K з можливими змінами у структурі, які описуються множиною з p варіантів Ω_{kp}^y ; Θ — кількість моделей для змінних z_r^* , Q_q — кількість моделей різної структури для кожної r -ї змінної z_r^* .

2. За алгоритмом п. 3, 4 попереднього етапу у системному шарі ГІС здійснюється геокодування нових змінних множини Λ^* .

Етап 4. Аналіз на спостережуваність аналітичної ГІС та її оптимізація.

1. За методом аналізу системи на топологічну спостережуваність з робіт [2, 5] здійснюється перевірка чи є система спостережуваною.

2. Якщо перевірка показала, що система є топологічно спостережуваною, тоді — перехід на наступний етап, інакше — на етап 1, де здійснюється доповнення множин вхідних даних та/чи змінних стану і потім — на етап 2 (або одразу на етап 2) для пошуку та ідентифікації нових моделей між змінними.

Етап 5. Моделювання сценаріїв розвитку системи з використанням побудованої аналітичної ГІС.

1. Проводиться моделювання сценаріїв розвитку системи з використанням побудованої аналітичної ГІС.

2. За необхідності здійснюється зміна структури параметрів моделі, тобто проведення розрахунків за різними комбінаціями моделей (1) та (2).

Архітектура запропонованої інформаційної технології подана на рис. 2:

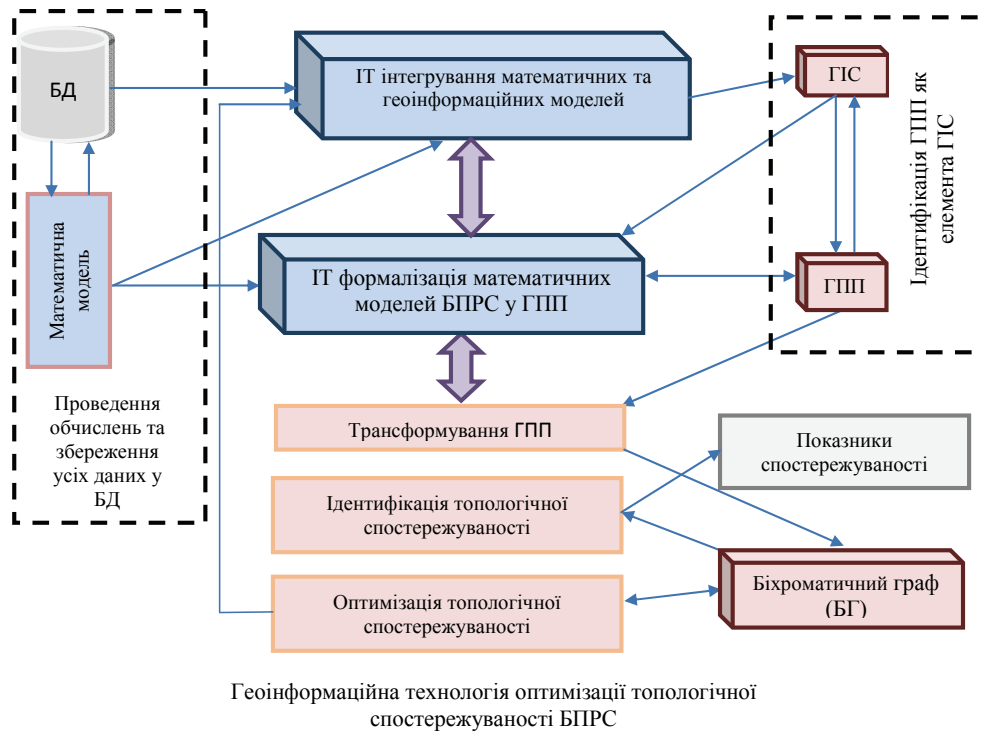


Рис. 2. Архітектура запропонованої інформаційної технології побудови топологічно спостережуваної багатозв'язної аналітичної геоінформаційної системи зі змінною структурою

