

УДК 004.94:519.816

К.Л. Сергєєва

*Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпро*

## КОГНІТИВНИЙ ПІДХІД У ЗАДАЧАХ АЕРОКОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ

*Запропоновано когнітивний підхід до аналізу даних аерокосмічного моніторингу територій гірничо-промислових регіонів, який забезпечує можливість оцінки ефективності прийняття управлінських рішень і генерування сценаріїв сталого розвитку. Виконано формалізацію факторів, що впливають на можливості прийняття рішень, у вигляді математичної моделі. Створено когнітивну карту, яка дозволяє виявляти структуру причинно-наслідкових зв'язків між станами різних факторів. Представлено когнітивну методологію підтримки прийняття рішень системи аерокосмічного моніторингу.*

**Ключові слова:** когнітивне моделювання; когнітивна карта; аерокосмічний моніторинг.

### Вступ

Особливістю територій гірничопромислових регіонів є присутність антропогенних утворень, сформованих у результаті видобутку корисних копалин: відвалів, кар'єрів, хвостосховищ, шламосховищ та ін. Елементи гірничопромислових ландшафтів – це складні динамічні системи, які вимагають безперервного моніторингу для своєчасного запобігання їх негативного впливу на стан рослинного покриву, ґрунтів, атмосферного повітря, гідрологічний режим прилеглих територій та здоров'я населення.

На відміну від витратних наземних досліджень, технології обробки та аналізу аерокосмічних матеріалів дозволяють оперативно відслідковувати зміни показників стану поверхні, реєструвати температурні коливання, забезпечуючи можливість прийняття своєчасних рішень для поліпшення екологічних умов територій гірничопромислових регіонів.

Інструментальним засобом створення сценаріїв для прийняття управлінських рішень в задачах аерокосмічного моніторингу є когнітивні моделі, формалізовані у вигляді графа – когнітивної карти. Такі моделі використовують когнітивний підхід, який базується на процесах генерування нових знань про предметну область на основі процедур обробки та інтерпретації наявних даних.

### Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень

Когнітивна карта є інструментом підтримки прийняття рішень, який забезпечує можливість визначення ключових параметрів у заданій експертом предметної області, встановлення їх причинно-наслідкових зв'язків, ступеня взаємовпливу, відстеження можливих змін у системі, зумовлених впливом різноманітних факторів. Формування когнітив-

ної карти дозволяє генерувати рішення тематичних задач і створювати можливі сценарії – набори послідовних дій осіб, що приймають рішення (ОПР) [1].

У роботах сучасних дослідників когнітивні карти знайшли широке застосування в якості інструменту виявлення структури зв'язків між елементами різноманітних систем у наступних сферах людської діяльності: моделювання соціально-економічного розвитку регіонів [2; 3], аналіз енергетичної ефективності територій, управління параметрами урбоєкосистем в умовах антропогенного забруднення, аналіз структури взаємодії екологічних процесів [4], моделювання процесів сталого розвитку регіонів [5] та ін. У рамках останнього напрямку актуальною проблемою є створення сценаріїв сталого розвитку гірничопромислових територій за допомогою дистанційного моніторингу їх ключових показників. У загальному вигляді вона передбачає формалізацію факторів, що впливають на можливості прийняття управлінських рішень, у вигляді математичної моделі, представленої когнітивною картою і призначеної для встановлення відношень між елементами системи моніторингу та оцінки наслідків, що відбуваються під впливом дії на ці елементи або зміни характеру зв'язків.

**Метою** роботи є формалізація процесу прийняття управлінських рішень у задачах аерокосмічного моніторингу територій гірничопромислових регіонів за допомогою створення когнітивної графової моделі.

### Когнітивне моделювання

Однією з форм ідентифікації когнітивної графової моделі (когнітивної карти) аналізованої системи є знаковий орієнтований граф  $G$  [6; 7]:

$$G = \langle V, E \rangle, \quad (1)$$

де  $V$  – множина концептів (вершин графа)  
 $v_i \in V, i = 1, \dots, n$ ,

$E$  – множина відношень причинності (дуг графа)  $e_{ij} \in E$ ,  $i, j = 1, \dots, n$ .

