

УДК 504.06 : 65.012.16 : 004.891

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРТНИХ МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В ЗОНАХ ВПЛИВУ АЕС

Попов О. О., Яцишин А. В., Артемчук В. О.

Попов О. О. д. т. н., ст. н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», sasha_popov1982@mail.ru.

Яцишин А. В. д. т. н., пров. н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», andic@ua.fm.

Артемчук В. О. к. т. н., докторант, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова Національної академії наук України, ak24avo@gmail.com.

В роботі розглянуто питання можливостей використання сучасних експертних методів та систем для підтримки прийняття управлінських рішень в сфері екологічної безпеки в зонах впливу АЕС. Здійснено аналіз таких експертних методів, як метод Делфі, метод аналізу ієрархій, метод перехресного впливу. Дані методи застосовуються в різних сферах народного господарства для прийняття ефективних управлінських рішень. Жоден із них сам по собі не розв'язує визначену проблему, а є складовими системної методології. Метод Делфі ґрунтується на припущенні, що на основі думок експертів можна збудувати адекватну модель майбутнього розвитку об'єкта прогнозування. Метод аналізу ієрархій не приписує особі, що приймає рішення, якого-небудь правильного рішення, а дозволяє їй в інтерактивному режимі знайти такий варіант, який найкращим чином узгоджується з його розумінням суті проблеми і вимогами до її вирішення. Метод перехресного впливу представляє собою вдосконалений варіант методу аналізу ієрархій і дозволяє передбачати можливе виникнення майбутніх подій, екстраполюючи на майбутнє відомі дані. Аналіз можливостей даних методів показав їх високу практичну корисність для прийняття ефективних управлінських рішень в умовах невизначеності в різних сферах народного господарства. В роботі також розглянуті питання побудови експертних систем, їх переваг та недоліків, сфер застосування та перспектив їх подальшого розвитку. Отримані результати будуть використані для побудови модуля експертних оцінок інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки екологічного впливу АЕС на навколишнє природне середовище.

Ключові слова: невизначеність, експертний метод, експертна система, управління, екологічна безпека, атомна електростанція.

Вступ

Більшість сучасних методів прогнозування оснований на використанні достатньо широкої ретроспективної інформації, що дозволяє розкрити тенденції і закономірності, взаємозв'язок показників, що склалися в «передісторії». Але в управлінні виробництвом чи раціональним природокористуванням трапляються випадки, коли інформаційний масив надмірно обмежений або зовсім відсутній. А в деяких випадках статистичні дані неможливо отримати або для їх отримання потрібен значний час. Прийняти рішення в таких умовах, тобто в умовах невизначеності, коли та чи інша дія породжує багато можливих наслідків, причому ймовірності цих наслідків невідомі, важко і ризиковано. Тому при недостатності чи взагалі відсутності інформації розробка прогнозу не тільки не виключається, а, навпаки, стає особливо актуальною і практично важливою, тому що таким чином можна понизити рівень невизначеності та підвищити достовірність управлінських рішень. Особливо складні проблеми виникають, коли необхідно дати перспективні оцінки якісно новим процесам і явищам, які раніше не траплялись в суспільному житті і про які, природно, відсутня будь-яка інформація [1-3].

Можливість вирішення названих проблем, навіть в умовах відсутності теоретичних обґрунтувань, досягається за рахунок умілого використання досвіду, інтуїції та знань спеціалістів, вчених, що працюють над розв'язанням відповідних проблем: науково-дослідні роботи, впровадження розробок і т.д.

Методи, які основані на припущенні про те, що на базі думок спеціалістів в певній галузі знань можна побудувати адекватну картину майбутнього розвитку з урахуванням всіх можливих зсувів та стрибків, отримали назву методів експертиз або методів експертних оцінок [1, 4, 5].

Постановка задачі

В роботах [6, 7] розглядалися питання розробки концепції створення інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки екологічного впливу АЕС України на навколишнє природне середовище в зонах їх спостереження. До складу даної системи будуть входити різні функціональні модулі, одним з яких є модуль експертних оцінок щодо екологічного ризику від негативних техногенно-екологічних впливів АЕС на населення прилеглих територій та довкілля.

В основу даного модуля будуть покладені сучасні експертні методи, які дозволять вирішувати поставлені задачі та принципи побудови експертних систем такого типу.

Для його побудови необхідно виконати аналіз сучасних експертних методів та дослідити питання побудови експертних систем, визначити їх переваги та недоліки, що і є метою даної роботи.

