

ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОШУКУ ЗОН РОЗУЩІЛЬНЕНЬ ПОРІД КОЛЕКТОРІВ ВУГЛЕВОДНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСКРЕТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

М. М. Яцишин, І. З. Лютак, Х. І. Думка, В. В. Процюк, С. О. Дмитренко

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
e-mail:*

Дослідження присвячено розробці нових підходів для прогнозування зон розуцільнень порід-колекторів вуглеводнів з використанням формально-логічного апарату теорії категорій та алгоритму мурашиних колоній. При аналіз предметної області виявлено, що ефективність прогнозування поширення покладів вуглеводнів значно зростає у випадку використання знань про динаміку процесів, які створюють сприятливі умови для формування скупчень вуглеводнів. Здійснено виділення основних інформаційних потоків, які характеризують об'єкт дослідження та виділено дві основні групи: параметри, які безпосередньо характеризують наявність/відсутність розуцільнень, та параметри, які опосередковано характеризують наявність/відсутність розуцільнень. У процесі аналізу існуючих методів та способів прогнозування розуцільнень основним етапом є обробка великих масивів даних, які характеризуються слабкою структуризацією, нечіткістю, низькою достовірністю. Виходячи з цього, запропоновано використовувати формально-логічний апарат теорії категорій з елементами використання засобів дискретних структур та мульти-агентного підходу. З метою формування цільових функцій використано метод найменших квадратів, який з достатньою нам точністю буде математично формалізувати уже структуровані дані. Запропоновано організаційну структуру опису процесу прогнозування розуцільнень порід-колекторів. У процесі формалізації підходу для процесу прогнозування виділено основні параметри, які впливають на нього. Виділено основні типи агентів, які дозволять прогнозувати наявність/відсутність порід колекторів. Використано для виконання поставленого завдання алгоритм мурашиних колоній з метою здійснення глобального пошуку, використовуючи дискретні технології.

Ключові слова: теорія категорій, метод мурашиних колоній, глобальний пошук, зони розуцільнень, породи-колектори, вуглеводні, прогнозування.

The study is devoted to developing new approaches for predicting the zones of the destruction of hydrocarbon reservoir rocks using the formal logical apparatus of category theory and the ant colony algorithm. Upon further examination of the problem, it was revealed that the efficiency of predicting the distribution of hydrocarbon deposits significantly increases in the case of using knowledge about the dynamics of processes that create favorable conditions for the formation of hydrocarbon accumulations. The key information flows that describe the object of research are identified, and two types of parameters are distinguished: parameters that directly characterize the presence or absence of destructions and parameters that indirectly characterize the presence or absence of destructions. The main stage in analyzing existing methods and ways of predicting destruction is processing large data arrays characterized by weak structuring and low reliability. As a result, it is suggested that the formal-logical apparatus of category theory be combined with discrete structural components and a multi-agent method. The least-squares method was used to form the objective functions, which will mathematically formulate already structured data with sufficient accuracy. An organizational structure for anticipating the destruction zones of hydrocarbon reserve rocks is proposed. The major parameters that influence it are discovered during the formalization of the strategy for the prediction process. The existence or absence of reservoir rocks is anticipated using the principal agent classifications. To achieve this purpose, the ant colony approach was used to create a worldwide search using discrete technologies.

Keywords: category theory, ant colony method, global search, fracture zones, reservoir rocks, hydrocarbons, forecasting.

Вступ

У сучасних умовах важливим є розробка нових теоретичних і практичних математичних концепцій для корекції існуючих та розробки нових напрямів геологорозвідувальних підходів, методик та рекомендацій. На даному етапі розвитку нових напрямів, які використовують-

ся для пошукових та оптимізаційних задач, досить динамічно розвивається мультиагентний підхід. Він дозволяє об'єднувати математичні методики, які, за своєю суттю, використовуються для вирішення різнопланових задач.