Альтернативним способом представлення когнітивної карти є таблиця відношень причинності – квадратна матриця  $A$  розміру  $n \times n$ , рядки і стовпці якої відповідають концептам, а осередки  $a_{ij}$  – значення відношень причинності відповідних вершин  $v_i$  й  $v_j$ :  $a_{ij} = '+'$ , якщо зміни  $v_i$  та  $v_j$  відбуваються в одному напрямку (зростання/зменшення  $v_i$  призводить відповідно до зростання/зменшення  $v_j$ );  $a_{ij} = '-'$ , якщо зміни  $v_i$  й  $v_j$  різноспрямовані; в іншому випадку вершини  $v_i$  та  $v_j$  не пов'язані між собою [6].

Нижче наведені найбільш важливі фактори, що впливають на можливості відстеження динаміки зміни елементів гірничопромислових територій за різночасовими даними аерокосмічних зйомок для своєчасного прийняття управлінських рішень.

*I. Технічні характеристики системи аерокосмічного моніторингу:*

- просторова роздільна здатність ( $v_1$ );
- часова роздільна здатність ( $v_2$ );
- територіальне охоплення даними зйомки ( $v_3$ );

- якість даних зйомки ( $v_4$ );
- адекватність методів обробки й аналізу даних ( $v_5$ ).

*II. Характеристики діяльності гірничопромислових підприємств і органів управління:*

- інформаційна забезпеченість ( $v_6$ );
- розвиток і впровадження інноваційних природоохоронних технологій ( $v_7$ );
- оперативність прийняття управлінських рішень ( $v_8$ ).

*III. Соціально-екологічні фактори навколишнього природного середовища:*

- рівень забрудненості повітря, ґрунтів, водних об'єктів і рослинного покриву ( $v_9$ );
- якість життя населення ( $v_{10}$ ).

Створено когнітивну карту, яка відображає сукупний вплив технічних характеристик системи аерокосмічного моніторингу й показників діяльності підприємств на соціально-екологічний стан територій гірничопромислових регіонів. Графічне представлення когнітивної карти, побудованої з використанням програмного забезпечення Mental Modeler [8], а також таблиця відношень причинності когнітивної графової моделі наведені відповідно на рис. 1 та у табл. 1.

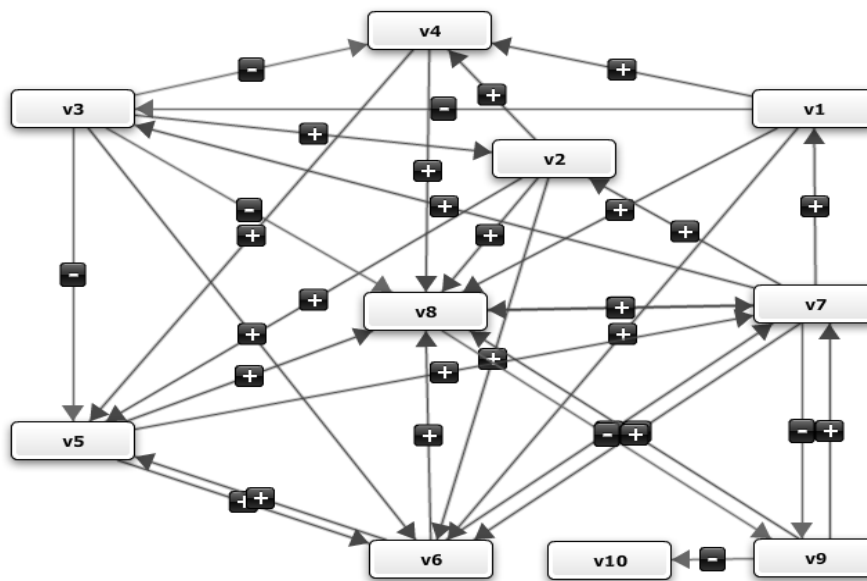


Рис. 1. Когнітивна карта системи аерокосмічного моніторингу територій гірничопромислових регіонів

Аналіз когнітивної карти і таблиці відношень причинності дозволяє зробити висновок, що серед технічних характеристик системи аерокосмічного моніторингу найбільший вплив (максимальне число вихідних зв'язків) чинять фактори територіального охоплення ( $v_3$ ), просторової ( $v_1$ ) та часової ( $v_2$ ) роздільної здатності даних зйомки. Серед характеристик діяльності гірничопромислових підприємств

найбільше число вихідних зв'язків має концепт  $v_7$  – розвиток і впровадження інноваційних природоохоронних технологій. Основним виливальним соціально-екологічним фактором навколишнього середовища є забруднення повітря, ґрунтів, водних об'єктів і рослинного покриву ( $v_9$ ). На покращення  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ , розвиток  $v_7$  і зниження  $v_9$  повинні бути спрямовані основні зусилля ОПР.

