

НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук

Методи та системи штучного інтелекту

Тема №4. Експертні системи

Київ - 2026

Мета: засвоєння основних теоретичних відомостей з використання сучасних експертних систем, вирішенню прикладних задач автоматизації керування та прогнозування стану складних об'єктів і процесів.

Зміст

- 1. Загальна характеристика та сфери застосування експертних систем.*
- 2. Архітектура експертних систем.*
- 3. Методика отримання експертних знань.*
- 4. Представлення знань в експертних системах.*
- 5. Розробка та експлуатація експертних систем.*

1. Загальна характеристика та сфери застосування експертних систем

Експертні системи (ЕС) – це клас систем штучного інтелекту, призначених для розв’язання задач, що не піддаються суворій формалізації (тобто задач, для яких неможливо побудувати математичну, імітаційну або іншу формальну модель).

Експертна система обробляє знання фахівців у певній конкретній вузькоспеціалізованій предметній галузі та має здатність в рамках цієї галузі виробляти рішення (розв’язувати задачі) на рівні експерта-професіонала.

Ознаки відсутності можливості формалізації задачі:

- складність і численність функціональних залежностей в об'єкті управління (ОУ);
- неоднозначність причинно-наслідкових зв'язків між управлінськими рішеннями і результатами їх практичної реалізації;
- неможливість кількісного виміру контрольованих параметрів;
- необхідність урахування випадкових факторів із законами розподілу, які є невідомими або такими, що довільно змінюються;
- обмеженість обчислювальних ресурсів або часу, необхідного для розв’язання задачі;
- неповнота і суперечливість інформації про поведженні ОУ.

Експертні системи застосовуються для розв'язання неформалізованих задач:

- проектування;
- планування;
- оперативного управління;
- діагностування;
- прогнозування.

Основні особливості експертних систем:

- орієнтація на вирішення практичних завдань у вузьких предметних галузях, які вважаються такими, що важко формалізуються;
- можливість порівняння результатів роботи системи з результатами людини-експерта;
- «прозорість» виведених системою рішень;
- відкритість знань, що використовуються для логічного виведення рішень.

Основні класи задач, для вирішення яких використовується технологія ЕС

Діагностика стану систем, у тому числі моніторинг. ЕС виробляють таку діагностику, застосовуючи опис будь-якої ситуації, поведінки або даних про будову різних компонентів, щоб визначити можливі причини несправності діагностованої системи.

Системи діагностики досить часто є помічниками, які не лише ставлять діагноз, але й допомагають в усуненні неполадок. У таких випадках системи цілком можуть взаємодіяти з користувачем, щоб надати допомогу при пошуку неполадок, а потім навести список дій, необхідних для їх усунення.

Прогнозування розвитку систем на основі моделювання попереднього і теперішнього стану. ЕС, що здійснюють прогноз чого-небудь, визначають імовірнісні умови заданих ситуацій.

Системи прогнозування іноді застосовують моделювання, тобто такі програми, які відображають деякі взаємозв'язки в реальному світі, щоб відтворити їх у середовищі програмування, і потім спроектувати ситуації, які можуть виникнути при тих чи інших вихідних даних.

Інтерпретація. Найчастіше застосовують значення різних приладів з метою опису стану. Інтерпретуючі ЕС здатні обробляти різні види інформації. Оскільки ЕС доводиться інтерпретувати неповну, ненадійну або неправильну інформацію, звідси неминучі або помилки, або значне збільшення обробки даних.

Планування та розробка заходів в організаційному і технологічному керуванні. ЕС, призначені для планування, проектують різні операції. Системи зумовлюють практично повну послідовність дій, перш ніж почнеться їх реалізація.

Проектування або вироблення чітких приписів щодо побудови об'єктів, які задовольняють поставленим вимогам. ЕС, що виконують проектування, розробляють різні форми об'єктів, з огляду на сформовані обставини і всі супутні фактори.