Матеріали і методи досліджень

При числовому визначенні ризику аварії чи надзвичайної ситуації, пов'язаної зі збитком для навколишнього середовища, прогнозні експертні оцінки відображають індивідуальне судження спеціалістів відносно перспектив розвитку негативної події. Методи експертних оцінок засновані на мобілізації професійного досвіду та інтуїції фахівців-експертів. Такі методи оцінки ризику використовують формальну теорію ухвалення рішень в умовах невизначеності.

У разі природних, техногенно-екологічних та соціальних надзвичайних ситуацій центральною фігурою та суб'єктом прийняття рішень виступає особа, яка приймає рішення (ОПР). Для допомоги у пошуку рішення ОПР залучає експертів і консультантів, які є фахівцями певних предметних галузей, у тім числі з питань технології й організації процесів прийняття і впровадження рішень. Експерти й консультанти відповідають за обґрунтованість рекомендацій, які вони готують для ОПР, проте вони не підміняють ОПР у виборі рішення.

Серед експертних методів оцінки небезпеки і ризику найбільш поширеними є метод Делфі, метод перехресного впливу, метод аналізу ієрархій. Загальна характеристика цих методів наведена у роботах [1, 8-10]. Їх ще називають методами технологічного передбачення. Слід зазначити, що жоден із них сам по собі не розв'язує проблему. Ці методи розглядаються як складові системної методології.

Згідно методу Делфі, який розробила американська компанія Rand Corporation, проводиться індивідуальне опитування експертів у формі анкет для визначення відносної важливості і термінів здійснення гіпотетичних подій. Основна ідея методу полягає у необхідності отримати взаємоузгоджені (консенсусні) висновки групи експертів щодо поведінки в майбутньому однієї або декількох пов'язаних між собою характеристик системи, які викликали інтерес.

У подальшому анкети обробляють і формують колективну думку групи експертів; визначають та узагальнюють аргументи на користь різних суджень; усю інформацію повідомляють експертам. Учасників експертизи просять переглянути оцінки і пояснити причини своєї незгоди з колективним судженням. Ця процедура повторюється 3-4 рази. У результаті відбувається звуження діапазону оцінок. Одержаний результат вважають консенсусним. Недоліком цього методу є неможливість урахування впливу на експертів, який чинять організатори опитування під час складання анкет.

Для визначення відповідності потенційного експерта певним вимогам використовують стосовно нього анкетне опитування. Окрім того, часто вдаються до способу самооцінювання компетентності експерта щодо аналізованого питання. Кількісну оцінку компетентності потенційного експерта визначають за формулою [1, 11]:

$$K = 0,5 \left(\sum_{j=1}^m V_j / \sum_{j=1}^m V_{j \max} + \lambda/P \right),$$

де V_j – вага градації, яку перекреслив експерт по j -ій характеристиці, в анкеті, бали; $V_{j \max}$ – максимальна вага (границя шкали) j -тої характеристики в балах; m – загальна кількість характеристик компетентності в анкеті; λ – вага характеристики, перекресленої експертом у шкалі самооцінки, в балах; P – границя шкали самооцінки експерта, бали.

Зауважимо, що обробка результатів експертних оцінок щодо відносної важливості окремих характеристик полягає в ранжуванні оцінок важливості, даних експертами. Кожна оцінка, дана i -им експертом, виражається числом натурального ряду чисел. Сума рангів S_j , дана експертами характеристиці j ($j = 1, \dots, m$), визначається за формулою:

$$S_j = \sum_{i=1}^k R_{ij},$$

де R_{ij} – ранг оцінки, даної i -им експертом j -ій характеристиці; n – кількість експертів.

Ступінь узгодженості членів всієї експертної групи часто обчислюють за допомогою коефіцієнта конкордації. Коефіцієнт конкордації, обчислюваний за сукупністю усіх характеристик, має вигляд:

$$W = 12 \sum_{j=1}^m d_j^2 / \left(n^2 (m^3 - m) - n \sum_{i=1}^n T_i \right),$$

де $d_j = S_j - \bar{S}$, а $\bar{S} = \sum_{j=1}^m S_j / m$; величина $T_i = \sum_{l=1}^L (t_l^3 - t_l)$ розраховується за наявності рівних рангів; n – кількість груп рівних рангів, t_l – кількість рівних рангів у кожній групі, L – кількість груп зв'язних (однакових) рангів).

Коефіцієнт конкордації приймає значення у межах від 0 до 1. За $W = 1$ маємо повну узгодженість думок експертів, за $W = 0$ – повну неузгодженість. Низьке значення цього коефіцієнта може бути отримане як при відсутності спільності думок усіх експертів, так і внаслідок протилежних думок між підгрупами експертів, хоча всередині підгрупи узгодженість може бути високою.

