

УДК 004.891

В.Д. Хох, Є.В. Мелешко, М.С. Якименко

Кіровоградський національний технічний університет, Кропивницький

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

*Розглянуто методи побудови семантичних, фреймових, продукційних та нейромережових експертних систем, досліджені їх переваги та недоліки. Наведені основні принципи функціонування експертних систем.*

**Ключові слова:** експертні системи, семантичні мережі, фреймові експертні системи, продукційні експертні системи, нейронні мережі

### Вступ

Експертні системи представляють собою напрямки систем штучного інтелекту, що здатні частково замінити спеціалістів експертів у рішенні певних практичних задач.

Експертні системи – це інтелектуальні програмні засоби, здатні у ході діалогу з людиною одержувати, накопичувати та коригувати знання із заданої предметної галузі, виводити нові знання, розв'язувати на основі цих знань практичні задачі та пояснювати їх хід розв'язку [1].

Існує ряд прикладних задач, які вирішуються за допомогою експертних систем, більш успішно, ніж будь-якими іншими засобами.

Експертні системи доцільно використовувати, якщо предметна область відповідає наступним критеріям: дані і знання надійні і не змінюються з часом, множина можливих рішень відносно невелика, у процесі виконання завдання повинні використовуватися формальні міркування, повинен бути принаймні один експерт, який здатний явно сформулювати свої знання і пояснити свої методи застосування цих знань для вирішення задач [1 – 3]. Области застосування експертних систем можуть бути поді-

лені на декілька основних класів: діагностика (медична, несправностей тощо), прогнозування, планування, управління, машинне навчання та інтерпретація (отримання висновків на основі результатів спостереження) [2].

**Метою даної статті** є дослідження основних методів побудови експертних систем.

### Основна частина

Було проведено дослідження наступних видів експертних систем:

- семантичні експертні системи;
- фреймові експертні системи;
- продукційні експертні системи;
- нейромережові експертні системи.

Розглянемо спочатку загальну структуру експертної системи [1 – 6] (рис. 1).

У створенні експертних систем повинні брати участь фахівці як мінімум двох категорій [1]:

- експерти, що є висококваліфікованими працівниками у даній предметній області, знання яких потрібно передати експертній системі;
- інженери знань, що здійснюють формалізацію знань експертів та приводять їх до вигляду, придатного для внесення у базу знань.

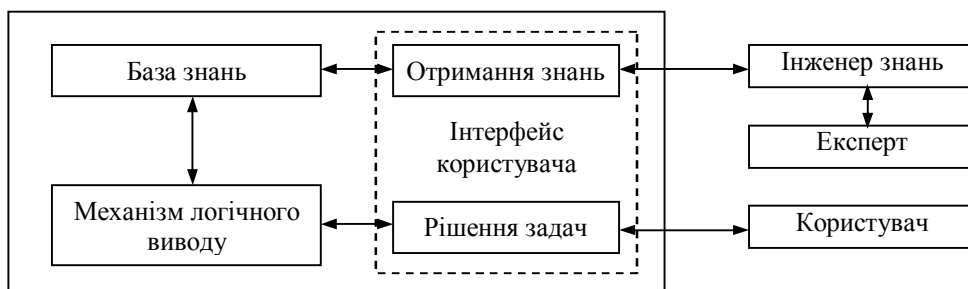


Рис. 1. Загальна структура експертної системи

**База знань.** Основу експертної системи складає база знань, що зберігає множину фактів і набір правил, отриманих від експертів, чи зі спеціальної літератури. База знань відрізняється від бази даних тим, що в ній між даними існують певні логічні зв'язки. У базі знань елементи пов'язані як між собою та з поняттями зовнішнього світу. Вона містить

два основних елементи: факти (дані) з предметної області і спеціальні евристичні або правила, які керують використанням фактів при вирішенні проблеми. Знання можуть бути представлені декількома способами: логічною моделлю, продукціями, фреймами і семантичними мережами.