Актуальність

Ефективність прогнозування поширення покладів вуглеводнів значно зростає у випадку використання знань про динаміку процесів, які створюють сприятливі умови для формування скупчень вуглеводнів. Ефективним є вивчення особливостей геологічної будови, визначення закономірностей розміщення та розвитку геологічних структур, еволюція етапності формування локальних нафтогазоносних покладів. Постседиментаційні, тектонічні та фізико-хімічні процеси зумовлюють зміну первинної будови осадових порід. У результаті цього відбувається зміна фізико-механічних властивостей порід у межах локальних ділянок унаслідок чого створюються ослаблені (розущільнені) зони. У масиві порід такі зони мають хаотичне розташування, локальну структуру і проявляються, як правило, у слабких дисперсних породах (піщаних, глинистих). Важливим наслідком цієї закономірності є те, що в присклепінних зонах підняття практично для будь-яких глибин, впритул до поверхні фундаменту, на антикліналях (куполах) можуть зберігатися високі ємкісно-фільтраційні властивості осадових порід. Тут відбуваються процеси розущільнення, що сприяють утворенню додаткової пористості порід-колекторів вуглеводнів. Тому на перший план виходить створення нових підходів для моделювання розущільнень порід-колекторів та прогнозування зон розущільнень у межах досліджуваних об'єктів.

Постановка завдання

Для прогнозування розущільнень було проведено аналіз інформаційних потоків, які характеризують цей процес. Всі параметри були поділені на дві великі групи:

- параметри, які безпосередньо характеризують наявність/відсутність розущільнень,
- параметри, які опосередковано характеризують наявність/відсутність розущільнень.

Виходячи з такої класифікації, метою даного дослідження буде створення інформаційної системи, яка буде зонально створювати підтримку прийняття рішень для прогнозування розущільнень. Для цього використаємо формально-логічний апарат теорії категорії, мультиагентний підхід та модифіковані мурашині алгоритми.

Структура інформаційної системи

Під час вибору способу і методів побудови структури системи було проаналізовано загальновідомі методи моделювання [1,2]: концептуальне, фізичне, математичне (логіко-

математичне), комп'ютерне (обчислювальне). Зроблено висновок, що для вирішення поставленої задачі підходить інформаційне моделювання, яке вимагає абстрагування від конкретної природи явищ, побудови спочатку якісної, а потім і кількісної моделі. В умовах нафтогазової предметної області даний вид моделювання дозволяє вирішувати завдання, які раніше не можна було розв'язати через велику кількість обчислень. Використання формально-логічного апарату теорії категорій зумовлено тим, що вона вивчає властивості відношень між математичними структурами, не залежно від внутрішньої будови структур; абстрагується від множин та функцій до діаграм, де об'єкти зв'язані морфізмами. Для побудови структури інформаційної системи вибрано мультиагентний підхід. Оскільки поширення технології інтелектуальних агентів зумовлено здатністю моделювати та підтримувати складні технологічні процеси. Опис (моделювання) предметної області здійснюється на основі організаційного контролю, довготермінових організаційних цілей, ролей, обов'язків інтелектуальних агентів, розвитку, підтримки, контролю прийнятих системою рішень. Це дозволяє формування директив, які забезпечують коректну і адекватну роботу як окремих агентів зокрема, так і системи в цілому. Створення мультиагентної системи у такому виконанні здійснюється за допомогою поставлених специфікацій організаційно-проектних рішень, організаційних цілей, вимог до роботи окремих агентів, даних про середовище, у якому проходить процес та які використовуються для формування обов'язків агентів і їх поведінки [3-6]. Відомими перевагами методу моделювання на основі інтелектуальних агентів є гнучкість, пристосовність, здатність до взаємодії з базами даних і базами знань.

Представимо організаційну структуру опису предметної області у вигляді, зображеному на рис.1. Як бачимо, «Агент прийняття рішення про наявність розущільнення» знаходиться на верхньому рівні організації і відповідає за довготривалу ціль, а «Агент для глобального прогнозування розущільнень», «Агент для локального прогнозування розущільнень» і «Агент знань про існуючі методики прогнозування» відповідно відповідають за формування проміжних висновків на основі даних, отриманих як з уже сформованих баз даних, і баз знань, так і на основі даних, які агенти одержують з бази даних.

Нехай Mr^1 – модель предметної області – прогнозування розущільнень. Вихідні дані її опису представляються у вигляді кортежів