Для виявлення ступеня узгодженості думок експертів часто використовують коефіцієнт парної рангової кореляції:

$$\rho_{\alpha, \beta} = 1 - \sum_{j=1}^m \psi_j^2 / \left(\frac{1}{6} (m^3 - m) - \frac{1}{12} (T_\alpha + T_\beta) \right),$$

де ψ_j – різниця (по модулю) величин рангів j -тої характеристики, поставлених експертами α та β , $\psi_j = |R_{\alpha j} - R_{\beta j}|$; T_α , T_β – показники зв'язних рангів оцінок експертів α та β .

Коефіцієнт парної рангової кореляції може приймати значення від -1 до +1. Значення $\rho = 1$ відповідає повній узгодженості думок двох експертів. Значення $\rho = -1$ означає, що думка одного експерта протилежна думці другого. Для визначення рівня значущості коефіцієнтів W і ρ можна використати критерій χ^2 .

На першому етапі застосування метод перекресного впливу також ґрунтується на використанні висновків експертів щодо подій, які могли б охарактеризувати майбутнє в певний інтервал часу. Як тільки визначено найважливіші події \check{I}_s , $i = 1, \dots, N$, що можуть адекватно охарактеризувати сценарії розвитку негативних подій, оцінюють імовірності

здійснення кожної з цих подій. Їх визначають як прості чи вихідні ймовірності $P_0(\check{I}_1), \dots, P_0(\check{I}_N)$.

Наступним кроком є побудова так званої матриці перехресного впливу. Вона має розмірність $N \times N$, де N – число вибраних подій. Ця матриця визначає взаємний вплив подій. Після цього оцінюють ймовірності того, що означені події відбудуться: $(P_i(\check{I}_s))$, $i = 1, \dots, N$.

З метою отримання оцінки ймовірності $P_i(\check{I}_s)$ використовують методи моделювання складних систем, зокрема метод імітаційного моделювання, метод стохастичного моделювання та деякі інші.

Після отримання оцінки ймовірностей $(P_i(\check{I}_s))$ здійснюють ще один етап моделювання, застосовуючи наведені методи для отримання оцінок можливого сценарію, що виникає за певних конкретних умов: $(P_N(\check{N}_j))$, $j = 1, \dots, 2n$. Кількість цих оцінок визначають числом $2n$. Наведений метод на першому етапі фактично використовує метод Делфі, результати якого застосовують для обчислення оцінок ймовірностей можливих сценаріїв розвитку подій відповідно до описаної процедури.

Метод аналізу ієрархій є методом розв'язання багатокритеріальних завдань з ієрархічними структурами, які включають як помітні, так і непомітні фактори. Він розроблений американським математиком Т. Сааті на початку 90-х років минулого століття [9]. Метод базується на парних порівняннях. Експерт у процесі парних порівнянь не тільки вибирає у кожній парі більш небезпечну характеристику чи територію у кожній парі, але й вказує, у скільки разів один елемент переважає другий за ознакою, що розглядається. Алгоритм цього методу складається з таких етапів [2, 9, 12]:

1. Визначення цілі (фокусу) проблеми.
2. Системний аналіз та структуризація проблеми у вигляді ієрархічної моделі (ціль, критерії, альтернативи).
3. Формування бази даних (БД) характеристик (альтернатив) (їх кількісні значення, при відсутності – експертні оцінки).
4. Формулювання запитань для порівняння елементів усіх рівнів ієрархії та підготовка анкет для опитування експертів.
5. Заповнення матриць попарних порівнянь елементів кожного рівня групою експертів, до складу якої входить системний аналітик.
6. Визначення власних векторів матриць попарних порівнянь їх нормування.
7. Оцінка узгодженості суджень експерта на основі відношення узгодженості.
8. Перевірка узгодженості матриць порівнянь. Якщо матриці узгоджені, то п. 9, якщо ні – то перехід на п. 5.
9. Визначення локальних та глобальних пріоритетів (вагових коефіцієнтів) кожного з елементів ієрархії.
10. Визначення найкращої альтернативи.

Наприклад, для скінченної множини альтернатив $X = \{x_1, \dots, x_m\}$ побудуємо за результатами парних порівнянь матрицю $A = \|a_{ij}\|$ розмірності $(m \times m)$, кожний елемент якої a_{ij} являє собою оцінку відносної переваги об'єкта x_i в порівнянні з об'єктом x_j ($i, j = \overline{1, m}$), визначену експертом відповідно до рекомендацій щодо використання відповідної шкали відносної важливості елементів. Припустимо, що (w_1, \dots, w_m) – набір істинних відносних цінностей кожного з елементів множини X . Якби відповіді експерта були цілком

узгодженими між собою, слід очікувати виконання співвідношень $a_{ij} = w_i / w_j$ для усіх $i, j = \overline{1, m}$. Це означає, зокрема, що потрібно покладати $a_{ij} = 1$ і $a_{ji} = 1/a_{ij}$ для усіх $i, j = \overline{1, m}$.

