



Г. А. Плехова<sup>1</sup>, С. М. Неронов<sup>2</sup>, М. В. Костікова<sup>3</sup>, Ю. С. Асаєнко<sup>4</sup>, Д. О. Плехов<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>ХНАДУ, м. Харків, Україна, plehovaanna1@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-6912-6520  
<sup>2</sup>ХНАДУ, м. Харків, Україна, sernikner@gmail.com, ORCID iD: 0000-0003-2381-1271  
<sup>3</sup>ХНАДУ, м. Харків, Україна, kmv\_topaz@ukr.net, ORCID iD: 0000-0001-5197-7389  
<sup>4</sup>ХНАДУ, м. Харків, Україна, yzx321123@tutanota.com, ORCID iD: 0009-0002-8181-2846  
<sup>5</sup>ХНАДУ, м. Харків, Україна, plehov@gmail.com, ORCID iD: 0009-0004-7873-1716

## ПРИСТРІЙ ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ГЕТЕРОГЕННИХ ДАНИХ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У роботі запропоновано метод створення пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, що містить передавальну частину пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень та приймальну частину пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, причому передавальна частина пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень та приймальна частина пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень з'єднані між собою послідовно, який відрізняється тим, що до складу пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень додатково введено блок нейро-нечіткого прийняття рішень, блок прогнозування та блок навчання баз знань.

**ОБРОБКА ГЕТЕРОГЕННИХ ДАНИХ, МОДЕЛЬ, СИСТЕМА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ПРОГНОЗУВАННЯ**

**G. A. Pliekhova, S. M. Neronov, M. V. Kostikova, Yu. S. Asaienko, D. O. Pliekhov. Device for processing various types of heterogeneous data in decision support systems.** The paper proposes a method for creating a device for processing heterogeneous data in decision support systems, comprising a transmitting part of the device for processing heterogeneous data in decision support systems and a receiving part of the device for processing heterogeneous data in decision support systems, wherein the transmitting part of the device for processing heterogeneous data in decision support systems and the receiving part of the device for processing heterogeneous data in decision support systems are interconnected in series, which differs in that the device for processing various types of heterogeneous data in decision support systems additionally includes a neuro-fuzzy decision-making unit, a forecasting unit, and a knowledge base training unit.

**HETEROGENOUS DATA PROCESSING, MODEL, DECISION MAKING SYSTEM, FORECASTING**

### Вступ

Запропонований пристрій належить до галузі спеціальної техніки, зокрема, до систем підтримки прийняття рішень. Для системи управління різноманітного призначення є актуальною задачею забезпечення необхідної оперативності та достовірності прийняття рішень.

Відомий пристрій прийняття рішень, що містить блок аналізу та блок прийняття рішень, зв'язані між собою лінією зворотнього зв'язку [1]. До недоліків відомого пристрою прийняття рішень відноситься низька оперативність прийняття рішень.

### Виклад основного матеріалу

Найбільш близьким технічним рішенням, як за суттю, так і задачею, що вирішується, яке обрано за найближчий аналог (прототип), є пристрій обробки різнотипних даних в системах підтримки прийняття рішень, що містить передавальну частину пристрою обробки різнотипних даних в системах підтримки прийняття рішень та приймальну частину пристрою обробки різнотипних даних в системах підтримки прийняття рішень, що з'єднані між собою послідовно [2]. Недоліком пристрою обробки різнотипних

даних в системах підтримки прийняття рішень, який обрано за найближчий аналог (прототип), є низька ефективність адаптації до динамічної зміни навколишньої обстановки та вхідних даних.