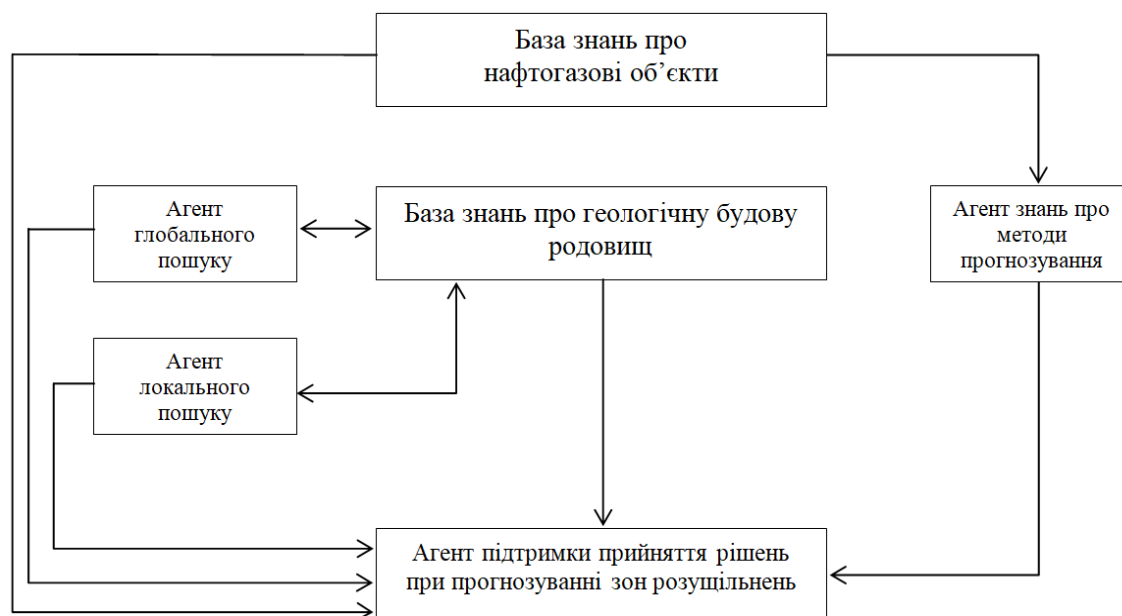


Рисунок 1 - Організаційна структура опису процесу прогнозування розущільнень порід-колекторів

$$Mr^1 = \left\langle \left\langle p_i^1, p_i^2, r_{p_i^1}, r_{p_i^2} \right\rangle \right\rangle, \quad (1)$$

де p_i^1 – специфікація користувача, яка характеризує особливості глобального пошуку за допомогою мурашиного алгоритму (дані про пористість, проникність),

p_i^2 - специфікація користувача, яка характеризує локальний пошук за допомогою бджолиного алгоритму (амплітуда складки, ширина складки, товщина досліджуваного пласта),

$r_{p_i^1}, r_{p_i^2} \in R$ - обмеження, які накладаються на функціональність агентів у просторі станів R .

Організація розподілу вимог агентів задається множиною пар Mr^2 (атрибут - значення):

$$Mr^2 = \left\langle \left\langle h_i, v_{h_i} \right\rangle \right\rangle, \quad (2)$$

де h_i – функціональна особливість агентів. У нашому випадку – це функціональна можливість агентів генерувати попередні висновки щодо утворення відкладів,

$v_{h_i} \in R$ – її значення.

Як базові вводяться ролі, які буде виконувати система для прогнозування розущільнень, а саме: координація потреб і знань (r_1), генерування попередніх висновків (r_2). Якщо агенти, які входять до системи опису процесу прогнозування зон розущільнень порід-колекторів, будуть виконувати приписані ролі, тоді система зробить висновок про можливість наявності зон розущільнень порід-колекторів. Ефективність

функціонування агентів здійснюється координуванням їх організаційної діяльності за допомогою організаційних цілей. За умови існування багатьох координуючих ролей в предметній області потрібно, щоб кожна організаційно-координуюча ціль виконувалась. В даній предметній області ролями для координації множини цілей є отримання даних і знань про геологічну будову на основі багатьох промислових досліджень. Так, наприклад, якщо система зробить висновок про наявність ржу розущільнень порід-колекторів на основі глобального пошуку, то потрібно скоординувати роботу агентів локального пошуку, які підтвердять чи спростують це твердження.

На наступному етапі задаються цілі і підцілі роботи мультиагентної системи. Головна ціль – прогноз наявності/відсутності зон розущільнень порід-колекторів; підцілі - одержання інформації про динаміку зміни властивостей пластової води, тиску, температури, склад порід та про історію розробки відповідного родовища.

Розглянемо організацію самого агента. Метод організації агента визначає, як дані повинні бути концептуально структуровані і які операції доступу можуть бути застосовані до цієї структури. Якщо для типів даних взагалі й абстрактних типів даних важливо, «що» зберігати, то для структур даних важливо, як зберігати. Наприклад, цілочисельний тип даних визначає деяку "сутність", що характеризується наявністю компонента даних і деякої кількості арифметичних операцій. Цей компонент даних не



Рисунок 2 – Структуризація основних параметрів для прогнозування розущільнень

має дробової частини і складається з негативних і позитивних чисел. Специфікація типу даних нічого не "говорить" про те, як цілі числа потрібно використовувати, або як до них одержати доступ. Однак специфікація структури даних (наприклад, стека) визначає список елементів, що зберігаються за принципом "останнім прибув - першим обслужений" (last-in-first-out- LIFO). Іншими словами, елемент, поміщений у стек останнім, повинний бути витягнутий з нього раніше за інші елементи.