У випадку повної узгодженості між собою елементів матриці A має силу співвідношення:

$$A \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_m \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_m \end{pmatrix}.$$

Це означає, що вектор відносних важливостей $(w_1, \dots, w_m)^T$ є власним вектором матриці A та відповідає власному числу λ цієї матриці. Більш того, λ – це найбільше власне значення матриці A , а всі інші її власні значення дорівнюють нулю. Зазначені властивості цілком узгодженої матриці використовуються для випадків, коли відповіді експерта будуть містити похибки, а саме: після побудови матриці результатів парних порівнянь A відносні переважання об'єктів визначають як компоненти такого її власного вектора w , який відповідає найбільшому власному числу λ_{max} цієї матриці. Чим ближче λ_{max} наближається до p , тим краще узгодженими між собою є відповіді експерта щодо відносної переважності об'єктів. Сааті вводить індекс узгодженості J :

$$J = (\lambda_{max} - p) / (p - 1),$$

де p – число порівнюваних елементів, λ_{max} – найбільше власне значення матриці A .

Якщо значення цього індексу становить 10% щодо еталонного (табл. 1), то результати опитування експерта вважаються задовільними. У протилежному випадку експерт повинен уточнити свої оцінки відносної важливості об'єктів у парних порівняннях.

Якщо є велика кількість критеріїв, що підлягатимуть порівнянню, метод Сааті є достатньо громіздким. Ця властивість притаманна усім методам, які засновані на парному порівнянні вихідних елементів [9].

Таблиця 1. Еталонні значення показника узгодженості залежно від кількості об'єктів, що порівнюються

Кількість об'єктів	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Еталонне значення	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

Експертні системи (ЕС) – це клас комп'ютерних програм, які пропонують рекомендації, проводять аналіз, виконують класифікацію, дають консультації і ставлять діагноз. Вони орієнтовані на розв'язування задач, вирішення яких вимагає проведення експертизи людиною-спеціалістом. На відміну від програм, що використовують процедурний аналіз, ЕС розв'язують проблеми у вузькій предметній площині (конкретній області експертизи) на основі логічних міркувань. Такі системи часто можуть знайти розв'язок задач, які неструктуровані і неточно визначені. Вони через використання евристик компенсують відсутність структурованості, що корисно в ситуаціях, коли недостатня кількість необхідних даних або часу виключає можливість проведення повного аналізу [13, 14].

Основою ЕС є сукупність знань, яка структурується для спрощення процесу прийняття рішення. Для спеціалістів в галузі штучного інтелекту термін “знання” означає інформацію, що потрібна програмі для того, щоб вона вела себе інтелектуально. Ця інформація приймає форму фактів або правил. Факти і правила не завжди правдиві або неправильні, інколи існує деяка міра неправильності в достовірності факту або точності правила. Якщо сумнів виражається явно, то він називається коефіцієнтом впевненості.

На сьогодні одержав розвиток напрямок використання концепції банку знань – автоматичний синтез знань. Проблема синтезу знань, або індуктивного висновку, безсумнівно, складніша і глобальніша, ніж аналіз наявних знань, що відбувається в ЕС. По суті, мова тут йде про надання електронній обчислювальній машині (ЕОМ) елементів творчого мислення, характерного для людини. Про вичерпне вирішення цієї проблеми не може бути і мови ні найближчим часом, ні в доступному для огляду майбутньому. Досягне на даний час рішення полягає в створенні механізмів знань у рамках окремих проблемно-орієнтованих галузей, у яких можливий синтез на основі деякого набору правил, що володіють повнотою щодо можливих ситуацій створення знань [10].

Основою ЕС є знання. Знання – це цілісна і систематизована сукупність понять про закономірності природи, суспільства і мислення, нагромаджена людством в процесі активної перетворюючої діяльності і спрямована на подальше пізнання і зміни об'єктивного світу. Знання з предметної ділянки називається база знань (БЗ). БЗ ЕС містить факти (дані) і правила (способи подання знань). Механізм висновку містить: інтерпретатор, який визначає, як застосовувати правила для виводу нових знань, та диспетчерів, що встановлюють порядок застосування цих правил.