Автоматичне керування (регулювання). ЕС, що здійснюють керування, вельми результативно керують поведінкою системи в цілому.

Навчання користувачів за допомогою ЕС ефективно, оскільки для навчання використовується методика багаторазового повторення матеріалу. За предметною областю найбільша кількість ЕС використовується у військовій справі, геології, інженерній справі, інформатиці, космічній техніці, математиці, медицині, метеорології, промисловості, сільському господарстві, керуванні процесами, фізиці, філології, хімії, електроніці, юриспруденції.

2. Архітектура експертних систем

У загальному випадку експертна система складається з таких компонентів (підсистем):

- База знань;
- Інтерпретатор (вирішувач, машина виводу);
- Лінгвістичний процесор;
- Пояснювальна підсистема;
- Підсистема придбання знань.

У базі знань зберігаються моделі представлення знань про проблемну область.

Інтерпретатор здійснює логічний вивід рішень на основі моделей знань.

Лінгвістичний процесор забезпечує діалог системи з експертом і користувачами (здійснює аналіз та синтез текстових повідомлень).

Пояснювальна підсистема призначена для формування пояснювальних текстів щодо вибору або відкидання того чи іншого рішення.

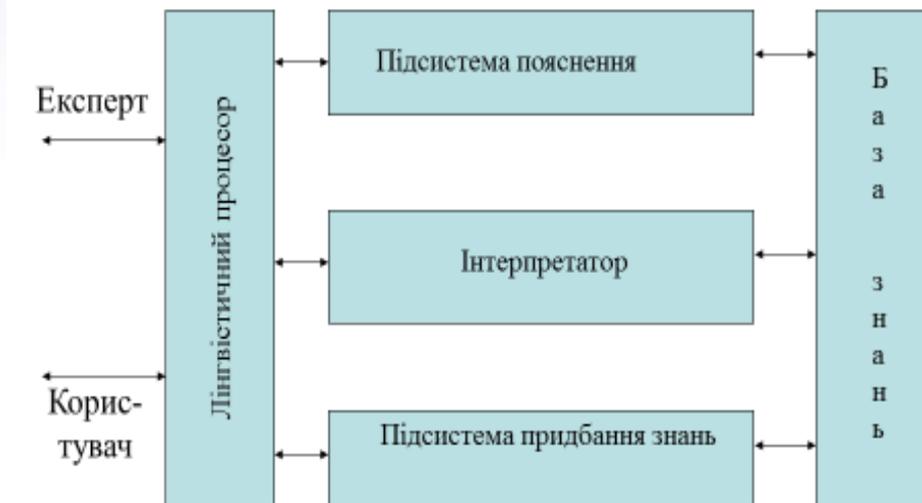
Підсистема придбання знань формалізує знання, отримані:

- а) від експерта;
- б) в процесі перетворення існуючих моделей знань.

Експертна система здатна:

- накопичувати знання у процесі діалогу з експертом (первинне завантаження знань), корегувати попередні та набувати нові знання на основі досвіду експлуатації системи;
- здійснювати логічний вивід рішень на основі наявної бази знань;
- пояснювати та обґрунтовувати виведене рішення;
- вести діалог про задачу, що розв'язується, з експертом і користувачем зручною для них природною мовою.

Архітектура експертної системи



. Структура статичної ЕС

Типова **статична** ЕС складається з таких основних компонентів: вирішувача (інтерпретатора); робочої пам'яті (РП), яка називається також базою даних (БД); бази знань (БЗ); компонента набуття знань; пояснювального компонента; діалогового компонента.

База даних (робоча пам'ять) призначена для зберігання вихідних і проміжних даних розв'язуваного в поточний момент завдання.

База знань в ЕС призначена для зберігання довгострокових (а не поточних) даних, що описують розглянуту область, і правил, що описують доцільні перетворення даних цієї області.

