

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ГІС АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОБУДОВИ ГЕОЛОГІЧНИХ РОЗРІЗІВ

116-122

Омельченко А.А. асистент,  
Донецький державний технічний університет

*Розглянуті основні математичні моделі для геоінформаційних систем (ГІС) автоматизації побудови геологічних розрізів. Наведені змістовна (фізична) і математична постановки задач моделювання.*

*Allocated basic types of mathematical models for use in geoinformation system (GIS) for automation of geological sections construction. Substantial (physical) and mathematical task of modeling are given.*

Основу функціонування геоінформаційної системи (ГІС) автоматизації побудови геологічних розрізів складають три типи моделей: математична модель шахтного поля ( $M_M$ ), геологічний розріз, як графічна модель ( $M_G$ ) і модель процесу перетворення першої моделі в другу ( $M_T$ ). У першому випадку об'єктом моделювання є природний об'єкт - родовище корисних копалин (або його частина у межах шахтного поля), його властивості і конкретний простір, в якому воно розміщено. Під математичною моделлю у даному випадку розуміється формалізований опис форми, структури і якісних характеристик родовища. Об'єктом моделювання у цьому випадку також є техногенні об'єкти (свердловини, виробітки і под.), розташовані у межах шахтного поля. В другому випадку - геологічний розріз, як графічна модель об'єктів родовища. У третьому - процес перетворення першої моделі в другу. Відношення між математичними моделями у процесі автоматизованої побудови геологічних розрізів наведені на рис. 1.

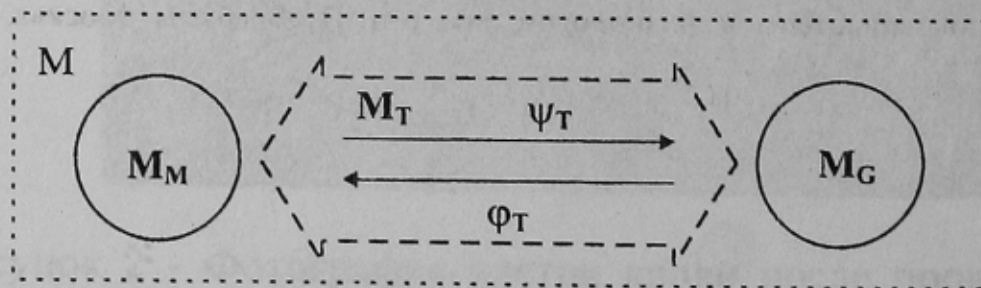


Рисунок 1 - Структура взаємозв'язку моделей

Математично це можна виразити у такому виді:

$$M = \{M_M, M_G, M_T\}. \quad (1)$$

Основні функції підсистеми, що подаються моделлю  $M_T$  - управління процесом побудови геологічного розрізу шляхом зміни стану моделей природних геологічних і техногенних об'єктів. Параметри цього управління виробляються в результаті аналізу даних, отриманих згідно з поточним станом моделей за допомогою зв'язуючих відношень  $\varphi_T$ . Керуючий вплив здійснюється в результаті виконання відображень  $\Psi_T$ . Всі зміни моделі об'єктів шахтного поля  $M_M$  і геометричної моделі  $M_G$  здійснюються підсистемою геометричних розрахунків ГІС автоматизації побудови геологічних розрізів.

Для побудови математичної моделі шахтного поля  $M_M$  найбільш доцільно використовувати системний підхід [1]. З позиції системного підходу родовище у межах шахтного поля - матеріальний об'єкт, що складається з кінцевої множини взаємозв'язаних геологічних і техногенних об'єктів (частин підсистем, елементів), що утворюють певну цілісність. Кожний матеріальний об'єкт характеризується множиною властивостей, по певній сукупності яких можуть бути виділені частини системи. Границі між об'єктами різних рівнів проводяться по поверхнях (лініях, точках) стрибкоподібної зміни мір взаємної подібності і взаємозв'язку суміжних елементів об'єму (площі, довжини). Як підсистема (елемент) може розглядатися така частина системи, про яку може бути отримана необхідна інформація, вивчені її властивості, зв'язки і просторове положення. Отже, існує множина способів декомпозиції системи.

Товщу порід у межах шахтного поля можна охарактеризувати як складну динамічну детерміновану систему ( $S_s$ ). Як динамічна система вона відображує стан земної товщи на конкретний момент часу: у кожний момент часу  $t \in T$  система знаходиться в одному з можливих станів  $S_s^i \in S_s$ . Як детермінована система вона включає до себе підсистеми різного рангу (її елементами є конкретні матеріальні об'єкти земної товщи, які знаходяться у певних взаємовідносинах і підпорядковуються певним законам - фізичним, хімічним та ін.).