ЕС містить три типи знань:

1. структуровані знання про предметну область – після того, як ці знання виявлені, вони не змінюються;
2. структуровані динамічні знання – змінні знання з предметної області, які оновлюються по мірі виявлення нової інформації;
3. робочі знання, які використовуються для розв'язування конкретної задачі або проведення консультації.

Всі перераховані знання зберігаються в БЗ. Для її побудови потрібно провести опитування спеціалістів, які є експертами в конкретній предметній області, а потім систематизувати, організувати та індексувати отриману інформацію для простоти її використання.

Існує багато способів представлення знань в сучасних ЕС. Найчастіше використовується такі три методи представлення знань: правила, семантичні сітки та фрейми.

Термін «фрейм» у 1975 році ввів М. Мінський, як визначення структури даних для представлення стереотипних ситуацій. В цьому випадку модель даних представляється комбінацією трьох компонентів:

- множини структур даних, об'єкти яких входять до складу БД;
- множини операцій, які використовуються для пошуку та модифікації даних;
- множини обмежень цілісності, які явно чи неявно визначають множину допустимих станів елементів БД.

Представлення знань, що базується на правилах, побудовано на використанні виразу вигляду – «якщо» (умова) – «тоді» (дія). Якщо ситуація (факти) в задачі задовольняє правило «якщо», тоді використовується дія, що визначається частиною «тоді». Співставлення частин «якщо» (правил з фактами) може утворити так званий ланцюжок виводу. Правила забезпечують природний спосіб опису процесів, що керуються складним і швидкозмінним середовищем. За допомогою правил можна визначити, як ЕС буде реагувати на зміну даних і при цьому не потрібно заздалегідь вказувати блок-схему управління обробкою даних [2].

В програмі традиційного типу передачі управління і використання ресурсів здійснюються послідовними кроками, а розгалуження має місце тільки в заздалегідь вибраних точках. Цей спосіб добре діє для проблем, які допускають алгоритмічні рішення. Для задач, хід розв'язування яких керується самими даними і де розгалуження швидше норма, ніж виняток, цей спосіб малоефективний. Використання правил спрощує пояснення дій ЕС і дозволяє людині відслідкувати хід виводу. Можна розглядати фрейми і семантичні сітки, як методи представлення знань, що базуються на фреймах. Таке представлення знань

використовує сітку вузлів, що пов'язуються відношеннями і організуються ієрархічно. Кожен вузол представляє собою концепцію, яка може бути представлена атрибутами і значеннями, пов'язаними з цим вузлом. Вузли, які знаходяться на нижніх рівнях в ієрархії, автоматично наслідують властивості вузлів, що займають вище становище. Ці методи звичайно забезпечують ефективний шлях класифікації того чи іншого об'єкту (події).

Багато правил ЕС є евристичними, тобто емпіричними правилами, або спрощеннями, які ефективно обмежують пошук рішення. Евристика – це сукупність логічних прийомів і методологічних правил теоретичного дослідження і пошуку істини, методика пошуку доведення. Евристичні правила – неформальні правила, які використовуються з метою підвищення ефективності пошуку в даній предметній ділянці. Такі підходи до розв'язування проблем швидше властиві людському мисленню «взагалі», для якого властива поява «догадки» про шлях їх вирішення з наступною перевіркою отриманого рішення. Евристичному методу протиставлявся алгоритмічний (процедурний) метод, більше характерний для комп'ютера, який інтерпретувався як механічне здійснення заданої послідовності кроків, яка однозначно приводила до розв'язку. ЕС використовують евристичні через те, що поставлені задачі важкі і до кінця незрозумілі. Ці задачі не підлягають чіткому математичному аналізу або алгоритмічному рішенню. Алгоритмічний метод гарантує визначене коротке або оптимальне рішення задачі, тоді як евристичний метод дає прийнятне або раціональне рішення. Знання в ЕС організовані таким чином, щоб знання про предметну ділянку відокремити від загальних (наприклад, як вирішувати задачу, або знання про те, як взаємодіяти з користувачем).

У системах, заснованих на концепції банку знань, реалізуються функції дедуктивного висновку – від узагальнених знань, що подаються в БЗ, здійснюється перехід до конкретних знань, що формулюються для вирішення заданої практичної задачі [4, 11].

При розробці ЕС прийнято поділяти її на три основних модулі: БЗ; машину логічного висновку; інтерфейс із користувачем. БЗ містить знання, що відносяться до конкретної прикладної області, у тому числі окремі факти, правила, що описують відносини чи явища, а також, можливо, методи, евристичні і різні ідеї, що відносяться до рішення задач у цій прикладній області. Машина логічного висновку вміє активно використовувати інформацію, що міститься в БЗ. Інтерфейс із користувачем відповідає за безперервний обмін інформацією між користувачем і системою; він також дає користувачу можливість спостерігати за процесом рішення задач, що протікають у машині логічного висновку.