Вирішувач, використовуючи вихідні дані з робочої пам'яті і знання з БЗ, формує таку послідовність правил, які, будучи застосованими до вихідних даних, приводять до вирішення завдання.

Компонент набуття знань автоматизує процес наповнення ЕС знаннями, здійснюваний користувачем-експертом.

Пояснювальний компонент пояснює, як система отримала розв'язок задачі (або чому вона не отримала розв'язку) і які знання вона при цьому використовувала, що полегшує експерту тестування системи і підвищує довіру користувача до отриманого результату.

Діалоговий компонент орієнтований на організацію дружнього спілкування з користувачем як у ході вирішення завдань, так і в процесі набуття знань і пояснення результатів роботи.

Статичні ЕС використовуються в тих додатках, де можна не брати до уваги зміни навколишнього світу, що відбуваються за час виконання завдання.

Архітектура *динамічної* включає додаткові компоненти:

- підсистема моделювання зовнішнього світу;
- підсистема зв'язку із зовнішнім оточенням.

Підсистема зв'язку із зовнішнім оточенням забезпечує зв'язки із зовнішнім середовищем через систему датчиків і контролерів. Традиційні компоненти статичної ЕС (БЗ і машина виведення) зазнають істотних змін, щоб відобразити часову логіку, яка відбувається в реальності.



Структура динамічної ЕС

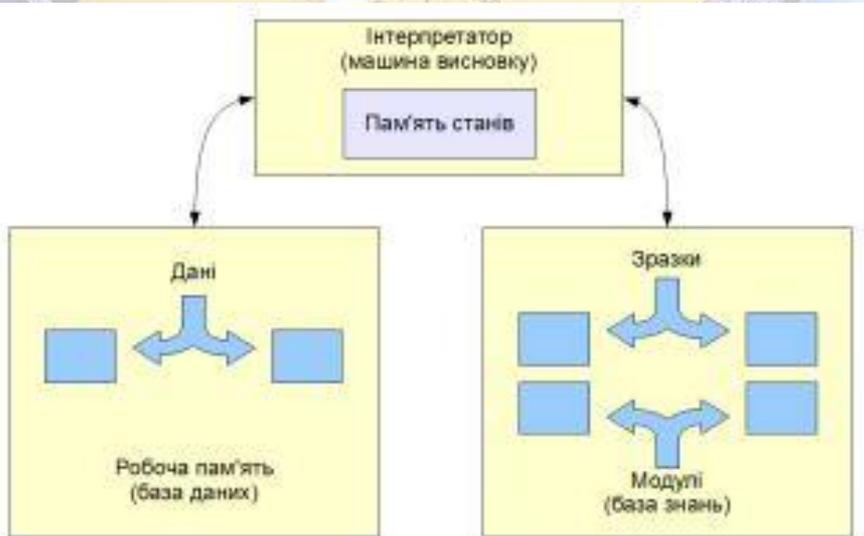


Схема функціонування інтерпретатора



Цикл роботи інтерпретатора

Керуючий компонент визначає порядок застосування правил і виконує чотири функції:

1. Зіставлення — зразок правила зіставляється з наявними фактами.

2. Вибір — якщо в конкретній ситуації можуть бути застосовані відразу кілька правил, то з них вибирається одне, найбільш підходяще за заданим критерієм (дозвіл конфлікту).

3. Спрацьовування — якщо зразок правила при зіставленні збігся з будь-якими фактами з робочої пам'яті, те правило спрацьовує.

4. Дія — робоча пам'ять піддається зміні шляхом додавання в неї висновку правила, що спрацювало.

Якщо в правій частині правила втримується вказівка на яку-небудь дію, то воно виконується (як, наприклад, у системах забезпечення безпеки інформації). Інтерпретатор продукцій працює циклічно. У кожному циклі він переглядає всі правила, щоб виявити тих, посилки яких збігаються з відомими на даний момент фактами з робочої пам'яті.