Ключовий момент моделювання шахтного поля - виділення основних об'єктів та їхніх взаємозв'язків. Шахтне поле - надто складний об'єкт з великою кількістю вихідних параметрів, що знаходяться в складному взаємозв'язку. Проте, ще П.К. Соболевським [2] був встановлений зв'язок характеристик корисної копалини з геометрією її залягання. Аналогічний зв'язок характерний і для параметрів техногенних об'єктів. У зв'язку з цим просторову модель шахтного поля доцільно подати у вигляді сукупності геометричної основи і семантичних властивостей:

$$M_M = \left\{ M_M^m, M_M^{S_1}, M_M^{S_2}, \dots, M_M^{S_n} \right\}, \quad (2)$$

де  $M_M^m$  - математична модель геометричних характеристик об'єктів у межах шахтного поля;

$M_M^{S_i}$  - математичні моделі просторового розміщення показників об'єкту (гірничотехнічних, об'ємно-якісних, і под.).

Кожна з підмоделей,  $M_M^m$ ,  $M_M^{S_i}$  в (2) складається у кінцевому підсумку з відповідних елементарних моделей:

$$M_M^m = \left\{ \left\{ m_{ij}^m \right\}_{i=1}^{i=N_j} \right\}_{j=1}^{j=N_u}, \quad M_M^{S_i} = \left\{ \left\{ m_{ij}^{S_i} \right\}_{i=1}^{i=N_{jk}} \right\}_{j=1}^{j=N_k}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (3)$$

де  $m_{ij}^m$  - математична модель геометричних характеристик  $i$ -го геологічного об'єкта для  $j$ -го показника;

$m_{ij}^{S_i}$  - елементарна модель  $j$ -го показника  $k$ -го класу.

Основу моделі шахтного поля  $M_M$  складає математична модель геометричних характеристик природних і техногенних об'єктів у межах шахтного поля  $M_M^m$  (рис. 2). Ця модель взаємодіє з моделлю розподілу технологічних показників родовища у межах шахтного поля  $M_M^{S_i}$  шляхом передавання останньою координат потрібної точки об'єкту. Вектор вихідних координат являє собою властивості об'єкту в означеній точці.

На основі багаторічного практичного застосування геологічних розрізів був визначений загальноприйнятий перелік об'єктів, що відображаються на геологічних розрізах для задоволення всіх вимог

кінцевих користувачів (геологів, технологів, маркшейдерів). Цей перелік доцільно використовувати при розробленні системи автоматизації побудови геологічних розрізів. Основними техногенними об'єктами, що відображаються на геологічних розрізах для вугільних родовищ, є бурові свердловини і гірничі виробітки. Основними природними об'єктами, що відображаються на геологічних розрізах для вугільних родовищ, є такі геологічні тіла [3]: прошарок породи, шар, характерна властивість.

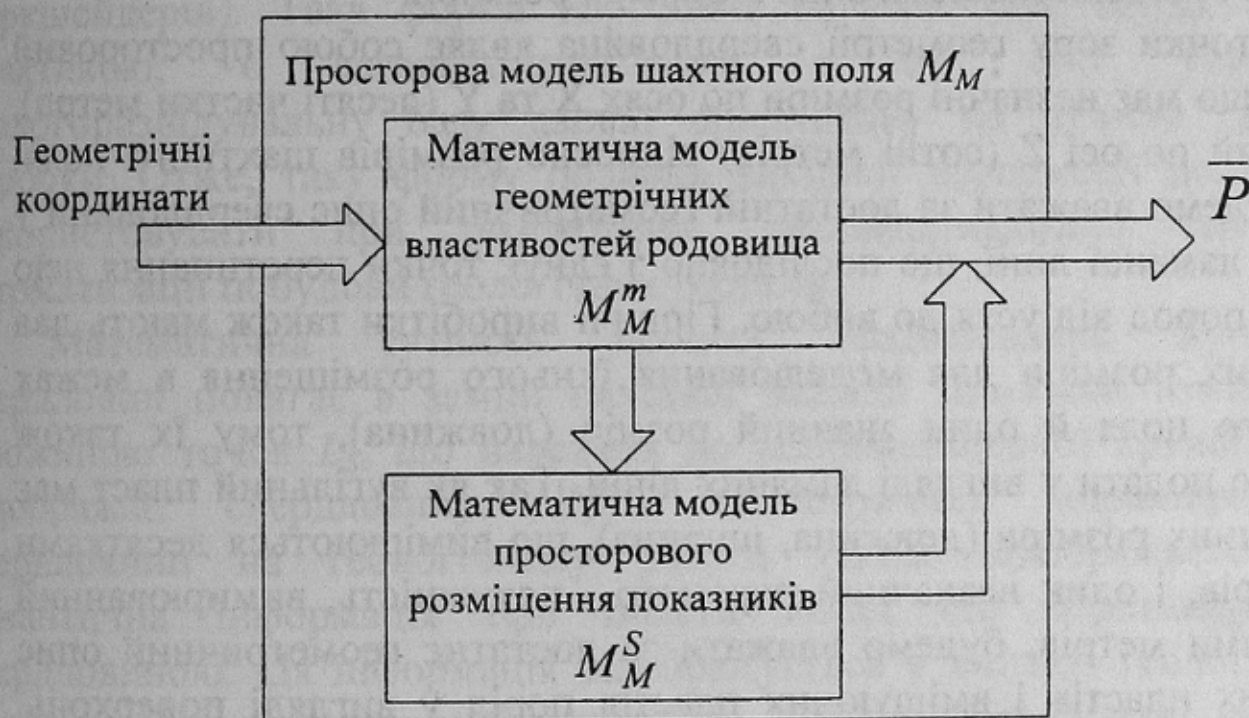


Рисунок 2 - Структура просторової моделі шахтного поля

Розглянутий підхід до моделювання родовища в межах шахтного поля дозволяє виділити як основні моделі, що обслуговують процес автоматичної побудови геологічних розрізів і формують модель шахтного поля, придатну для візуального читання, аналізу і побудови, наступні “підмоделі”:

- 1) математична модель свердловин;
- 2) математична модель гірничих виробіток;
- 3) математична модель вугільних пластів і пластів порід;
- 4) математична модель порушень.

Крім цього, як об'єкти моделювання можуть розглядатися не тільки матеріальні предмети, але й явища, процеси, а також наукові категорії та поняття.

При побудуванні геологічних розрізів найбільш важливі ті

властивості, що описують форму і взаємне розміщення геологічних об'єктів. Як правило, гірничо-геологічні і техногенні об'єкти, що вивчаються (геологічні тіла, гірничі виробітки, свердловини), у більшості випадків мають складну просторову будову. Абсолютно точно відобразити ці об'єкти на геологічному розрізі зі всіма їхніми особливостями взагалі неможливо [4]. Тому при створенні моделей означених об'єктів приймемо ряд допущень, що дозволять привести досліджуваній об'єкт до більш-менш простих геометричних тіл, не вносячи суттєвих похибок в його форму і розміри.

З точки зору геометрії свердловина являє собою просторовий об'єкт, що має незначні розміри по осях  $X$  та  $Y$  (десяті частки метра), і значний по осі  $Z$  (сотні метрів) відносно розмірів шахтного поля, тому будемо вважати за достатній геометричний опис свердловини у вигляді ламаної лінії, що послідовно з'єднує точки перетинання нею пластів пород від устя до вибою. Гірничі виробітки також мають два незначних розміри для моделювання їхнього розміщення в межах шахтного поля й один значний розмір (довжина), тому їх також можливо подати у вигляді ламаних ліній. Так як вугільний пласт має два значних розміри (довжина, ширина), що вимірюються десятками кілометрів, і один незначний параметр - потужність, вимірюваний одиницями метрів, будемо вважати за достатнє геометричний опис вугільних пластів і вміщуючих пластів порід у вигляді поверхонь, побудованих по сукупності точок їхнього перетинання осями свердловин і гірничих виробіток.

Коректність прийнятих допущень обумовлена класом задач, що вирішуються. Так як задачі, що вирішуються геоінформаційною системою, відносяться не до з'ясування фундаментальних законів і причин, визначаючих властивості реального геологічного середовища, а до аналізу його окремих характеристик (геометрії та ряду технологічних властивостей) для практичної мети: автоматизації процесу побудови геологічних розрізів, тому прийняття означених допущень доречно. Результатом моделювання є перетворення вхідної дискретної інформації в безперервну модель об'єкта, що вивчається (модель шахтного поля).