Прийнято розглядати машину висновку й інтерфейс як один великий модуль, який зазвичай називають оболонкою ЕС, чи, для стислості, просто оболонкою.

В описаній вище структурі власне знання відділені від алгоритмів, що використовують ці знання. Такий поділ зручно по наступним розумінням. БЗ, мабуть, залежить від конкретного додатка. З іншого боку, оболонка, принаймні в принципі, незалежна від додатків. Таким чином, розумний спосіб розробки ЕС для декількох додатків зводиться до створення універсальної оболонки, після чого для кожного додатка досить підключити до системи нову БЗ. Зрозуміло, усі ці БЗ повинні задовольняти тому самому формалізму, що оболонка «розуміє». Практичний досвід показує, що для складних ЕС сценарій з однією оболонкою і багатьма БЗ працює, не так гладко, як би цього хотілося, за винятком тих випадків, коли прикладні області дуже близькі. Проте, навіть якщо перехід від однієї прикладної області до іншої вимагає модифікації оболонки те, принаймні основні принципи її побудови звичайно вдається зберегти [1, 2, 5].

Для створення оболонки, за допомогою якої можна проілюструвати основні ідеї і методи в області ЕС, можна дотримувати наступного плану:

- Вибрати формальний апарат для представлення знань.
- Розробити механізм логічного висновку, що відповідає цьому формалізму.
- Додати засобу взаємодії з користувачем.
- Забезпечити можливість роботи в умовах невизначеності.

У роботі ЕС можна виділити два основних режими: режим придбання знань і режим рішення задачі (режим консультації або режим використання). У режимі придбання знань спілкування з ЕС здійснює експерт (за допомогою інженера знань).

Використовуючи компонент придбання знань, експерт описує проблемну область у виді сукупності фактів і правил. Іншими словами, «наповнює» ЕС знаннями, що дозволяють їй самостійно вирішувати задачі з проблемної області.

Відзначимо, що цьому режимові при традиційному підході до програмування відповідають етапи: алгоритмізації, програмування і налагодження, виконувани програмістом. Таким чином, на відміну від традиційного підходу у випадку ЕС розробку програм здійснює не програміст, а експерт, що не володіє програмуванням.

У режимі консультацій спілкування з ЕС здійснює кінцевий користувач, якого цікавить результат і (або) спосіб його одержання. Необхідно відзначити, що в залежності від призначення ЕС користувач може:

- не бути фахівцем у даній предметній області, і в цьому випадку він звертається до ЕС за результатом, що не вміє одержати сам;
- бути фахівцем, і в цьому випадку він звертається до ЕС з метою прискорення одержання результату, покладаючи на ЕС рутинну роботу.

Слід зазначити, що на відміну від традиційних програм ЕС при рішенні задачі не тільки виконують запропоновану алгоритмом послідовність операцій, але і сама попередньо формує неї.

Добре побудована ЕС має можливість самонавчатися на розв'язуваних задачах, поповнюючи автоматично свою БЗ результатами отриманих висновків і рішень [2, 11].

Особливості ЕС, що відрізняють їх від звичайних програм, полягають у тім, що вони повинні володіти:

1. Компетентністю, а саме:

- Досягати експертного рівня рішень (тобто в конкретній предметній області мати той же рівень професіоналізму, що й експерти-люди).
- Бути вмілою (тобто застосовувати знання ефективно і швидко, уникаючи, як і люди, непотрібних обчислень).
- Мати адекватну робастність (тобто здатність лише поступово знижувати якість роботи по мірі наближення до границь діапазону компетентності або припустимої надійності даних).

2. Можливістю до символічних міркувань, а саме:

- Представляти знання в символічному виді.
- Переформулювати символічні знання. З точки зору штучного інтелекту символ – це рядок знаків, що відповідає змісту деякого поняття. Символи поєднують, щоб виразити відносини між ними. Коли відносини представлені в ЕС вони називаються символічними структурами.

3. Глибиною, а саме:

- Працювати в предметній області, що містить важкі задачі.
- Використовувати складні правила (тобто використовувати або складні конструкції правил, або велику їхню кількість).

4. Самосвідомістю, а саме:

- Досліджувати свої міркування (тобто перевіряти їх правильність).
- Пояснювати свої дії.

Існує ще одна важлива відмінність ЕС. Якщо звичайні програми розробляються так, щоб щораз породжувати правильний результат, то ЕС розроблені для того, щоб поводитися як експерти. Вони, як правило, дають правильні відповіді, але іноді, як і люди, здатні помилятися.