Приклад застосування запропонованої інформаційної технології

Застосуємо запроповану інформаційну технологію побудови топологічно спостережуваної багатозв'язної аналітичної геоінформаційної системи зі змінною структурою для програвання сценаріїв прийняття рішень для автоматизації розрахунку водогосподарського балансу (ВГБ) для певної водогосподарської ділянки (в одиницях об'єму води за розрахунковий період) [6]

$$B = W_{\text{вх}} + W_{\text{біч}} + W_{\text{пзв}} + W_{\text{зв}} + W_{\text{дот}} \pm \Delta V \pm \Delta W_{\text{л}} - W_{\text{вип}} - W_{\text{ф}} - W_{\text{з}} - W_{\text{пер}} - W_{\text{вкр}} - W_{\text{кп}}, \quad (5)$$

де B — водогосподарський баланс; $W_{\text{вх}}$ — об'єм стоку, що надходить за розрахунковий період з вище розташованих ВГД; $W_{\text{біч}}$ — об'єм стоку, що формується на розрахунковій ВГД (бічна приточність); $W_{\text{пзв}}$ — об'єм водозабору із підземних водних об'єктів, який здійснюється згідно з чинним законодавством; $W_{\text{зв}}$ — об'єм зворотних вод на розрахунковій ВГД; $W_{\text{дот}}$ — дотаційний об'єм води на ВГД (зовнішні та внутрішньобасейнові перекидання); $\pm \Delta V$ — спрацювання (+), наповнення (–) ставків та водосховищ; $\pm \Delta W_{\text{л}}$ — втрати води при осіданні льоду на берегах при зимовому спрацюванні і/або повернення води в результаті танення льоду весною; $W_{\text{вип}}$ — втрати на додаткове випаровування та льодоутворення з водосховищ (з урахуванням повернення води від розтавання льоду); $W_{\text{ф}}$ — фільтраційні втрати з водосховищ; $W_{\text{з}}$ — зменшення стоку річки, викликане забором гідравлічно-зв'язаних з нею підземних вод; $W_{\text{пер}}$ — перекидання частини стоку за межі розрахункової ВГД; $W_{\text{вкр}}$ — забір поверхневих вод; $W_{\text{кп}}$ — вимоги до стоку в замикаючому створі ВГД (комплексний попуск).

Приклад заповненої таблиці атрибутів об'єктів ГІС за моделлю (5) наведено на рис. 3.

FID	Shape *	ObjectName	value	calculat
7	Point	Стік з вищерозташованих об'єктів	277,2454	1
9	Point	Дотаційний об'єм води	0	1
10	Point	Зворотні води	2,286	1
12	Point	Об'єм водозабору з підземних вод	0,5675	1
14	Point	Бічна приточність	80,6088	1
17	Point	Спрацювання ставків і водосховищ	0	1
6	Point	Випаровування	0	2
11	Point	Перекидання стоку	0	2
13	Point	Водокористування	4,387	2
15	Point	Зменшення стоку при заборі вод з підземних джерел	0,1532	2
18	Point	Стік в замикаючому створі	109,8017	2
19	Point	Фільтрація	0,1138	2

Рис. 3. Приклад заповненої таблиці атрибутів об'єктів ГІС у середовищі ArcGIS

Для розрахунку кожної змінної ВГБ застосовується своя модель чи алгоритм. На етапі 1 формалізуємо усі види моделей для розрахунку цих складових та визначаємо множину Λ .

На етапі 2 формалізуємо математичні моделі. Аналіз математичної моделі водогосподарського балансу показує, що основне рівняння балансу відповідно до класифікації, наведеної в табл. 1, відноситься до адитивних моделей. У відповідності до цього здійснено формалізацію математичної моделі водогосподарського балансу у ГІС шляхом геокодування елементів ГПП у вигляді поданому на рис. 2а.

Етапи 3 та 4 дозволяють перевірити та оптимізувати топологічну спостережуваність даної ГІС.