Після вибору правило спрацьовує, його висновок заноситься в робочу пам'ять, і потім цикл повторюється спочатку.

Для синтезованих динамічних ЕС найбільш характерні такі проблемні області:

проекткування – визначення конфігурації об'єктів з точки зору досягнення заданих критеріїв ефективності та обмежень;

прогнозування – передбачення наслідків поточної ситуації на основі математичного та евристичного моделювання;

диспетчеризація – розподіл робіт у часі, складання розкладів;

планування – вибір послідовності дій користувача по досягненню поставленої мети;

моніторинг – спостереження за поточною ситуацією з можливістю подальшої корекції;

керування – моніторинг, доповнений реалізацією дій в автоматичних системах.

За ступенем складності вирішуваних задач ЕС можна класифкувати так:

1. За способом *формування рішень* ЕС:

- аналітичні – вибір рішення з множини існуючих альтернатив (визначення характеристик об'єкта);
- синтетичні – генерація невідомих рішень (формування відповіді).

2. За способом *обліку часової ознаки*:

- статичні, що вирішують завдання при незмінних у процесі вирішення даних і знань. Статичні системи здійснюють монотонне, безперервне вирішення задачі від введення вихідних даних до кінцевого результату;

- динамічні – допускають такі зміни. Динамічні системи допускають можливість перегляду отриманих даних і знань.

3. За *видами використовуваних знань*:

- з детермінованими знаннями;

- з невизначеними даними (під невизначеністю знань або даних розуміється неповнота (відсутність), недостовірність (неточність вимірювань), двозначність (багатозначність), нечіткість (якісна оцінка)).

4. За *кількістю використовуваних джерел даних* ЕС можуть бути побудовані з використанням:

- одного джерела даних;
- декількох джерел даних.

В основі *систем, що самотійно навчаються* лежать методи автоматичної класифікації ситуацій реальної практики. Приклади реальних ситуацій накопичуються за певний період і становлять навчальну вибірку.

Навчальна вибірка може бути «з учителем», коли для кожного прикладу задається в явному вигляді значення його приналежності певному класу ситуацій або класоутворюючі ознаки, і «без вчителя», коли за ступенем близькості значень система сама виділяє класи ситуацій.

У результаті навчання системи автоматично будуються узагальнені правила або функції, що визначають приналежність ситуацій класам, якими навчена система користується при інтерпретації нових виникаючих ситуацій.

Недоліки *систем, що самотійно навчаються*:

- можлива неповнота або зашумленість (надмірність) навчальної вибірки і, як наслідок, відносна адекватність бази знань виникаючих проблем;
- виникнення проблем пов'язано з поганою смисловою ясністю в залежності ознак;
- обмеження в розмірності однакового простору викликає неглибокий опис проблемної області та вузьку спрямованість застосувань.

3. Методика отримання експертних знань

Методика отримання від експертів знань про предметну область передбачає такі стадії:

- спостереження на робочому місці;
- обговорення задач;
- опис задач;
- аналіз задач;
- доведення системи;
- оцінювання системи;
- перевірка системи.



Спостереження на робочому місці передбачає таку взаємодію між експертом (Е) та інженером по знанням (ІЗ): експерт розв'язує задачі, інженер по знанням пасивно спостерігає.

Мета ІЗ на даній стадії – отримати уявлення про характерні задачі, для розв'язання яких створюється ЕС.

Мета ІЗ на стадії **обговорення** задач – дізнатися про те:

- як організовані знання експерта (поняття, гіпотези);
- як експерт працює з неповною, неточною, суперечливою інформацією;
- які процедури необхідні для розв'язання задач.

На стадії **опису** задач експерт описує типові задачі для кожного класу задач, для розв'язання яких створюється ЕС.

Мета ІЗ – дізнатися, як пов'язані між собою задачі одного класу та класи задач.

На стадії **аналізу** задач інженером по знанням пропонує експерту характерні задачі та розпитує його про хід їх розв'язання.

Мета ІЗ – встановлення і формулювання стратегії розв'язання характерних задач експертною системою, що проектується.

На стадії **доведення** системи експерт пропонує характерні задачі, а інженер по знанням перевіряє правильність їх розв'язання прототипом ЕС.

Мета ІЗ – перевірка повноти та адекватності сформованої сукупності знань, якими буде наповнюватися база знань експертної системи.

На стадії **оцінювання** системи експерт аналізує та оцінює правила, стратегії, систему понять предметної області, в якій передбачається використовувати ЕС.

Мета – оцінити точність роботи ЕС та правильність сформованої бази знань.

На стадії **перевірки** системи інженер по знанням пропонує незалежним експертам протоколи розв'язання задач експертом та прототипом ЕС.

Мета – об'єктивна оцінка результатів роботи інженера по знанням, експерта та прототипу ЕС.



Технологія розробки ЕС

включає етапи:

- 1) ідентифікація;
- 2) концептуалізація;
- 3) формалізація;
- 4) виконання;
- 5) тестування;
- 6) дослідну експлуатація.

На етапі **ідентифікації** визначаються цілі та завдання розробки, визначаються експерти і типи користувачів.

На етапі **концептуалізації** проводиться змістовний аналіз проблемної області, виявляються використовувані поняття і їх взаємозв'язки, визначаються методи розв'язання задач.

На етапі **формалізації** вибираються ЕС і визначаються способи подання всіх видів знань, формалізуються основні поняття, визначаються способи інтерпретації знань, моделюється робота системи, оцінюється адекватність цілям системи зафіксованих понять, методів рішень, засобів подання й маніпулювання знаннями.

На етапі **виконання** здійснюється наповнення експертом бази знань. У зв'язку з тим, що основою ЕС є знання, даний етап є найбільш важливим і найбільш трудомістким етапом розробки ЕС. Процес набуття знань розділяють *отримання знань від експерта, організацію знань*, що забезпечує ефективну роботу системи, і *подання знань* у вигляді, зрозумілому ЕС.

На етапі **тестування** прототип перевіряється на зручність і адекватність інтерфейсів введення-виведення, ефективність стратегії керування, якість перевірочних прикладів, коректність БЗ. Тестування – це виявлення помилок у вибраному підході, у реалізації прототипу, а також вироблення рекомендацій із доведення системи до промислового варіанта.

На етапі **дослідної експлуатації** перевіряється придатність експертної системи для кінцевих користувачів. За результатами цього етапу може знадобитися суттєва модифікація експертної системи.

Евристична потужність означає, що поряд з наявністю виразної мови подання повинен існувати деякий засіб використання описів проблеми, сконструйованих і інтерпретованих таким чином, щоб з їхньою допомогою можна було розв'язати проблему. Часто виявляється, що мова, що володіє більшою виразною здатністю в термінах кількості семантичних відмінностей, виявляється й більше складним у керуванні описом взаємозв'язків у процесі розв'язку проблеми. Здатність до виразу в багатьох зі знайдених формалізмів може виявитися досить обмеженою в порівнянні з англійською мовою або навіть стандартною логікою. Часто рівень евристичної потужності розглядається по результату, тобто по тому, наскільки легко виявляється витягти потрібне знання стосовно до конкретної ситуації. Знати, які знання найбільше підходять для розв'язку конкретної проблеми, - це одна з якостей, якою відрізняє дійсно фахівця, експерта в певній галузі, від новачка або просто начитаний людини.

Природність нотації слід розглядати як якусь властивість системи, оскільки більшість застосувань, побудованих на базі експертних систем, потребує накопичення великого обсягу знань, а розв'язати таке завдання досить важко, якщо угоди в мові подання занадто складні. Будь-який фахівець скаже вам, що при інших рівних характеристиках краще та система, з якої простіше працювати. Вирази, якими формально описуються знання, повинні бути по можливості простими для написання, а їх зміст повинен бути зрозумілий навіть тому, хто не знає, як же комп'ютер інтерпретує ці вирази. Прикладом може слугувати декларативний програмний код, який сам по собі дає досить чітке подання про процес його виконання навіть тому, хто не має подання про деталі реалізації комп'ютером окремих інструкцій.

4. Представлення знань в експертних системах

Склад знань має бути достатнім для розв'язання задач, поставлених перед експертною системою, а обраний спосіб представлення знань – додатним та ефективним для обробки формалізованих знань.

Питання «як представляти?» можна розділити на два: як організувати (структурувати) знання і як представити знання у вибраному формалізмі.

Виділення питання організації знань у самостійну задачу викликано тим, що ця задача виникає для будь-якої форми представлення знань, а способи її розв'язання є однаковими (або подібними) незалежно від використовуваного формалізму.

Задачі, що вирішуються при проектуванні бази знань експертної системи:

- визначення складу представлених знань;
- організацію знань;
- визначення моделі представлення знань.

У переважній більшості існуючих експертних систем знання представляються у вигляді логічних або продукційних моделей.

Відповідно до загальної схеми експертної системи для її функціонування потрібні знання про:

- процес розв'язання задачі (тобто керуючі знання), які використовуються інтерпретатором (вирішувачем);
- мову спілкування та способи організації діалогу, які використовуються лінгвістичним процесором;
- способи представлення та модифікації знань, що використовуються підсистемою придбання знань;
- структурні та керуючі методи, що використовуються підсистемою пояснення.

Залежність складу знань від вимог користувача:

- які задачі (із загального набору задач) та з якими вхідними даними хоче розв'язувати користувач;
- які кращі способи та методи розв'язання цих задач;
- при яких обмеженнях на кількість результатів та способи їх отримання має бути розв'язана задача;
- які вимоги до мови спілкування та організації діалогу;
- яка ступінь спільності (конкретності) знань про проблемну область доступна користувачеві;
- які цілі хоче досягти користувач.

Склад знань про мову спілкування залежить від мови спілкування і необхідного рівня розуміння.

З урахуванням архітектури експертної системи знання поділяються на інтерпретовані (такі, що інтерпретуються) та неінтерпретовані.

До першого типу відносяться ті знання, які здатний інтерпретувати вирішувач (інтерпретатор).

Всі інші знання належать до другого типу. Інтерпретатор «не знає» їх структури та змісту. Якщо ці знання використовуються будь-яким компонентом системи, він не «усвідомлює» цих знань.

Інтерпретовані знання:

- предметні;
- управляючі;
- про представлення (містять інформацію про те, як (у яких структурах) в експертній системі представлені інтерпретовані знання).

Предметні знання містять дані про предметні області та способи перетворення цих даних при вирішенні поставлених завдань.

По відношенню до предметних знань знання про представлення та знання про управління є **метазнаннями**, тобто знаннями про знання.

Предметні знання:

- описувачі (містять певну інформацію про предметні знання, таку, як коефіцієнт визначеності правил і даних, міри важливості та складності);
- предметні знання (факти та твердження, що виконуються).

Факти визначають можливі значення сутностей та характеристик предметної області.

Твердження, що виконуються, містять інформацію про те, як можна змінювати опис предметної області в ході вирішення завдань (задають процедури обробки).

Управляючі знання:

- фокусуючі (описують, які знання слід використовувати у тій чи іншій ситуації);
- вирішальні (містять інформацію, яка використовується для вибору способу інтерпретації знань, що підходить до ситуації, що склалася і застосовуються для вибору стратегій або найбільш ефективних евристик, щодо розв'язання поточної задачі).

Неінтерпретовані знання:

- допоміжні знання, що зберігають інформацію про лексику та граматику мови спілкування, інформацію про структуру діалогу;
- підтримуючі знання.

Допоміжні знання обробляються природномовним компонентом експертної системи, але перебіг цієї обробки інтерпретатор «не усвідомлює», оскільки цей етап обробки вхідних повідомлень є допоміжним.

Підтримуючі знання використовуються при створенні системи та при виконанні функції пояснень. Підтримуючі знання виконують роль описів (обґрунтувань) як знань, що інтерпретуються, так і дій системи.

Підтримуючі знання.

- *технологічні підтримуючі знання* містять відомості про час створення описуваних ними знань, про автора знань і т. п.;
- *семантичні підтримуючі знання* відбивають смисловий опис цих знань (містять інформацію про причини введення знань, призначення знань, описують спосіб використання знань і отримуваний ефект).

Якісні та кількісні показники експертної системи можуть бути значно покращені за рахунок використання *метазнань* (знань про знання).

Призначення метазнань:

- 1) метазнання у вигляді стратегічних метаправил використовуються для вибору релевантних правил;
- 2) метазнання використовуються для обґрунтування доцільності застосування правил із галузі експертизи;
- 3) метаправила використовуються для виявлення синтаксичних та семантичних помилок у предметних правилах;
- 4) метаправила дозволяють системі адаптуватися до оточення шляхом перебудови предметних правил та функцій;
- 5) метаправила дозволяють явно вказати можливості та обмеження системи, тобто. визначити, що вона «знає», а що «не знає».

Питання організації знань необхідно розглядати у будь-якому представленні, а його вирішення значною мірою залежить від обраного способу (моделі) представлення знань.

Задачі організації знань:

- організація знань за рівнями представлення та за рівнями детальності;
- організація знань у робочій пам'яті (базі даних);
- організація знань в базі знань.

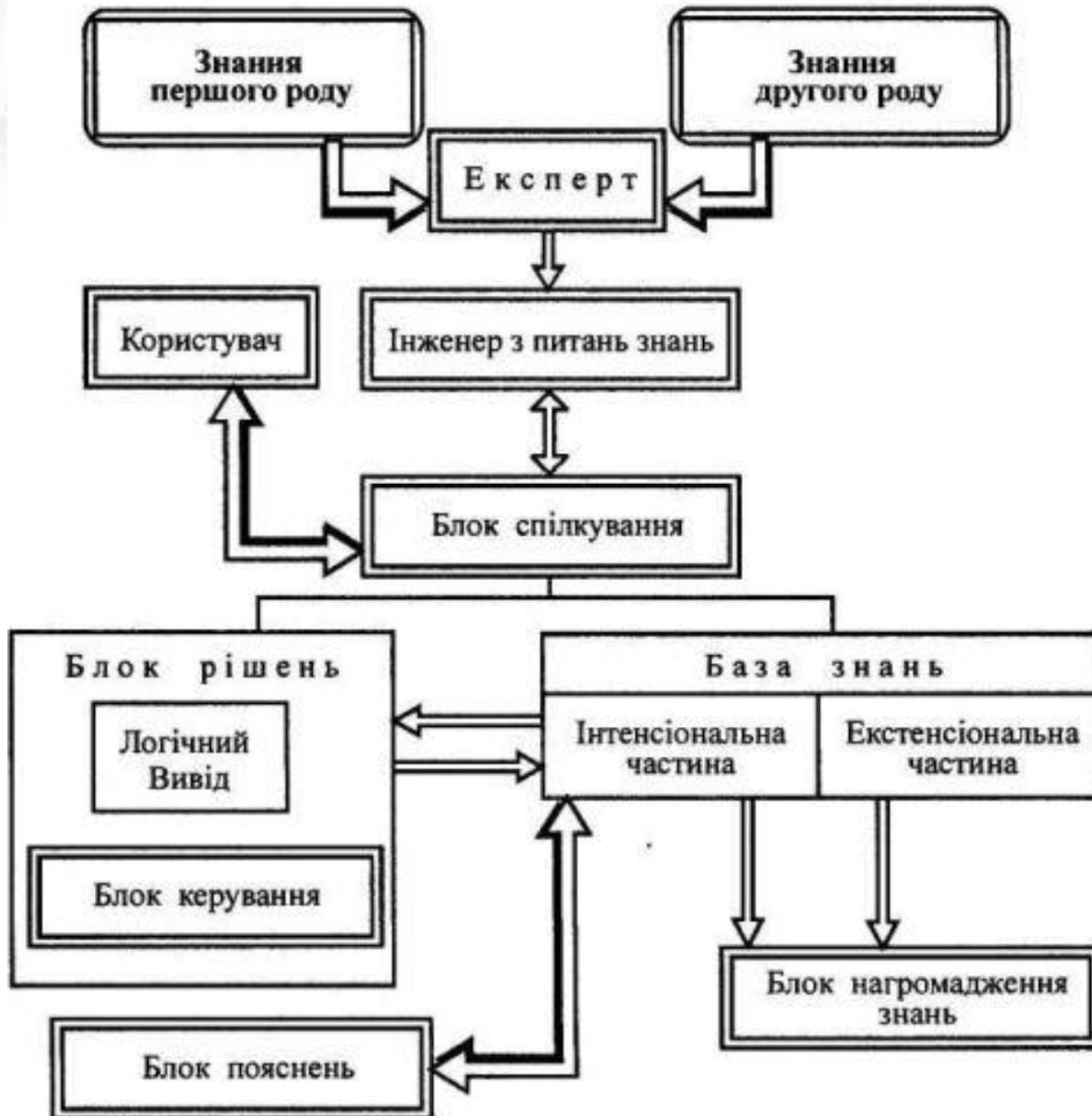
5. Розробка та експлуатація експертних систем

Технологію побудови експертних систем часто називають інженерією знань. Це процес взаємодії автора експертної системи (інженера знань) з одним або кількома експертами в певній предметній області. Інженер знань «видобуває» з експертів стратегії, процедури, правила, які вони використовують під час розв'язування задач, і вбудовує отримані знання в експертну систему, як показано нижче.



У роботі з експертною системою беруть участь:

- сама експертна система;
- експерт;
- інженер знань;
- засіб побудови експертної системи;
- користувач.



Структура експертної системи

Керування процесом пошуку розв'язку

При проектуванні експертної системи серйозна увага повинна бути приділена й тому, як здійснюється доступ до знань і як вони використовуються при пошуку розв'язку. Знання про те, які знання потрібні в тієї або іншій конкретній ситуації, і вміння ними розпорядитися - важлива частина процесу функціонування експертної системи. Такі знання дістали найменування мета-знань - тобто знань про знання. Вирішення нетривіальних проблем вимагає й певного рівня планування й керування при виборі, яке питання потрібно задати, який тест виконати, і т. ін.

Використання різних стратегій перебору наявних знань, як правило, виявляє досить істотний вплив на характеристики ефективності програми. Ці стратегії визначають, яким способом програма відшукує розв'язок проблеми в деякому просторі альтернатив. Як правило, не буває так, щоб дані, якими розташовує програма роботи з базою знань, дозволяли точно "вийти" на ту область у цьому просторі, де має сенс шукати відповідь.

Більшість формалізмів подання знань може бути використане в різних режимах керування, і розробники експертних систем продовжують експериментувати в цій області.

Роз'яснення ухваленого рішення Питання про те, як допомогти користувачу зрозуміти структуру й функції деякого складного компонента програми, зв'язаний із порівняно новою галуззю взаємодії людину й машини, яка з'явилася на перетинанні таких областей, як штучний інтелект, промислова технологія, фізіологія й ергономіка. На сьогодні внесок у цю галузь дослідників, що займаються експертними системами, полягає в розробці методів подання інформації про поведінку програми в процесі формування ланцюжка логічних висновків при пошуку розв'язку. Подання інформації про поведінку експертної системи важливо з багатьох причин.