В традиційних програмах для рішення складних задач, теж можуть виникати помилки. Але їх дуже важко виправити, оскільки алгоритми, що лежать у їхній основі, явно в них не сформульовані. Отже, помилки нелегко знайти і виправити. ЕС, подібно людям, мають потенційну можливість вчитися на своїх помилках [1, 2, 4].

Технологія розробки ЕС, містить у собі шість етапів: етапи ідентифікації, концептуалізації, формалізації, виконання, тестування, дослідної експлуатації. Розглянемо більш докладно послідовності дій, які необхідно виконати на кожному із етапів [2, 10, 11].

1. На етапі ідентифікації необхідно виконати наступні дії:
 - визначення задачі, що підлягають рішенням і меті розробки,
 - визначення експертів і типу користувачів.
2. На етапі концептуалізації:
 - проводиться змістовний аналіз предметної області,
 - виділяються основні поняття і їхні взаємозв'язки,
 - визначаються методи рішення задач.
3. На етапі формалізації:
 - вибираються програмні засоби розробки ЕС,
 - визначаються способи представлення усіх видів знань,
 - формалізуються основні поняття.
4. На етапі виконання (найбільш важливе і трудомісткому) здійснюється наповнення експертом БЗ, при якому процес придбання знань розділяють на:
 - «витяг» знань з експерта,
 - організацію знань, що забезпечує ефективну роботу ЕС;
 - представлення знань у виді, зрозумілому для ЕС.

Процес надбання знань здійснюється інженером по знаннях на основі діяльності експерта.

5. На етапі тестування експерт і інженер по знаннях з використанням діалогових і пояснювальних засобів перевіряють компетентність ЕС. Процес тестування продовжується доти, поки експерт не вирішить, що система досягла необхідного рівня компетентності.

6. На етапі дослідної експлуатації перевіряється придатність ЕС для кінцевих користувачів. За результатами цього етапу можлива істотна модернізація ЕС.

Процес створення ЕС не зводиться до строгої послідовності цих етапів, тому що в ході розробки приходиться неодноразово повертатися на більш ранні етапи і переглядати прийняті там рішення.

ЕС відзначаються певними перевагами при використанні. Зокрема, ЕС [2, 8]:

- переважає можливість людини при вирішенні надзвичайно громіздких проблем;
- не має упереджених думок, тоді як експерт користується побічними знаннями і легко піддається впливу зовнішніх факторів;
- не робить поспішних висновків;
- забезпечує діалоговий режим роботи;
- дозволяє працювати з інформацією, що містить символічні змінні;
- забезпечує коректну роботу з інформацією, яка містить помилки, за рахунок використання імовірнісних методів досліджень;
- дозволяє проводити одночасну обробку альтернативних версій;
- по вимозі пояснює хід кроків реалізації програми;
- забезпечує можливість обґрунтування рішення та відтворення шляху його прийняття.

Але навіть найкращі з існуючих ЕС мають певні обмеження у порівнянні з людиною-експертом, які зводяться до наступного [2, 14]:

1) Більшість ЕС не цілком придатні для широкого використання. Якщо користувач не має деякого досвіду роботи з цими системами, у нього можуть виникнути серйозні труднощі. Багато ЕС доступні лише тим експертам, які створювали їх БЗ. Тому потрібно паралельно

розробляти відповідний інтерфейс, який би забезпечив кінцевому користувачу властивий йому режим роботи.

2) Можливості системи не завжди зростають після сеансу експертизи, навіть коли проявляються нові знання.

3) Все ще залишається проблемою приведення знань, отриманих від експерта, до вигляду, який забезпечував би їх ефективне використання.

4) ЕС, як правило, не можуть набувати якісно нових знань, не передбачених під час розробки, і тим більше не володіють здоровим глуздом. Людина-експерт при розв'язанні задач звичайно звертається до своєї інтуїції або здорового глузду, якщо відсутні формальні методи рішення або аналоги розв'язування даної проблеми.

ЕС можуть використовуватися для: інтерпретації, діагностики, моніторингу, передбачення, планування, проектування.

ЕС можна використовувати в прогнозування, планування, контролі, управлінні та навчанні. Наприклад, ЕС вже застосовуються в банківській справі в таких напрямках:

- програмах аналізу інвестиційних проектів;
- програмах аналізу стану валютного, грошового та фондового ринку;
- програмах аналізу кредитоспроможності чи фінансового стану підприємств і банків.