Формалізація процесу прогнозування зон розущільнень порід-колекторів вуглеводнів

У процесі проведеного аналізу інформаційних потоків здійснено структуризацію параметрів безпосереднього впливу на процес прогнозування зон розущільнень порід-колекторів (рис. 2).

У ході аналізу існуючих методів та способів прогнозування розущільнень основним етапом є обробка великих масивів даних (7), які характеризуються слабкою структуризацією, нечіткістю, низькою достовірністю. Виходячи з

цього, запропоновано використовувати формально-логічний апарат теорії категорій з елементами використання засобів класичної математики.

З метою формування цільових функцій використано метод найменших квадратів, який з достатньою нам точністю буде математично описувати уже структуровані дані.

Нехай емпірична формула має такий загальний вигляд:

$$y = F(x; a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (3)$$

де a_1, a_2, \dots, a_n — невідомі коефіцієнти. Точність обчислення знайдемо за формулою:

$$\delta_i = y_i - F(x_i; a_1, \dots, a_n) \quad (i=1, 2, \dots, k). \quad (4)$$

Для методу найменших квадратів найкращі значення коефіцієнтів a_1, a_2, \dots, a_m — ті, для яких сума квадратів відхилень найменша.

$$S(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^k \delta_i^2 = \sum_{i=1}^k (y_i - F(x_i; a_1, \dots, a_n))^2. \quad (5)$$

Вважатимемо, що дані змінюються за лінійним законом, і емпірична формула буде мати вигляд:

$$y = ax + b, \quad (6)$$

де коефіцієнти a і b невідомі.

Знайдемо значення a і b , за яких функція $S(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2$ матиме мінімальне значення. Для знаходження коефіцієнтів a і b використано:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}, \quad (7)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}. \quad (8)$$

Отримані емпіричні залежності використаємо як цільові для здійснення глобального пошуку рішень для прогнозування зон розуцільнень порід-колекторів вуглеводнів методом мурашиної колонії.

Використання мурашиного алгоритму для глобального пошуку з метою прогнозування розуцільнень

Основною ідеєю методу мурашиних колоній полягає у вирішенні оптимізаційної задачі шляхом застосування непрямого зв'язку між автономними агентами. Він передбачає, що навколишнє середовище є двовимірною мережею – групою вузлів, з'єднаних за допомогою граней. Кожна грань має вагу, що позначається як відстань між двома вузлами, з'єднаними нею (рис. 3).

Агент забезпечується набором простих правил, які дозволяють йому вибирати шлях у графі. Він підтримує список табу $tList$ – список вузлів, які він вже відвідав.

Таким чином, агент повинен проходити через кожний вузол тільки один раз. Вузли в списку “поточної подорожі” $tList$ розташовуються в тому порядку, у якому агент відвідував їх. Пізніше список використовується для визначення довжини шляху між вузлами. Справжня мураха під час переміщення по шляху залишає за собою деяку кількість феромону. У методі мурашиних колоній агент залишає феромон на гранях мережі після завершення подорожі.