Так як інформація про вугільне родовище представлена, в основному, даними розвідувальних свердловин, тому одним з найважливіших елементів, що відображаються на геологічному

розрізі, є свердловини. Кожна розвідувальна свердловина має унікальне ім'я (номер). Свердловина характеризується: координатами устя, кутами нахилу, даними опробування керна і результатами геофізичних досліджень. По результатах опробування будується геологічний розріз свердловини (геологічна колонка), який є основним джерелом первинної геологічної інформації про родовище. Подання геологорозвідувальної інформації у вигляді колонки відповідає всім вимогам кінцевих користувачів (геологів, технологів, маркшейдерів). Така форма вироблена багаторічною геологічною практикою, є загальноприйнятою, і по суті утворює геологорозвідувальну базу даних, орієнтовану на ручний спосіб обробки. Отже, таку форму подання вихідної інформації доцільно використовувати при розробленні геоінформаційної системи автоматизації побудови геологічних розрізів.

Математична сутність процесу моделювання бурових свердловин полягає в заміні вихідної заданої множини точок  $M_S$  множиною точок  $L_S$ , що належать до аппроксимууючої кривої, яка відображає свердловину. Крім геометричних характеристик свердловини на геологічному розрізі також відображається і семантична інформація про пласти порід що перетинаються свердловиною. Ця інформація відображується у вигляді геологічної колонки. Виходячи з викладеного, всі дані по свердловині можна розділити на дві групи: геометричні дані (характеризують положення елементів свердловини у просторі, наприклад координати точки перетинання осі свердловини з пластом породи, потужність перетиненого пласта і под.) і семантичні дані (негеометричні властивості, що характеризують, наприклад, тип породи і под.). До геометричної моделі свердловини, яка використовується при автоматизації побудови геологічних розрізів, входять наступні основні параметри: координати устя; координати точки перетинання осі свердловини з пластом породи. Основним параметром семантичної моделі є тип породи, що перетинається віссю свердловини та його технологічні властивості.

Тоді математичну модель свердловини можна представити у вигляді об'єднання двох підмоделей: геометричної ( $M_G^S$ ) і семантичної ( $M_S^S$ ). Узгодження використовуваних математичних

моделей забезпечується наявністю зв'язку семантичних і геометричних властивостей. Цей зв'язок можна виразити у наступному вигляді:

$$M_S^S = f(M_G^S, d), \quad (4)$$

де  $d$  - відстань, виміряна по осі свердловини від устя до місця фіксації властивості геологічного тіла, що відображається, м.

Відношення між геометричною  $M_G^S$  і семантичною  $M_S^S$  моделями одностороннє, тобто конкретній точці геометричної моделі завжди відповідає єдине конкретне значення параметрів семантичної моделі, однак зворотне твердження невірно (одному й тому ж значенню параметрів семантичної моделі може відповідати декілька різних точок геометричної моделі). Математично це можна виразити у наступному виді:

$$\left\{ \begin{array}{l} (m_i^G \in M_G^S) \varphi = m_j^S \in M_S^S \\ (m_i^S \in M_S^S) \varphi = \begin{cases} m_k^G \in M_G^S \\ \vdots \\ m_n^G \in M_G^S \end{cases} \end{array} \right. \quad (5)$$

Розглянута математична модель фізично може бути реалізована у вигляді реляційної бази даних. Розроблена модель бурових свердловин і інші моделі реалізовані в геоінформаційній системі автоматизації побудови геологічних розрізів, яка є складовою частиною ГІС «Геомарк» [5].

#### Перелік посилань

1. Автоматизация геолого-маркшейдерских графических работ / В.В. Ершов, А.С. Дремуха, В.М. Трость и др. - М.: Недра, 1991. - 347 с.
2. Соболевский П.К. Современная горная геометрия. // Социалистическая реконструкция и наука, 1932, №7. С. 5-7.
3. Боярский Э.Ф. Рогозов В.В. Цифровое моделирование угольных пластов. - М.: Недра, 1992. - 128 с.
4. Ребрик Б.М., Сироткин Н.В., Калиничев В.Н. Инженерно-геологическая графика: Учеб. для вузов. - М.: Недра, 1991. - 318 с.: ил.
5. А.В. Анциферов, Б.И. Селяков, А.А. Глухов, А.А. Омельченко В.А. Анциферов Географическая информационная система «GeoMark» для решения задач угледобывающей отрасли // Проблемы и перспективы использования геоинформационных технологий в горном деле. Доклады II Международной научно-практической конференции. 15-17 мая 2000 г. - Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2000. - С. 25-28