Етап 5. Оскільки модель водогосподарського балансу є досить простим підсумовуванням двох типів складових, які відносяться до витратної та прибуткової частин балансу, тому автоматизацію розрахунку доречно здійснити безпосередньо в середовищі ГІС, при цьому розробивши спеціальну процедуру, яка забезпечує визначення вузлів ГПП, що представляють складові витратної та прибуткової частин балансу (див. на рис. 3 параметр таблиці «calculat», в якого значення 1 означає прибутковий, а значення 2 — витратний характер складової балансу). Далі здійснюється їх додавання, а також визначення дефіциту та резерву водних ресурсів, які є основними результатами розрахунку водогосподарського балансу. Приклади результатів розрахунку наведено на рис. 4.

Під час моделювання різних сценаріїв є можливість зміни не тільки вхідних даних моделі, а і вилучення чи додавання вузлів ГПП, що представляють складові витратної та прибуткової частин балансу.

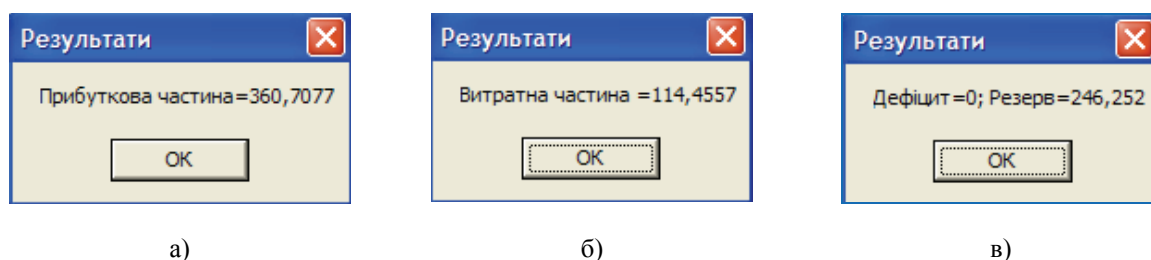


Рис. 4. Приклад виведення результатів розрахунків: а — прибуткової; б — витратної частини водогосподарського балансу заданої водогосподарської ділянки; в — результати розрахунку дефіциту на резерву водних ресурсів на цій ділянці

Аналіз показав, що процес зміни як параметрів, так і структури моделі під час, наприклад, моделювання різних сценаріїв прийняття рішень, за моделлю, формалізованою з використанням запропонованої технології, є досить простим, швидким і наочним.

Додатковою зручністю запропонованої технології є те, що пакети програм для роботи з ГІС мають потужний інструментарій для редагування просторових об'єктів та налагодження їх зв'язків з базою даних, що суттєво спрощує не тільки процес формалізації і збереження моделей у ГІС у запропонований спосіб, а й полегшує процес редагування такої системи в подальшому. Наприклад, видалення просторового точкового об'єкта, який був 5-ю вершиною 6-кутного полігону, одразу робить цей полігон 5-кутним і усі зв'язки зберігаються, тобто автоматично формалізується зниження порядку чи кількості складових моделі, яку візуалізує цей полігон. Треба тільки усе правильно одразу налагодити.

Крім того, шарова структура ГІС-формату дозволяє зберігати практично необмежену кількість просторових об'єктів, якими є моделі, що формалізують зв'язки між змінними.

Висновки

Розглянуто проблему формалізації, ідентифікації, оптимізації та збереження з використанням комп'ютерних засобів багатозв'язної аналітичної геоінформаційної системи будь-якого призначення, а також її використання для моделювання сценаріїв розвитку різних процесів і систем та задач підтримки прийняття рішень. Запропоновано нову інформаційну технологію побудови топологічно спостережуваної багатозв'язної аналітичної геоінформаційної системи зі змінною структурою, яка дозволяє проектувати таку систему досить швидко одразу у форматі реальної ГІС, адаптуючи моделі та алгоритми обробки інформації до способу збереження відповідних даних, та забезпечувати можливість швидкої зміни структури моделей під час моделювання різних сценаріїв розвитку об'єкта дослідження.