Метод 1 (мурашиний алгоритм) - глобальний пошук

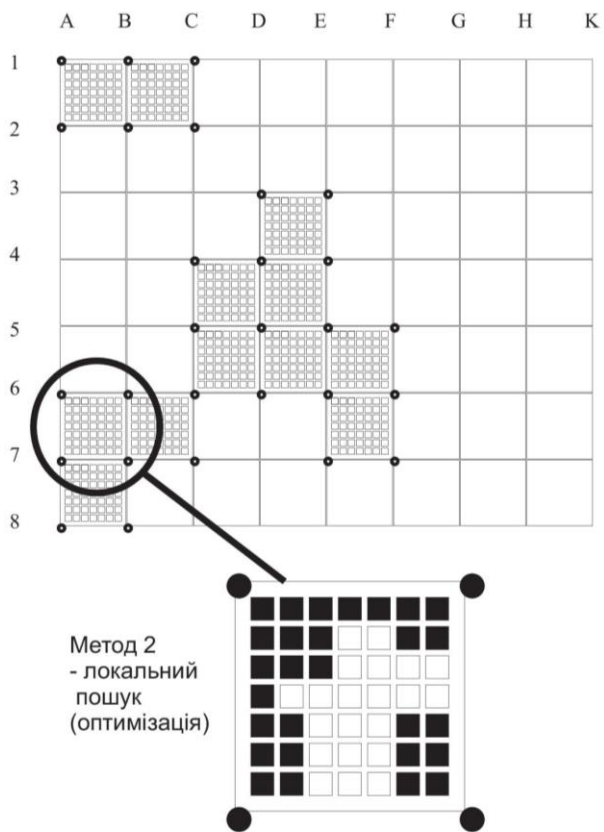
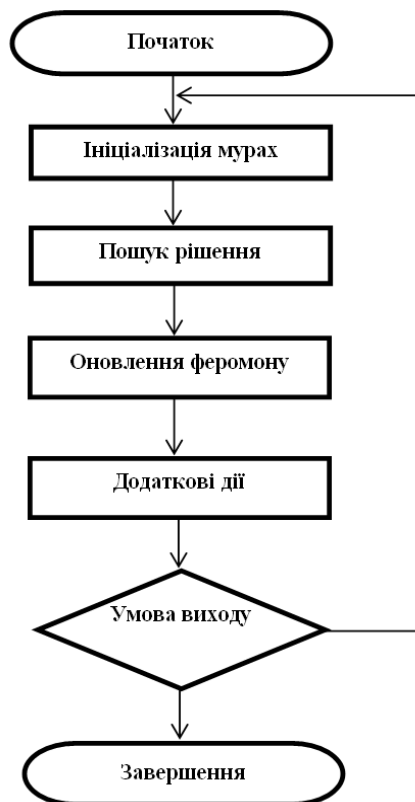


Рисунок 3 – Організаційна структура побудови інтелектуальної системи прийняття рішень про наявність розуцільнень



Нехай «феромон» – проникність, тоді алгоритм глобального пошуку з метою прогнозування розуцільнень буде виконуватись у такій послідовності:

1. Задати параметри методу: α – коефіцієнт, що визначає відносну значимість шляху (кількість феромона на шляху); β – параметр, що означає пріоритет відстані над кількістю феромона; ρ – коефіцієнт кількості феромона, що агент залишає на шляху, де $(1-\rho)$ показує коефіцієнт випару феромона на шляху після його завершення; Q – константу, що відноситься до кількості феромона, яку було залишено на шляху.

2. Створення популяції агентів. Після створення популяція агентів вони нерівномірно розподіляються по вузлах мережі. Рівномірний розподіл агентів між вузлами потрібен, щоб усі вузли мали однакові шанси стати відправною точкою.

3. Рух агентів. Якщо агент ще не закінчив шлях, тобто не відвідав всі вузли мережі, для визначення наступної грані шляху використовується формула:

$$P = \frac{\tau_{ru}(t)^\alpha \cdot \eta_{ru}(t)^\beta}{\sum_{k \in J} \tau_{rk}(t)^\alpha \cdot \eta_{rk}(t)^\beta}, \quad (9)$$

де J – множина граней, ще не відвіданих агентом;

$\tau_{ru}(t)$ – інтенсивність феромона на грані між вузлами r і u , які утворюють k -у грань, у момент часу t ;

$\eta_{ru}(t)$ – функція, що представляє собою зворотну величину відстані грані.

4. Пройдений агентом шлях відображається, коли агент відвідає всі вузли мережі. Цикли заборонені, оскільки в метод включений список табу $tList$. Після завершення може бути розрахована довжина шляху. Вона дорівнює сумі всіх граней, по яких подорожував агент. Кількість феромону, що було залишено на кожній грані шляху i -го агента, визначається за формулою:

$$\Delta \tau_{ru}^i(t) = \frac{Q}{L^i(t)}, \quad (10)$$

де $L^i(t)$ – довжина шляху i -го агента.

Результат є засобом вимірювання шляху: короткий шлях характеризується високою концентрацією феромону, а довший шлях – більш низкою. Потім отриманий результат використовується для збільшення кількості феромону уздовж кожної грані, пройденної i -им агентом шляху:

$$\tau_{ru}(t+1) = \tau_{ru}(t) + (\Delta \tau_{ru}^i(t) \cdot \rho), \quad (11)$$

де r, u – вузли, що утворюють грані, які відвідав i -ий агент.