**Машина логічного виводу.** Головний елемент

експертної системи, що робить пошук в базі знань для отримання рішення та здійснення висновку. Використовуються для моделювання міркувань, опрацювання питань і підготовки відповідей.

**Інтерфейс користувача.** Інтерфейс користувача повинен забезпечувати два режими роботи: режим отримання знань і режим рішення задач. У режимі отримання знань експерти за посередництва інженерів знань заповнюють базу знань. У режимі рішення задач користувач використовує систему як довідник, або як засіб для рішення певної практичної задачі.

Базові функції експертних систем: одержання знань, представлення знань, управління процесом пошуку рішень, роз'яснення прийнятого рішення.

**Семантичні експертні системи.** В семантичних експертних системах база знань представлена у

виді семантичної мережі. Семантичні мережі являють собою граф вершинами, якого є певні образи (поняття), а ребра визначають відносини між ними [1, 2, 6].

Семантичні мережі можна розділити на два великі класи: перший – це семантичні мережі сутностей, які відображають відносини між певними сутностями (образами) та семантичні мережі атрибутів – ці мережі відображають взаємозв'язок сутності до певних атрибутів/властивостей, які притаманні їм.

Безперечною перевагою семантичних мереж є можливість оперувати складними поняттями і навіть враховувати певні їхні властивості, є можливість навчити систему самостійно, додавати нові поняття і намагатися «впелити» їх у вже існуючу мережу.

На рис. 2 зображено загальну схему семантичної мережі атрибутів.

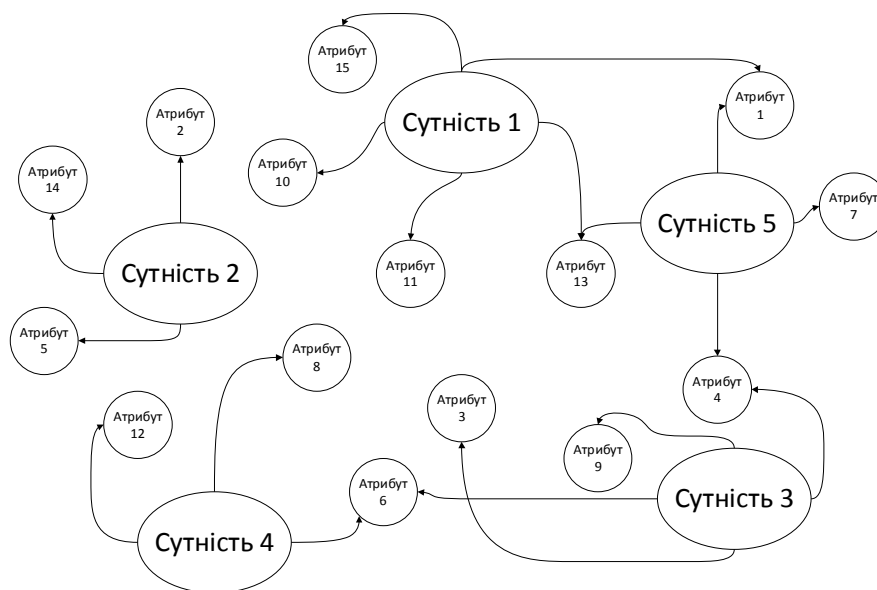


Рис. 2. Загальна схема семантичної мережі атрибутів

Семантичні мережі дуже наглядні, їх зручно будувати та читати, але у той же час немає чітко визначених норм, щодо їх побудови. Також не визначено механізмів усунення конфліктів. Семантичні мережі оперують об'єктами, у тому числі визначаючи їх наслідування, у таких мережах виникають характерні для такого роду діяльності проблеми, наприклад, «алмаз Ніксона» – проблема багаторазового наслідування. Також семантичні мережі по мірі свого заповнення втрачають властивості зручного доповнення та інформативності. Система, яка працює з подібною моделлю представлення знань повинна мати досить великий запас механізмів вирішення конфліктів. До того ж, система буде ефективною лише до досягнення певної кількості сутностей, після чого буде виникати надто велика кількість конфліктів, яка може знищити мережу. За допомогою семантичних мереж можна дуже добре робити певні висновки дедуктивним методом, але йому бракує абстракції.

Семантична мережа – це зручний інструмент для аналізу та побудови моделі середовища, застосування експертної системи та визначення проблемної області, однак, має обмежений інструментарій вирішення конфліктів, не має формальних правил доповнення, що зумовлює ще більшу кількість ситуацій, при яких виникають конфлікти. Експертній системі заснованій на семантичній моделі представлення знань не забракне у дедукції, але не вистачить абстракції для вирішення задач, що стоять перед розроблюваною системою.

**Фреймові експертні системи.** Фреймове представлення знань може вирішити питання недостатньої «поінформованості» експертної системи, оскільки, працює одразу з великою кількістю інформації стосовно певної сутності/об'єкту, до того ж, у «тілі» фрейму є інформація про семантичні зв'язки об'єкта, і навіть більше, у фреймі є закріплені за ним процедури, які він може виконати при певних умовах [2, 5,

6]. У фреймовій моделі представлення знань також є можливість робити логічні стрибки, тобто, система не буде висновки на монотонній дедукції, ідучи від одного об'єкта семантичного ланцюга до іншого [2]. У фреймах є можливість наслідування одного фрейму іншими, що дає можливість значно скоротити кількість використаної пам'яті, а також, значно покращи-

ти розуміння бази знань людиною, що надає більше можливостей для її доповнення та оптимізації. Фреймова модель має потенціал для комбінування різноманітних моделей представлення знань, що дозволяє компенсувати деякі мінуси системи або систем представлення знань, що унаслідуються. Простий приклад мережі фреймів зображено на рис. 3.

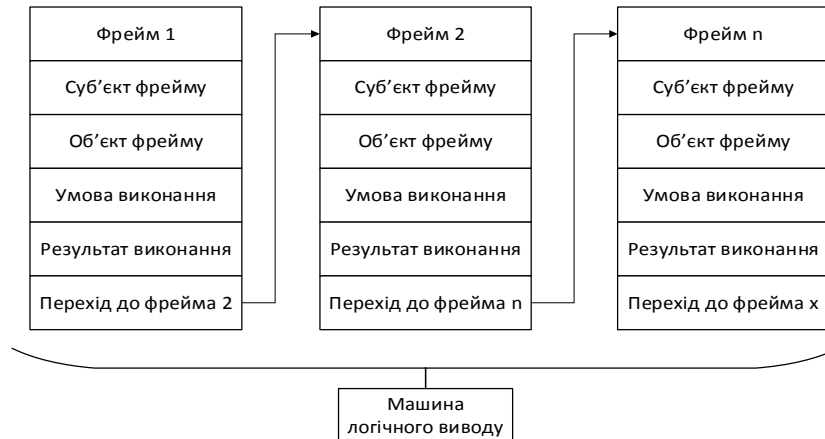


Рис. 3. Приклад мережі фреймів

Що стосується мінусів фреймового представлення знань, то тут однією з найголовніших можливо виділити проблему пов'язану з тим, що фрейм сам по собі відображає досить складний фрагмент певних знань, а тому видалення фрейму з бази даних досить болюча процедура і вимагає при проведенні брати до уваги і всі фрейми, які наслідують фрейм, що видалається і фрейми, які наслідують фрейм, не кажучи вже про те, що видалення фрейму може призвести до розриву семантичних зв'язків у системі. Також видалення фрейму може призвести (в залежності від архітектури системи) до втрати інформації по цілому об'єкту і, відповідно, система більше не зможе працювати з ним. Для фреймів відсутня формальна теорія виводу, а отже, всі питання пов'язані з організацією ієрархії фреймів лежать на людині, що розробляє/проектуює базу знань.

**Продукційні експертні системи.** Продукційна модель представлення знань відрізняється з-поміж інших простотою у розумінні, і це пов'язано, перш за все, з тим, що більшість людських думок виражаються за допомогою правил «якщо – то», але, не дивлячись на це, подібна система представлення знань є досить складною, це в великій мірі залежить від складності організації знань такою системою [2, 6]. Класичним прикладом продукції є імплікація – якщо А то В, де А та В є елементами деякої множини С, тобто вони є елементами/об'єктами з однієї предметної області. Але для використання у експертних системах цього замало, тому зараз продукція складається з унікального номера, назви області застосування, ядра продукції (імплікація), правила застосування (якщо набуває значення істини, продукція виконується) і деяких процедур, які будуть виконані у разі

спрацювання ядра продукції. Значним мінусом такої системи є досить повільні алгоритми застосування продукції. До того ж, як і у випадку з фреймовим представленням знань, у продукції немає формальних інструментів організації та застосування. Це призводить до наступної проблеми – по мірі заповнення бази знань продукціями буде виникати все більше конфліктів. Вважається, що база знань, в якій є більше тисячі продукцій є недієспроможною. До того ж, пошук та вибірка певної продукції вимагає значних обчислювальних ресурсів. Але, незважаючи на мінуси окресленні вище, продукційні моделі представлення знань широко використовуються, наприклад, у фінансовій сфері для обчислення можливого руху ринку. Найбільш відомою такою системою є RETE [4] – створена Чарльзом Форгі з університету Карнегі, вперше була описана у 1974 році.

Основними елементами експертної системи на основі продукційного представлення знань є [2]:

- **база знань**, в якій зберігаються продукції;
- **вирішувач** – елемент системи, що, крім застосування та пошуку продукцій і виконання їх функціонального блоку, вирішує різноманітні конфлікти;
- **фактологічна база** – відображає ту предметну область, в якій працює експертна система;
- **робоча пам'ять** – містить продукції, які чекають на своє застосування або множину продукцій, що очікують на вирішення конфлікту, який виник через те, що всі вони відповідають поточним критеріям пошуку.

Отже система працює наступним чином – є певний стан зовнішнього світу, який системі представлений у вигляді фактологічної бази, і є певна задача – перевести поточне середовище у деякий інший

стан, на основі цього вирішувач (ця функція може бути надана іншому об'єкту, в залежності від архітектури системи) починає пошук по базі знань у пошуках продукції, результат роботи якої вказує на необхідну зміну у фактологічній базі, знаходячи таку продукцію, надсилає її в робочу пам'ять, коли вирішувач дійшов кінця бази знань – починається вирішення конфліктів у робочій пам'яті та застосування і видалення продукцій з неї. При застосуванні продукції фактологічна база певним чином змінюється в залежності від функціонального блоку продукції, процес повторюється доки система не переведе фактологічну базу у належний стан.

Реалізація алгоритму, за яким вирішувач йде

від продукції до продукції послідовно по всій базі знань, називається наївною. При використанні цього алгоритму вирішувач будує граф (префіксне дерево), вузли якого відповідають частинам умов правил. Шлях від кореня до листа графу вибудовує повну умову деякої продукції. В процесі роботи кожен вузол зберігає список фактів, що відповідають умові. При додаванні або модифікації факту він проходить по графу, і при цьому відмічаються вузли, умовам яких даний факт відповідає. Коли виконується повна умова, коли вирішувач дістається листа графу – правило виконується. Загальний вигляд реалізації «наївного» алгоритму обробки продукційної моделі представлення знань зображено на рис. 4.

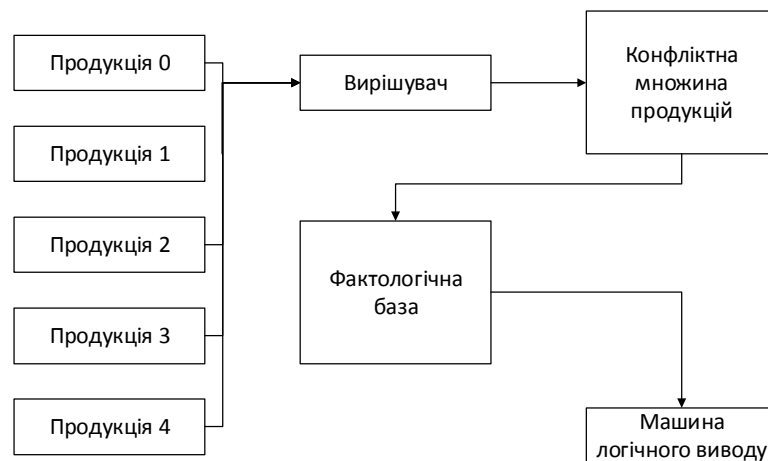


Рис. 4. Схема "наївного" алгоритму обробки продукційної моделі представлення знань

**Нейромережеві експертні системи .** Такі експертні системи використовують нейронні мережі для навчання. Нейронні мережі являють собою математичну модель, що побудована за принципом функціонування біологічних нейронних мереж [1-3]. Їх доцільно використовувати, якщо є велика кількість даних для навчання мережі, а внутрішні закономірності між даними невідомі або їх складно описати.

Штучні нейронні мережі складаються із з'єднаних між собою штучних нейронів, які взаємодіють між собою. Кожен такий нейрон досить простий і має справу лише з певним сигналом, який отримує, та сигналом, який він обробивши надсилає іншим нейронам. Завдяки тому, що такі нейрони, зазвичай, об'єднують у досить великі мережі, а їх взаємодія контролюється – нейронна мережа може виконувати досить складні задачі.

Загальну схему роботи нейрона у нейронній мережі можна побачити на рис. 5.

Нейрон отримує деякі сигнали на своїх входах ("синапсах"), кожен з яких має свою "вагу", після чого виконується розрахунок зваженої суми сигналів на входах. Наступним кроком є застосування до отриманого значення зваженої суми, так званої функції активації. Значення одержане після застосування функції активації направляється на вихід нейрона

("аксон"), аксон передає сигнал у наступний шар нейронів, або на вихід мережі, в залежності від того де розташований даний нейрон. Після отримання сигналу на виході нейромережі, програмне забезпечення обробляє та інтерпретує вихідний сигнал.

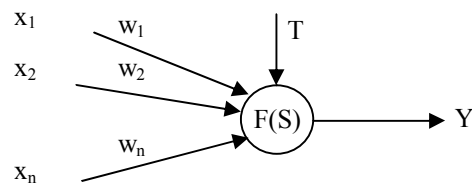


Рис. 5. Загальна схема роботи нейрона у штучній нейронній мережі [2, 3]:

- $x_1 - x_n$  – входи нейрона (синапси);
- $w_1 - w_n$  – вагові коефіцієнти входів;
- $S$  – зважена сума входів нейрона;
- $F(S)$  – функція активації нейрона;
- $T$  – порогове значення (значення, після якого нейрон переходить у стан збудження), є не у всіх типів штучних нейронів;
- $Y$  – вихід нейрона (аксон).

Зважена сума  $S$  обчислюється за наступною формулою:

$$S = x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + \dots + x_n \cdot w_n. \quad (1)$$

Функція активації  $F(S)$  – визначає залежність сигналу на виході нейрона від зваженої суми сигнала

лів на його входах. В якості функції активації можуть використовуватися: лінійна функція, порогова функція, сигмоїдальна функція тощо. Завдяки можливості обробити за допомогою однієї мережі велику кількість даних та досить простої процедури керування точністю вихідних даних, завдяки гнучкості системи та можливості її навчання та перенавчання нейронні мережі широко застосовуються для розпізнання різноманітних образів – наприклад, голосу, рукописного тексту або образів на фото та відео.

Нейронні мережі використовуються для вирішення складних задач, які вимагають аналітичних обчислень подібних тим, що робить людський мозок. Найпоширенішими застосуваннями нейронних мереж є: класифікація, прогнозування, розпізнавання, управління. На жаль, навчання нейромережі заняття кропінкою і вимагає, іноді, великої кількості часу. Проблему також становить ситуація, коли нейрону мережу необхідно навчити працювати із складними поняттями, зв'язувати їх у більш складні поняття і результатом роботи мережі повинен бути досить великий набір значень, до того ж досить чіткий. Таку мережу складно проектувати, оскільки нейронна мережа може працювати з певною точністю лише з обмеженою кількістю "образів", до того ж досить певного, визначеного типу. Разом із зростанням кількості таких образів – точність мережі знижується. Складні нейромережі вимагають значних обчислювальних ресурсів, а із зменшенням цих ресурсів збільшується або час роботи мережі, або зменшується її точність.

## Висновки

Експертні системи дозволяють вирішувати наступні класи задач: діагностика, прогнозування, планування, управління, розпізнавання, машинне навчання та інтерпретація. Вони дозволяють автоматизувати роботу експертів у різних галузях знань.

У створенні експертних систем беруть участь експерти та інженери знань. Основними складовими елементами експертних систем являються: система отримання знань, база знань, система рішення задач та механізм логічного виводу. В статті досліджено основні методи побудови експертних систем –

семантичні мережі, фреймові експертні системи, продукційні експертні системи та експертні системи на основі нейронних мереж, досліджені їх переваги та недоліки. Різноманітність моделей представлення знань експертних систем дозволяє обрати саме ту, яка необхідна для вирішення поставленої задачі в певній предметній області.

Продукційні експертні системи зручно використовувати для представлення знань, які можуть приймати форму переходу між станами: ситуація-дія, факт-висновок і т.д. Семантичні та фреймові експертні системи зручно використовувати, коли добре відомі семантичні зв'язки між об'єктами, інформацію про які слід помістити в базу знань. Нейронні мережі можуть бути корисними, коли внутрішні закономірності між даними невідомі або їх складно описати, а задачі, які ставляться перед експертною системою вимагають аналітичних обчислень.

## Список літератури

1. Глибовець М.М. Штучний інтелект: Підручник / М.М. Глибовець, О.В. Олецкий. – К.: Вид. дім "КМ Академія", 2002. – 366 с.
2. Болотова Л.С. Системи искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях / Л.С. Болотова – М.: Финансы и Статистика, 2012. – 663 с.
3. Литвин В.В., Пасічник В.В., Нікольський Ю.В. Аналіз даних та знань [Навчальний посібник] – Львів: "Магнолія 2006", 2015. – 276 с.
4. Doorenbos R. Production Matching for Large Learning Systems [Електронний ресурс] // Computer Science Department Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA – Режим доступу до матеріалу стаммі: <http://reports-archive.adm.cs.cmu.edu/anon/1995/CMU-CS-95-113.pdf>.
5. Братко И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG, 3-е издание – М.: Изд. дом "Вильямс", 2004. – 640 с.
6. Верес О.М. Технології підтримки прийняття рішень. 2-ге видання [Навчальний посібник] – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 252 с.

Надійшла до редколегії 18.09.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.О. Можасв, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

В.Д. Хох, Е.В. Мелешко, Н.С. Якименко

*В работе рассмотрены методы построения семантических, фреймовых, продукционных и нейросетевых экспертных систем, исследованы их преимущества и недостатки. Приведены основные принципы функционирования экспертных систем.*

**Ключевые слова:** экспертные системы, семантические сети, фреймовые экспертные системы, продукционные экспертные системы, нейронные сети.

## RESEARCH OF METHODS OF BUILDING EXPERT SYSTEMS

V.D. Khokh, E.V. Meleshko, M.S. Yakymenko

*In this paper we considered the methods for constructing semantic, frame-based, production expert systems and expert system based on artificial neural networks, studied their advantages and disadvantages. The basic principles of the expert systems were considered.*

**Keywords:** expert systems, semantic networks, frame-based expert systems, production system, neural networks.