В основу розробки покладено задачу шляхом додаткового введення до складу пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень блоку нейро-нечіткого прийняття рішень, блоку прогнозування та блоку навчання баз знань забезпечити в комплексі підвищення оперативності та достовірності прийняття рішень, можливості адаптації параметрів пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень до динамічної зміни навколишньої обстановки, забезпечити можливість прогнозування змін навколишньої обстановки та здійснити корегування бази знань систем підтримки прийняття рішень. Суть моделі пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, що містить передавальну частину пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень та приймальну частину пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, причому передавальна

частина пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень та приймальна частина пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень з'єднані між собою послідовно, який відрізняється тим, що до складу пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень додатково введено блок нейронечіткого прийняття рішень, блок прогнозування та блок навчання баз знань, при цьому приймальна частина пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень з'єднана послідовно з першим входом блоку нейронечіткого прийняття рішень, вихід блоку прогнозування з'єднано з другим входом блоку нейронечіткого прийняття рішень, вихід блоку навчання баз знань з'єднано з третім входом блоку нейронечіткого прийняття рішень, а вихід блоку нейронечіткого прийняття рішень з'єднано з входом передавальної частини пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень.

Рішення технічної задачі в пристрої обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень (що заявляється), дійсно можливе тому, що:

- введення блоку нейронечіткого прийняття рішень дозволяє забезпечити прийняття достовірних рішень з необхідною оперативністю за рахунок зменшення обчислювальної складності;

- введення блоку прогнозування дозволяє забезпечити короткострокове прогнозування змін вихідної обстановки з необхідною оперативністю за рахунок представлення зміни оточуючої обстановки в вигляді часових рядів;

- введення блоку навчання баз знань дозволить проводити корегування параметрів баз знань та забезпечити необхідну достовірність прийнятих рішень, проводити корегування помилок, що виникають в ході роботи системи підтримки прийняття рішень.

Суть моделі пояснюється за допомогою креслень, де на рис. 1 показано блок-схему пристрою обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, що заявляється. Пристрій 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, що заявляється, містить (див. блок-схему на рис. 1) приймальну 2 частину пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, блок 3 нейронечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, передавальну 4 частину пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень та блок 5 прогнозування пристрою 1 обробки різнотипних

гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень та блок 6 навчання баз знань пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень.

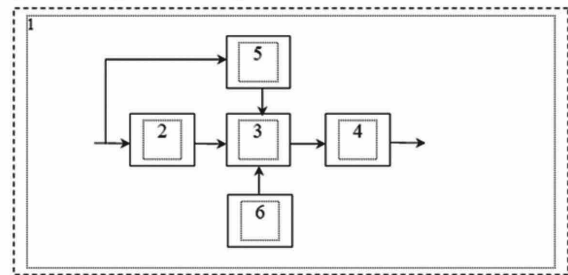


Рис. 1. Функціональна схема запропонованої системи

При цьому в пристрої 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень конструктивні елементи з'єднано між собою таким чином:

- вихід приймальної 2 частини пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень з'єднано з першим входом блоку 3 нейронечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень;

- вихід блоку 5 прогнозування пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень з'єднано з другим входом блоку 3 нейронечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень;

- вихід блоку 3 нейронечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень з'єднано з входом передавальної 4 частини пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень;

- вихід блоку 6 навчання баз знань пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень з'єднано з третім входом блоку 3 нейронечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень.

Пристрій 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, (що заявляється) працює таким чином.

На вхід приймальної 2 частини пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень надходить інформація, яку необхідно обробити, а також ця інформація надходить на вхід блоку 5 прогнозування пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень. З виходу приймальної 2 частини пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень інформація для обробки надходить на перший вхід

блоку 3 нейро-нечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, а з виходу блоку 5 прогнозування пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень результати прогнозу надходять на другий вхід блоку 3 нейро-нечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень.

Сутність прогнозування, що відбувається в блоці 5 прогнозування пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень полягає в представленні динаміки зміни оточуючої обстановки в вигляді часових рядів, а також відповідної екстраполяції зміни оточуючої обстановки на певну кількість часових інтервалів вперед.

Основою для роботи блоку 3 нейро-нечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень обрано метод Rete. Основним недоліком методу Rete є те його робота тільки з чіткими продукціями, що не дозволяє його використовувати при обробці різнотипних гетерогенних даних.

Обробка інформації в блоці 3 нейро-нечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різнотипних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень має наступну послідовність.

*Дія 1 Введення вихідних даних.*

*Дія 2 Формування бази знань (БЗ) з урахуванням невизначеності.*

Формальна модель нейро-нечіткої бази правил буде мати вигляд (1)

$$\{P_n\} = \{Rule\}, \quad (1)$$

де *Rule* – правило нейро-нечіткої експертної системи. Кожне правило визначається наступним чином (2):

$$Rule = \langle C \rightarrow S \rangle, \quad (2)$$

де *C* – умова правила; *S* – наслідок правила.

Оскільки модель повинна забезпечувати подання граматичної структури правил з різного виду вкладеними умовами, буде використаний рекурсивний механізм опису вузлів і кінцевих вершин дерева умови правила. Параметр *C* визначається наступним чином (3):

$$C = \langle C_l, R, C_r \rangle, \quad (3)$$

де *C<sub>l</sub>* – лівий вузол умови правила; *R* – відношення між вузлами правил; *C<sub>r</sub>* – правий вузол умови правила.

Далі розглянемо наведені параметри.

$$C_l = FC_l \parallel Null \parallel C, \quad (4)$$

$$C_r = FC_r \parallel Null \parallel C, \quad (5)$$

де *FC<sub>l</sub>* – ліва кінцева трійка умови правила; *FC<sub>r</sub>* – права кінцева трійка умови правила.

Формули (4) та (5) дозволяють описати умови з різним ступенем вкладеності.

$$FC_l = \langle L, Z, W \rangle, \quad (6)$$

$$FC_r = \langle L, Z, W \rangle, \quad (7)$$

де *L* – лінгвістична змінна; *Z* – знак умови,  $Z = \{<, >, <=, >=, =, !=\}$ ; *W* – значення умови, яке визначається наступним чином (8):

$$W = L \parallel V, \quad (8)$$

де *L* – лінгвістична змінна; *V* – фіксоване значення (9).

$$V = T_i \parallel const, \quad (9)$$

де *T<sub>i</sub>* – значення нечіткої змінної з терм-множин лінгвістичної змінної; *const* – константа. Зазначена модель допускає використання не тільки лінгвістичних змінних, але й класичних змінних. В цьому випадку їх значення може порівнюватися також з константами.

*R* – множина відношень між вузловими вершинами.  $R \subset (C_l \times C_r)$  або  $R: C_l \rightarrow C_r$ .

Аналогічно параметру *C* визначається параметр *S* – наслідок правила.

$$S = \langle S_l, R, S_r \rangle, \quad (10)$$

де *S<sub>l</sub>* – лівий вузол наслідку правила; *R* – відношення між вузлами наслідку правила; *S<sub>r</sub>* – правий вузол наслідку правила.

$$S_l = FS_l \parallel Null \parallel S, \quad (11)$$

$$S_r = FS_r \parallel Null \parallel S, \quad (12)$$

де *FS<sub>l</sub>* – ліва кінцева трійка наслідку правила, *FS<sub>r</sub>* – права кінцева трійка наслідку правила. Формули (11) та (12) дозволяють описати наслідки з різним ступенем вкладеності.

$$FS_l = \langle L, Op, W \rangle, \quad (13)$$

$$FS_r = \langle L, Op, W \rangle, \quad (14)$$

де *L* – лінгвістична змінна; *Op* – операція,  $Op = \{:=\}$ ; *W* – значення наслідку.

*Дія 3. Пошук кінцевих трійок та навчання штучних нейронних мереж (ШНМ).*

На даному етапі роботи по методу Rete виконується пошук близьких кінцевих трійок у всіх правилах продукційної бази знань. Знайдені відповідності між кінцевими трійками позначаються. У правилах встановлюються посилання такі кінцеві трійки для забезпечення їх одноразової обробки. На відміну від класичних нейро-нечітких експертних систем, в зазначеній нейро-нечіткій експертній системі в якості штучної нейронної мережі пропонується використовувати нейро-нечітку еволюційну мережу. Також на зазначеному етапі відбувається навчання параметрів та архітектури штучної нейронної мережі.

Розглянемо алгоритм пошуку відповідностей кінцевих трійок дерева рішення.

Вхідні дані: *Rule* – база правил, представлена у вигляді дерева рішень.

Вихідні дані:  $Rule'$  – скорочена база правил, представлена у вигляді дерева рішень. Проміжні дані:  $FC_i$  та  $FC_j$  – поточні кінцеві трійки.

Крок 3.1. Спочатку роботи алгоритму всі кінцеві трійки не помічені (не перевірені),  $m$  – кількість кінцевих трійок. Встановити початкове значення  $i=1$ .

Крок 3.2. Якщо  $i > m$ , то до кроку 3.11.

Крок 3.3. Якщо  $FC_i$  помічена, то  $i=i+1$  та до кроку 3.2.

Крок 3.4. Вибрати  $FC_i$ . Встановити  $j=1$ .

Крок 3.5. Якщо  $j > m$ , то помітити  $FC_i$ , як проглянуту кінцеву трійку та перейти до кроку 3.2.

Крок 3.6. Якщо  $FC_j$  помічена, то  $j=j+1$  та до кроку 3.5.

Крок 3.7. Обрати  $FC_j$ . Виконати процедуру перевірки близькості кінцевих вузлів та кінцевих трійок  $FC_i$  та  $FC_j$ .

Крок 3.8. Якщо результат успішний, то додати  $FC_j$  в список відповідей для  $FC_i$ ,  $FC_j$ , кінцеву трійку, що була перевірена.

Крок 3.9. Визначення помилки навчання. Прийняття рішення щодо навчання ШНМ з урахуванням типу невизначеності.

Крок 3.10. Перейти до кроку 3.2.

Крок 3.11. Кінець.

З виходу блоку 6 навчання баз знань пристрою 1 обробки різномісних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень на третій вхід блоку 3 нейро-нечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різномісних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень надходить корегувальна послідовність. Основним функціональним призначенням блоку 6 навчання баз знань пристрою 1 обробки різномісних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень є корегування синаптичних ваг ШНМ, виду та параметрів функції належності, а також архітектури ШНМ, що покладена в основу функціонування блоку 3 нейро-нечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різномісних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень. Оброблена інформація з виходу блоку 3

нейро-нечіткого прийняття рішень пристрою 1 обробки різномісних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень надходить на вхід передавальної 4 частини пристрою 1 обробки різномісних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень для подальшої передачі споживачу.

Підвищення оперативності та достовірності прийняття рішень, можливість прогнозування змін оточуючої обстановки досягається за рахунок введення блоку нейро-нечіткого прийняття рішень пристрою обробки різномісних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень, блоку навчання баз знань пристрою обробки різномісних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень та блоку прогнозування пристрою обробки різномісних гетерогенних даних в системах підтримки прийняття рішень.

## Висновки

Технічний результат: Забезпечення в комплексі підвищення оперативності та достовірності прийняття рішень, можливості адаптації параметрів до динамічної зміни навколишньої обстановки та забезпечення можливості прогнозування змін навколишньої обстановки.

## Список літератури

- [1] Shyshatskyi, A., Dmytriieva, O., Lytvynenko, O., Borysov, I., Vakulenko, Y., Mukashev, T., Mordovtsev, O., Kashkevich, S., Lyashenko, A., Velychko, V. Development of a method for assessing the state of dynamic objects using a combined swarm algorithm. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024, Vol. 3, No. 4 (129), pp. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304131>.
- [2] Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T., Yefymenko, A., Kalashnikov, Y., Petruk, S., Shyshatskyi, A. Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2019, Vol. 5, No. 9 (101), pp. 35–45. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>.

Надійшла до редколегії 12.03.2025