Дана формула застосовується до всього шляху. При цьому кожна грань позначається феромоном пропорційно довжині шляху. Тому варто дочекатися, поки агент закінчить подорож, і тільки потім оновити рівні феромону. В протилежному випадку дійсна довжина шляху залишиться невідомою. Константа ρ приймає значення між 0 і 1.

$$\tau_{ru}(t) = \tau_{ru}(t) \cdot (1 - \rho). \quad (12)$$

Тому для випаровування феромону використовується зворотний коефіцієнт відновлення шляху $(1 - \rho)$.

5. Перевірка на досягнення оптимального результату може виконуватися для постійної кількості шляхів або до моменту, коли протягом декількох запусків не було отримано повторних змін у виборі найкращого шляху. Якщо перевірка дала позитивний результат, то робота методу завершується (перехід до кроку 7), в іншому випадку – перехід до кроку 6.

6. Після того, як шлях агента завершений, грані оновлені відповідно до довжини шляху, й відбулося випаровування феромону на всіх гранях, метод застосовується повторно. Список табу очищується, і довжина шляху анулюється. Після цього виконується перехід до кроку 3.

7. Визначається кращий шлях, що і є розв'язком.

За допомогою запропонованого алгоритму створено програмний агент для здійснення глобального пошуку з метою прогнозування наявності/відсутності зон розуцільнень порід-колекторів вуглеводнів.

Висновки

У цій статті проаналізовано основні інформаційні потоки, які характеризують процес прогнозування наявності зон розуцільнень порід-колекторів вуглеводнів. Структуровано основні параметри для прогнозування розуцільнень. Створенно інформаційну систему, яка буде зонально створювати підтримку прийняття рішень для прогнозування розуцільнень. Для цього використано формально-логічний апарат теорії категорії, мультиагентний підхід та модифіковані мурашині алгоритми. Здійснено програмну реалізацію інтелектуального агента методом мурашиних колоній. Подальші дослідження будуть направлені на розробку інформаційної системи прогнозування розуцільнень на глобальному рівні.

Література / References

1. Rudowsky I. Intelligent Agentsю *Americas Conference on Information systems*. New York, August 2004.
2. Mark Sims, Daniel Corkill, Victor Lesser. Separating Domain and Coordination in Multi-Agent Organizational Design and Instantiation. *International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2004)*. September 2004. P. 155-161.
3. Tambe M., Adibi J., Alonaizon Y., Erdem A., Kaminka G., Marsella S., Muslea I. Building agent teams using an explicit teamwork model and learning. *Artificial Intelligence*. 1999. No 110. P. 215–240.
4. Decker K., Lesser V. Generalizing the partial global planning algorithm. *International Journal an Intelligent Cooperative Information Systems*. June 1992. Vol. 1(2). P. 319–346.
5. Lesser V., Decker K., Wagner T., Carver N., Garvey A., Horling B., Neiman D., Podorozhny R., Nagendra Prasad M., Raja A., Vincent R., Xuan P., Zhang X. Evolution of the GPGP/TAEMS Domain-Independent Coordination Framework. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. July 2004. Vol. 9(1). P. 87–143.
6. Mayevskiy B.Y., Zderka T.V., Kurovets S.S., Yarema A.V. Lithogenetic fracturing of Oligocene reservoir-rocks of the pre-Carpathian depression. *Journal of Hydrocarbons Mines and Environmental Research*. 2010. No 16. P. 53–59.
7. Krivoulya G., Tokariev V., Ilina I, Shcherbak V. Mathematical Model for Finding Probability of Detecting Victims of Man-Made Disasters Using Distributed Computer System with Reconfigurable Structure and Programmable Logic. *IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology: (PIC S&T)*. 06-09 oct. 2020. Kharkiv, 2020. P. 197–201.
8. Shtovba S. D., Rudyi O. M. Ant Algorithms Optimization. *Visnyk VPI*. 2004. No 4. P. 62–69. [in Ukrainian]
9. Pintea C.-M. Advances in Bio-inspired Computing for Combinatorial Optimization Problems. Heidelberg: Springer, 2014.
10. Karaboga D., Gorkemli B., Ozturk C., Karaboga N. A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications. *Artificial Intelligence Review*. 2014. Vol. 42(1). P. 21–57.
11. Subbotin S. O., Oliinyk A. O., Oliinyk O. O. Neiteratyvni, evoliutsiini ta multyagentni metody syntezy nechitkologichnykh i neiromerezhnykh modelei: monographiia / pid zag. red. S. O. Subbotina. Zaporizhzhia: ZNTU, 2009. [in Ukrainian]