Продемонстровано працездатність запропонованої технології на прикладі проектування ГІС для побудови та оптимізації водогосподарського балансу для певної водогосподарської ділянки басейну річки, яка була успішно автоматизована з використанням пакету програм ArcGIS.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін В. Б. Інформаційна технологія інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод : моногр. / В. Б. Мокін, С. М. Крижановський, М. П. Боцула. — ВІННИЦЯ : ВНТУ, 2011. — 150 с.
2. Гамм А. З. Сенсоры и слабые места в электроэнергетических системах / А. З. Гамм, И. И. Голуб. — Иркутск : СЭИ СО РАН, 1996. — 99 с.
3. Інформаційні технології автоматизації обробки параметрів геоінформаційних систем з геометричними мережами : моногр. / [В. Б. Мокін, В. Г. Сторчак, С. М. Крижановський та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 196 с.
4. Варчук І. В. Технологія синтезу геоінформаційної моделі розподіленої системи за математичними моделями процесів у ній / Ілона Вячеславівна Варчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2016. — № 2. — С. 20—25.
5. Мокін В. Б. Метод визначення спостережуваності динамічних багатозв'язних просторово-розподілених систем з використанням геоінформаційного простору параметрів / В. Б. Мокін, І. В. Варчук. // Науковий вісник Національного гірничого університету. — 2015. — С. 105—111.
6. Рациональное використання та відновлення водних ресурсів : моногр. / [М. О. Клименко, В. Б. Мокін, І. І. Овчаренко та ін.] / за заг. ред. В. П. Фещенка. — Житомир : вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2016. — 250 с.

Рекомендована кафедрою системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 21.10.2016

Мокін Віталій Борисович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки;

Варчук Ілона Вячеславівна — аспірантка кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: ilona-varchuk@mail.ru;

Крижановський Євгеній Миколайович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

V. B. Mokin¹
I. V. Varchuk¹
Ye. M. Kryzhanovskyi¹

Information Technology of Constructing a Topologically Observable Multiply Connected Analytic Geoinformation System with Variable Structure

¹Vinnytsia National Technical University

The new information technology constructing a topologically observable multiply connected analytical geoinformation system with variable structure has been proposed. It allows to design such a system immediately in real GIS quickly, adapting the model and algorithms for processing information in a method of storing relevant data and provides the ability to quickly change the model structure for modeling various scenarios the object of study. There has been the demonstrated performance of this technology in the GIS design example for constructing and optimizing the water balance of a river basin plots.

Keywords: GIS system, geographic information technology, mathematical model, multiply distributed system, topological observability.

Mokin Vitalii B. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Computer Aided Ecological and Economic Monitoring and Engineering Graphics;

Varchuk I.V. — Post-Graduate Student of the Chair of Computer Aided Ecological and Economic Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: ilona-varchuk@mail.ru;

Kryzhanovskyi Yevhenii M. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Computer Aided Ecological and Economic Monitoring and Engineering Graphics

В. Б. Мокин¹
И. В. Варчук¹
Е. Н. Крижановский¹

Информационная технология построения топологически наблюдаемой многосвязной аналитической геоинформационной системы с изменяемой структурой

¹Вінницький національний технічний університет

Предложена новая информационная технология построения топологически наблюдаемой многосвязной аналитической геоинформационной системы со сменной структурой, позволяющей проектировать такую систему довольно быстро сразу в формате реальных ГИС, адаптируя модели и алгоритмы обработки информации к способу сохранения соответствующих данных, и обеспечивать возможность быстрого изменения структуры моделей во время моделирования разных сценариев развития объекта исследования. Продемонстрирована трудоспособность этой технологии на примере проектирования ГИС для построения и оптимизации водохозяйственного баланса участков бассейна реки.

Ключевые слова: геоинформационная система, геоинформационные технологии, математическая модель, многосвязная распределенная система, топологическая наблюдаемость.

Мокін Віталій Борисович — д-р техн. наук, профессор, заведуючий кафедрою системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки;

Варчук Ілона Вячеславівна — аспірант кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: ilona-varchuk@mail.ru;

Крижановський Євгеній Николаевич — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки