

*Русавський О. О., аспірант,
Ротштейн О. П., д-р техн. наук, професор,
Донецький національний університет імені Василя Стуса*

ЗВОРОТНИЙ ВИСНОВОК НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ КАРТ

Анотація. Запропоновано метод зворотного висновку, необхідний для розв'язання задачі діагностики, тобто оцінки рівнів причин (діагнозів), що призводять до наслідків (симптомів), які спостерігаються в експерименті. Метод орієнтований на прийняття рішень в узагальнених динамічних системах, де початкова інформація задається у вигляді експертних оцінок. В основу методу покладено інтеграцію нечітких когнітивних карт (НКК) і генетичного алгоритму: НКК моделює причинно-наслідкові відношення, а генетичний алгоритм мінімізує відстань між прогнозними і експериментальними значеннями наслідків, які відповідають невідомим причинам. Новизна методу обумовлена врахуванням усіх можливих взаємодій і зворотних зв'язків між змінними стану системи, які впливають на результат діагностики. Метод ілюструється прикладом діагностики автонідприємства.

Ключові слова: причинно-наслідкові відношення, діагностика, нечітка когнітивна карта, генетичний алгоритм, автонідприємство.

Вступ. НКК є ефективним засобом моделювання причинно-наслідкових залежностей в узагальнених динамічних системах [1], до яких належать промислове підприємство, людський організм, економіка окремої країни або групи країн, бойові дії та інші системи, що розглядаються як сукупність взаємопов'язаних об'єктів і процесів, які змінюються з часом. Перевага НКК над нейронними мережами і нечіткими правилами полягає в тому, що вони описуються графами з циклами і дають змогу моделювати взаємні впливи між змінними системи.

У більшості публікацій НКК застосовується для *прямого висновку*, тобто *погляду в майбутнє*, що відповідає задачі *прогнозування* наслідків, які відповідають відомим причинам. Відсутні роботи, де за допомогою НКК здійснюється *зворотний висновок*, тобто *погляд в минуле*, що необхідно для *діагностики системи*, тобто пошуку причин, які відповідають наслідкам, доступним до спостережень.

Мета роботи: дослідження можливості використання НКК для зворотного висновку в задачах діагностики узагальнених динамічних систем.

Результат. Пропонується метод зворотного висновку шляхом інтеграції НКК і генетичного алгоритму:

- НКК розглядають як систему «багато входів – багато виходів», що моделює причинно-наслідкові відносини з урахуванням усіх можливих взаємодій між змінними системи [2].
- Генетичний алгоритм застосовується для мінімізації відстані між прогнозними і експериментальними векторами наслідків (виходів), які відповідають невідомому вектору причин (входів).

Новизна. На відміну від нечітких відношень [3], використання НКК дає змогу враховувати взаємодії між причинами і наслідками, що суттєво впливає на результат діагностики.

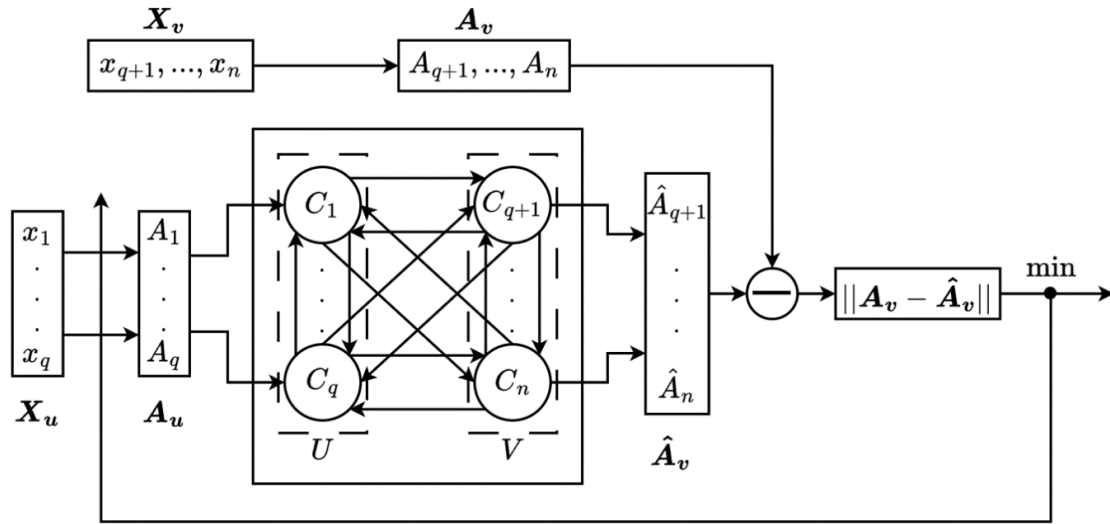


Рисунок 1 – Блок-схема зворотного висновку на основі НКК

Метод. Зворотний висновок зводиться до задачі мінімізації, яка пояснюється блок-схемою на рис. 1, де:

$U = (C_1, \dots, C_q)$ – множина концептів – вхідних змінних (причин);

$V = (C_{q+1}, \dots, C_n)$ – множина концептів – вихідних змінних (наслідків);

$X_u = [x_1, \dots, x_q]$ – вектор невідомих значень вхідних змінних;

$A_u = [A_1, \dots, A_q]$ – вектор рівнів вхідних змінних, $A_i \in [0,1], i = 1, \dots, q$;

$X_v = [x_{q+1}, \dots, x_n]$ – вектор значень вихідних змінних, що спостерігаються в експерименті;

$A_v = [A_{q+1}, \dots, A_n]$ – вектор рівнів вихідних змінних, $A_j \in [0,1], j = q + 1, \dots, n$;

$\hat{A}_v = [\hat{A}_{q+1}, \dots, \hat{A}_n]$ – вектор рівнів вихідних змінних, що прогнозуються за допомогою НКК для заданого вхідного вектора $X_u = [x_1, \dots, x_q]$;

$\|A_v - \hat{A}_v\| = \sum_{i=q+1}^n (A_i - \hat{A}_i)^2$ – відстань між теоретичним (\hat{A}_v) та експериментальним (A_v) векторами рівнів вихідних змінних.