Таблиця 1

Таблиця відношень причинності когнітивної карти

	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	v <sub>3</sub>	v <sub>4</sub>	v <sub>5</sub>	v <sub>6</sub>	v <sub>7</sub>	v <sub>8</sub>	v <sub>9</sub>	v <sub>10</sub>
v <sub>1</sub>			—	+		+		+		
v <sub>2</sub>				+	+	+		+		
v <sub>3</sub>		+		—	—	+		—		
v <sub>4</sub>					+			+		
v <sub>5</sub>						+	+	+		
v <sub>6</sub>					+		+	+		
v <sub>7</sub>	+	+	+			+		+	—	
v <sub>8</sub>							+		—	
v <sub>9</sub>							+	+		—
v <sub>10</sub>										

У кожній з трьох груп факторів найбільшому впливу піддаються v<sub>5</sub>, v<sub>8</sub>, v<sub>9</sub>. Таким чином, на адекватність методів інтерпретації даних аерокосмічного моніторингу (v<sub>5</sub>) істотну дію справляє якість вхідних даних (v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>). Оперативність прийняття управлінських рішень (v<sub>8</sub>) залежить від якості вхідних даних і характеристик діяльності підприємства (v<sub>6</sub>, v<sub>7</sub>), що опосередковано діють на стан навколишнього природного середовища гірничопромислових територій.

### Генерування рішень

Генерування рішень на основі когнітивного підходу припускає визначення направленості причинно-наслідкових зв'язків між елементами системи.

Найбільш сильний вплив на компоненти системи аерокосмічного моніторингу справляє концепт v<sub>7</sub>, який може виступати в ролі початкової ланки у

послідовності прийняття рішень. Максимальному внутрішньому впливу піддається фактор оперативності прийняття управлінських рішень (v<sub>8</sub>), який спільно з v<sub>7</sub> визначає рівень забрудненості компонент навколишнього середовища територій гірничопромислових регіонів (v<sub>9</sub>). Якість життя населення виступає в якості фактора, який безпосередньо й опосередковано акумулює внутрішні зміни та є єдиною стабільною вершиною графа і змінною системи, що не впливає на інші. Це обумовлює стійкість системи при зміні направленості зв'язків між всіма іншими факторами.

В аналізованій системі переважають цикли з додатними зворотними зв'язками (парним числом від'ємних зв'язків між концептами або їх відсутністю), які накопичують початкові впливи, що в цілому свідчить про нестабільність системи і схильність її до суттєвих змін під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників (рис. 2).

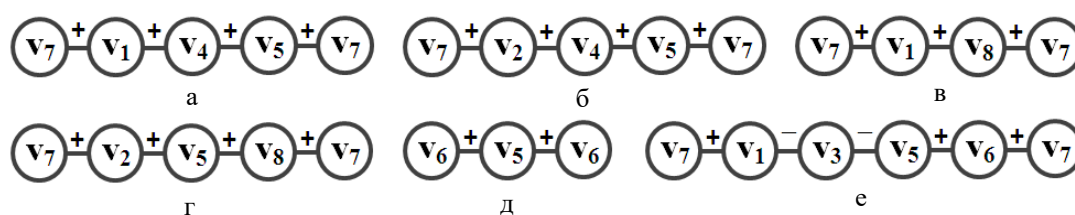


Рис. 2. Цикли з додатними зворотними зв'язками

Наприклад, впровадження інноваційних природоохоронних технологій базується на отриманні високоточних (за показником просторової і часової роздільної здатності) аерокосмоснімків, що потребує застосування вдосконалених і адекватних методів їх обробки, здатних здійснювати розрахунок і аналіз достатньої кількості показників стану гірничопромислових територій за обмежений проміжок часу (рис. 2, г).

Швидке отримання високоточних результатів обчислень забезпечує можливість оперативного

прийняття управлінських рішень, що, в свою чергу, сприятиме подальшому розвитку і вдосконаленню природоохоронних технологій.

Однак, у системі присутні також окремі сильно зв'язані області, утворені циклами з від'ємними зворотними зв'язками (непарним числом від'ємних зв'язків між концептами), що пов'язують між собою технічні, організаційні, економічні й соціально-екологічні фактори (рис. 3).

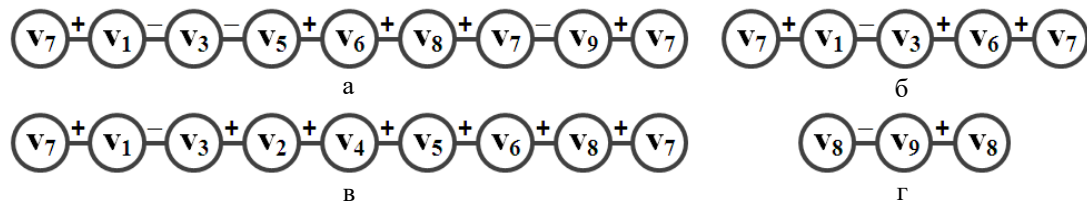


Рис. 3. Цикли з від'ємними зворотними зв'язками

У таких циклах початкові зміни компенсуються, що дозволяє на їх основі генерувати сценарії сталого розвитку. Наприклад, збільшення темпів розвитку підприємств і впровадження інноваційних природоохоронних технологій потребує використання високоточних даних оперативного аерокосмічного моніторингу в належній якості і в кількості, достатній для охоплення досліджуваної території (аерокосмізнімки з більш високою просторовою роздільною здатністю, як правило, мають менше територіальне охоплення). Наявність таких даних здатна поліпшити інформаційну забезпеченість зацікавлених підприємств і органів управління, що в свою чергу, є необхідною основою для оперативного прийняття управлінських рішень, які безпосередньо впливають на показники стану навколишнього природного середовища і як наслідок – якість життя населення (рис. 3, а; рис. 3, в).

Якщо припустити, що покращення управлінського апарату і підвищення оперативності прийняття рішень дозволить знизити потребу у розвитку інноваційних природоохоронних технологій (зміна знака дуги  $e_{87}$ ), утворяться цикли з від'ємними зворотними зв'язками. Це призведе до стабілізації системи і компенсації посилення початкових змін.

Ключовим фактором системи аерокосмічного моніторингу територій гірничопромислових регіонів є оперативність прийняття управлінських рішень. Концепт  $v_8$  присутній у більшості циклів і суттєво впливає на результати генерування рішень на основі когнітивного підходу. Для покращення показників оперативності пропонується наступна когнітивна методологія підтримки прийняття рішень системи аерокосмічного моніторингу.

### Складові когнітивної методології

Когнітивна методологія загалом являє собою інтелектуальну технологію, спрямовану на розробку інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Вона включає методи когнітивного моделювання, когнітивного синтезу, підтримки прийняття управлінських рішень та ін. [9]. Основними складовими методології є введення та обробка даних, введення факторів, когнітивне моделювання, прийняття рішень (рис. 4).

Збір та введення даних базується на застосуванні стандартних алгоритмів завантаження цифрових матеріалів аерокосмічних зйомок (багатоканальних растрових зображень), табличних даних наземних спостережень, виконанні операцій маскування – завдання ділянок інтересу для подальшої обробки, в тому числі створенні векторних полігональних або точкових шарів, що містять просторові або піксельні координати розташування центрів і границь ділянок. Вхідними даними можуть бути зображення, отримані зі сканерів Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+, Landsat-8 OLI/TIRS, Terra ASTER, Terra MODIS, NOAA AVHRR, SPOT, IKONOS, Quickbird-2, WorldView-2 та ін.

Стандартними операціями обробки й аналізу даних є розрахунок показників температури, обчислення вегетаційних індексів та ін. Процедури інтелектуального і просторово-часового аналізу даних повинні включати контрольовану класифікацію аерокосмічних зображень, моделювання екологічних і фізико-хімічних процесів ділянок інтересу та ін. [10].

Побудові когнітивної моделі (1) передують етапи формування переліку факторів системи та визначення характеру відношень між ними.

Аналіз структури когнітивної моделі полягає в дослідженні шляхів і циклів когнітивної моделі, перевірки стійкості системи до зовнішніх впливів, сценарному аналізу, оцінці складності та зв'язності системи та ін.

Сценарний аналіз дозволяє здійснювати моделювання поведінки системи.

За результатами когнітивного аналізу здійснюється декомпозиція когнітивної графової моделі системи – виділення тісно зв'язаних областей, що не перетинаються, синтез системи з заданими властивостями, прийняття рішень [9].

Прийняття управлінських рішень системи аерокосмічного моніторингу ґрунтується на побудові тематичних карт і геоіконічних моделей розташування ділянок інтересу з різними характеристиками екологічного стану, а також візуалізації тематичної інформації на картах і зображеннях високої просторової роздільної здатності картографічних Інтернет-сервісів у форматі, придатному для прийняття рішень ОПП.

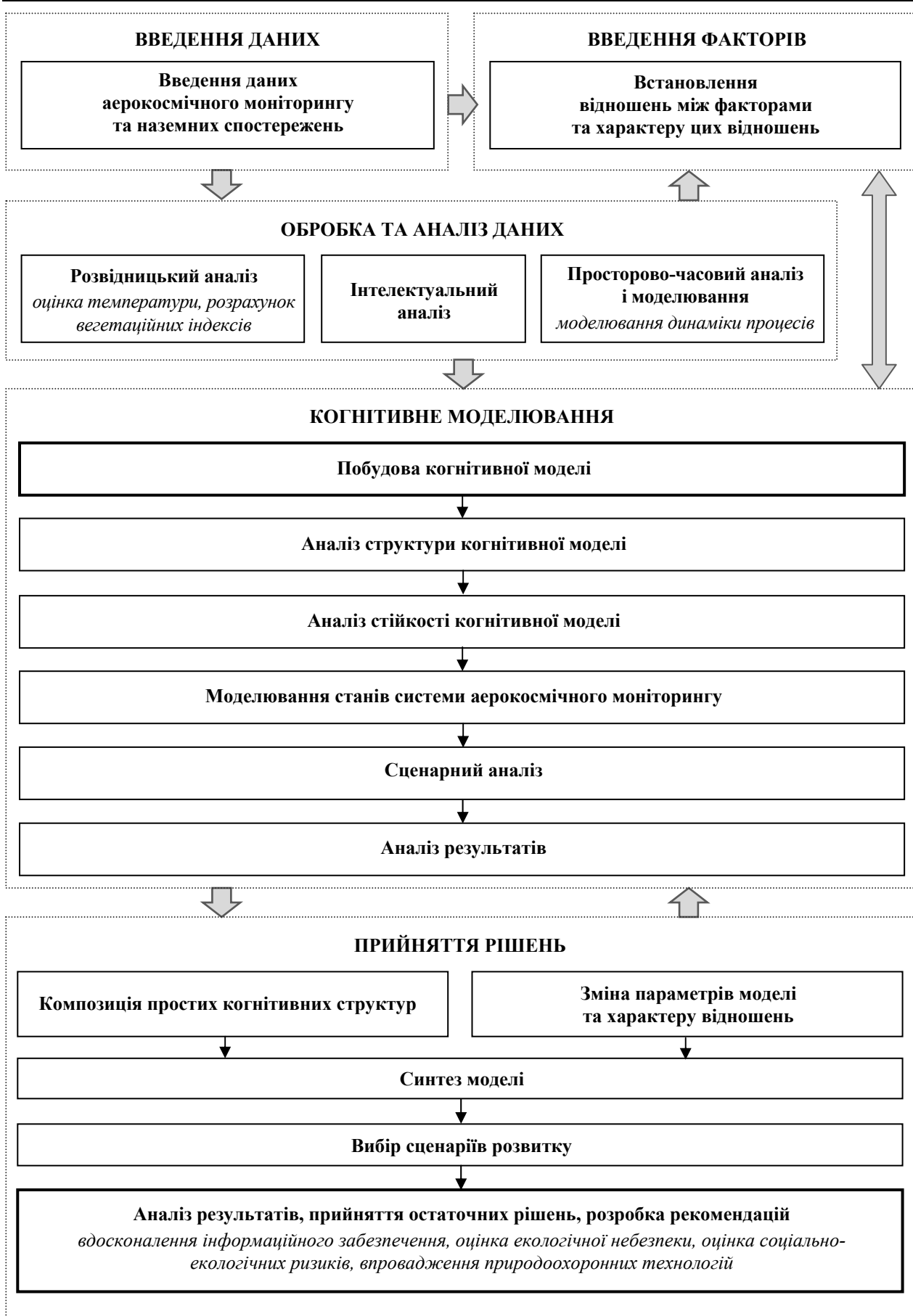


Рис. 4. Схема когнітивної методології підтримки прийняття рішень системи аерокосмічного моніторингу

## Висновки

Створено когнітивну графову модель системи аерокосмічного моніторингу територій гірничопромислових регіонів для формалізації процесу прийняття управлінських рішень. Визначальним фактором системи є розвиток і впровадження інноваційних природоохоронних технологій, який безпосередньо впливає на оперативність прийняття управлінських рішень і соціально-екологічні показники стану навколишнього середовища гірничопромислових регіонів.