Для переходу від значень вхідних і вихідних змінних до їх рівнів, які оцінюються в інтервалі $[0,1]$, використовуються функції належності нечітких множин перфектності значень змінних.

Задача мінімізації, до якої зводиться зворотний висновок, вирішується за допомогою генетичного алгоритму.

Діагностика автопідприємства. НКК автопідприємства показана на рис. 2.

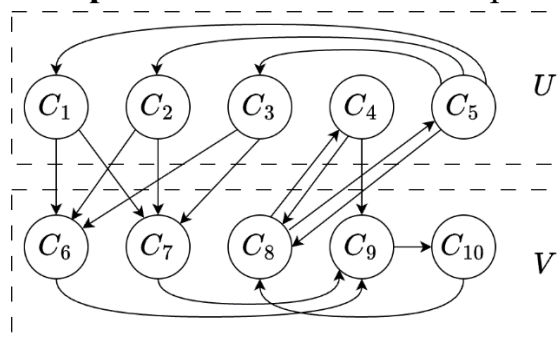


Рисунок 2 – НКК автопідприємства

Ваги дуг графу НКК наведено в [1], а концепти інтерпретуються так:

Концепти-причини: C_1 – надійність водія, C_2 – надійність транспорту, C_3 – невизначеність дорожніх умов, C_4 – послуги пасажирам, C_5 – витрати на забезпечення надійності,

Концепти-наслідки: C_6 – безпека перевезення, C_7 – своєчасність перевезення, C_8 – прибуток підприємства, C_9 – репутація підприємства, C_{10} – замовлення на обслуговування.

Комп'ютерні експерименти проводились за допомогою системи [4].

Табл. 1 містить приклади зворотного висновку для трьох сценаріїв (S), які характеризуються різними вихідними векторами. Табл. 2 люструє рейтинги важливості причин (C_1, \dots, C_5), які впливають на наслідки (C_6, \dots, C_{10}). Рейтинги отримані за допомогою вихідних векторів, які показані біля відповідних наслідків.

Таблиці 1 і 2 показують важливість врахування взаємодій і зворотних зв'язків у причинно-наслідкових відношеннях, оскільки вони впливають на результати діагностики.

Таблиця 1 – Зворотний висновок для трьох сценаріїв діагностики

S	Наслідок (вихідний вектор)	Взаємодія причин і наслідків	
		<i>враховується</i>	<i>не враховується</i>
1	(0.95,1,0.1,1,1)	(0.679,0.996,0.373,0.998,0.994)	(0.941,0.874,0.012,0.198,0.383)
2	(0.15,0.05,0.9,0,0)	(0.291,0.069,0.584,0.005,0.001)	(0.101,0.038,0.967,0.005,0.443)
3	(1,0.75,1,0.25,0.9)	(0.325,0.524,0.082,0.000,0.006)	(0.805,0.514,0.122,0.455,0.304)

Таблиця 2 – Рейтинги причин для різних наслідків

Наслідок (вихідний вектор)	Взаємодія причин і наслідків	
	<i>враховується</i>	<i>не враховується</i>
C_6 (1, 0, 0, 0, 0)		
C_7 (0, 1, 0, 0, 0)		
C_8 (0, 0, 1, 0, 0)		
C_9 (0, 0, 0, 1, 0)		
C_{10} (0, 0, 0, 0, 1)		

Висновки. Інтеграція НКК і генетичного алгоритму забезпечує зворотний висновок з урахуванням можливих взаємодій і зворотних зв'язків між змінними системи. Врахування взаємодій і зворотних зв'язків між причинами і наслідками суттєво впливає на результат діагностики.

Список використаних джерел

1. Нечіткий сценарний аналіз узагальнених динамічних систем / О. П. Зелінська, О. В. Ротштейн, А. А. Кашканов, Д. І. Кательніков. *Кібернетика і системний аналіз*. 2026. № 1 (прийнято до друку).
2. Fuzzy cognitive map and mean square method in empirical modeling: application in economics / A. Rotshtein, A. Yosef, T. Neskorodeva, D. Katielnikov. *Expert systems with applications*. 2024. № 247. 123176. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417424000411>
3. Rotshtein A. P., Rakytyanska H. B. Diagnosis problem solving using fuzzy relations. *IEEE transactions on fuzzy systems*. 2008. Vol. 16, № 3. С. 664–675.
4. Русавський О., Ротштейн О., Зелінська О. Система прогнозування та діагностики на основі нечітких когнітивних карт. *Наука і техніка сьогодні*. 2025. № 5(46). С. 2260–2281. URL: <https://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/24496>