На основі когнітивного підходу проаналізовано існуючі причинно-наслідкові зв'язки між ключовими факторами системи.

Запропоновано складові когнітивної методології підтримки прийняття рішень системи аерокосмічного моніторингу.

## Список літератури

1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 247 с.
2. Авдеева З.К. Формирование стратегии развития социально-экономических объектов на основе когнитивных карт / З.К. Авдеева, С.В. Коврига // Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 184 p.
3. Сидоров А.А. Концептуальные основы когнитивного моделирования социально-экономического развития муниципальных образований / А.А. Сидоров, Д.В. Сапрон // Доклады ТУСУРа, 2015. – № 2 (36). – С. 130-135.
4. Модели и механизмы эколого-экономического управления слабоустойчивыми социоприродохозяйственными системами [Электронный ресурс]: монография / авт. коллектив: А.А. Воронин (науч. рук.) [и др.]; под ред.

А.А. Воронина. – Волгоград: Консалт, 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): цв., 12 см. – Систем. требования: x86, процессор 1,0 ГГц и выше; 1 Gb RAM; 1 Gb HDD, Windows XP и выше; CD-ROM дисковод; видеосистема SVGA с разрешением 800×600 и выше. ПО Adobe Reader 9.0 и выше – Загл. с контейнера.

5. Zakharova E.N. Cognitive process modeling of sustainable regional development / E.N. Zakharova, T.V. Martyshina, N.D. Pankratova // Вестник АГУ, 2014. – Выпуск 2 (141). – С. 166-174.

6. Авдеева З.К. Подход к постановке задач управления на когнитивной модели ситуации для стратегического мониторинга / З.К. Авдеева, С.В. Коврига // Управление большими системами. – Выпуск 59. – С. 120-146.

7. Савчук О.В. Когнитивный подход до моделювання і управління слабо-структурованими організаційно-технологічними системами (ситуаціями) / О.В. Савчук, А.П. Ладанюк, Н.Г. Гриценко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – №2/3 (38). – С. 14-18.

8. Gray S.A. Using fuzzy cognitive mapping as a participatory approach to analyze change, preferred states, and perceived resilience of social-ecological systems / S.A. Gray, J.L. De Kok, A.E.R. Helfgott, B. O'Dwyer, R. Jordan, A. Nyaki // Ecology and Society, 2015. – 20(2):11. [Ел. ресурс] <http://www.ecologyandsociety.org/vol20/iss2/art11>.

9. Горелова Г.В. Когнитивный анализ, синтез, прогнозирование развития больших систем в интеллектуальных РИУС / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник, Я.С. Коровин // Штучный интеллект. – 2010. – №3. – С. 61-72.

10. Сергеева К.Л. Автоматизированный анализ космичних зображень териконів / К.Л. Сергеева // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015 – №3. – С. 43-49.

Надійшла до редколегії 17.11.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. науков. співробітник, О.П. Саричев, Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ, Дніпро.

## КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

Е.Л. Сергеева

Предложен когнитивный подход к анализу данных аэрокосмического мониторинга территорий горнопромышленных регионов, обеспечивающий возможность оценки эффективности принятия управленческих решений и генерирования сценарии устойчивого развития. Выполнена формализация факторов, влияющих на возможности принятия решений, в виде математической модели. Создана когнитивная карта, позволяющая выявлять структуру причинно-следственных связей между состояниями различных факторов. Представлена когнитивная методология поддержки принятия решений системы аэрокосмического мониторинга.

**Ключевые слова:** когнитивное моделирование; когнитивная карта; аэрокосмический мониторинг.

## COGNITIVE APPROACH IN THE TASKS OF AEROSPACE MONITORING OF MINING REGION

K.L. Sergieieva

Cognitive approach to analysis of aerospace monitoring data of mining regions is proposed. It allows evaluating the effectiveness of management decisions and generating scenarios for sustainable development. Factors influencing the decision making capability are formalized in the form of a mathematical model. Cognitive map identifying the structure of cause-and-effect connections between states of various factors is created. Cognitive methodology for decision-making support of aerospace monitoring system is presented.

**Keywords:** cognitive modeling; cognitive map; aerospace monitoring.