Процес створення ЕС значно змінився за останні роки. Завдяки появі спеціальних інструментальних засобів побудови ЕС значно скоротились терміни та зменшилась трудомісткість їх розробки. Інструментальні засоби, що використовуються при створенні ЕС, можна розбити на три класи [2, 11]:

- мови програмування, орієнтовані на створення ЕС (Ліпс, Пролог, Smalltalk, FRL, Interlisp та такі загальноживані, як: Сі, Асемблер, Паскаль, Фортран, Бейсик);
- середовища програмування (Delphi, Java);
- пусті ЕС (оболонка EXSYS Professional 5.0 for Windows).

На американському і західноєвропейських ринках систем штучного інтелекту організаціям, які бажають створити ЕС, фірми-розробники пропонують сотні інструментальних засобів для їх побудови. Нараховуються тисячі розроблених вузькоспеціалізованих ЕС. Це свідчить про те, що ЕС складають дуже вагомий частину програмних засобів [3, 13].

Висновки

Аналіз таких сучасних експертних методів, як метод Делфі, метод перехресного впливу, метод аналізу ієрархій, показав їх високу практичну корисність для прийняття ефективних управлінських рішень в умовах невизначеності в різних сферах народного господарства.

В роботі також розглянуті питання побудови експертних систем, їх переваг та недоліків, сфер застосування та перспектив їх подальшого розвитку.

Отримані результати будуть покладені в основу розробки модуля експертних оцінок щодо екологічного ризику від негативних техногенно-екологічних впливів АЕС на населення прилеглих територій та довкілля. Даний програмний модуль буде однією із основних частин комп'ютеризованої інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки екологічного впливу АЕС на навколишнє природне середовище.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Грабовецький Б. Є.* Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія / Б. Є. Грабовецький. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 171 с.
2. *Литвак Б. Г.* Экспертные технологии в управлении : учеб. пособие, 2-е изд. /Б. Г. Литвак. – М. : Изд. «Дело», 2004. – 400 с.
3. *Попов О. О.* Використання експертних методів в задачах екологічної безпеки навколишнього середовища / О. О. Попов // «Хімічна і радіаційна безпека: проблеми і рішення» : Матеріали другої міжнародної конференції, 27-30 травня 2014 р. – Ужгород, 2014. – С. 67-68.

4. Злобина Н. В. Управленческие решения : учеб. пособие. / Н. В. Злобина. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 80 с.
5. Трофимова Л. А. Управленческие решения / Л. А. Трофимова, В. В. Трофимов. –СПб. : Изд-во СПбГУ ИТМО, 2011. – 192 с.
6. Барбашев С. В. Розширення функціональних можливостей радіоекологічного моніторингу природного середовища в районах розташування АЕС щодо прийняття управлінських рішень / С. В. Барбашев, Г. В. Лисиченко, О. О. Попов // Ядерна енергетика та довкілля. – Київ : ДНІЦ СКАР, 2014. – № 2(4). – С. 12-18.
7. Попов О. О. Концепція інформаційно-експертної системи для оцінки екологічного впливу АЕС на навколишнє середовище / О. О. Попов // Матеріали XXXIII Щорічної науково-технічної конференції „Моделювання”, 15-16 січня 2014 р. : тези допов. – К. : ІПМЕ ім. Г. Є Пухова НАН України, 2014. – С. 5-6.
8. Орлов А. И. Теория принятия решений. Учебное пособие / А. И. Орлов. – М. : Издательство „Март”, 2004. – 656 с.
9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.
10. Чудновская С. Н. Управленческие решения: учебник / С. Н. Чудновская. – М.: Эксмо, 2007. – 368 с.
11. Колпаков В. М. Теория и практика принятия управленческих решений : учеб. пособие, 2-е изд., перераб. и доп. / В. М. Колпаков. – Киев : МАУП, 2004. – 504 с.
12. Подиновский В. В. Методы принятия решений. Теория и методы многокритериальных решений : хрестоматия / сост. В. В. Подиновский. – М. : ГУ-ВШЭ, 2005. – 242 с.
13. Лисиченко Г. В. Методологія оцінювання екологічних ризиків / Г. В. Лисиченко, Г. А. Хміль, С. В. Барбашев. – О. : Астропринт, 2011. – 368 с.
14. Филинов Н. Б. Разработка и принятие управленческих решений: Учеб. пособие / Н. Б. Филинов. – М. : ИНФРА-М, 2010. – 308 с.

REFERENCES

1. B. Grabovec'kyj Metody ekspertnyh ocinok: teorija, metodologija, naprjamky vykorystannja : monografija [Methods of expert assessments: Theory, Methodology, directions of use: monograph] / B. Je. Grabovec'kyj. – Vinnycja : VNTU, 2010. – 171 s. [in Russian]
2. B. Litvak Jekspertnye tehnologii v upravlenii : ucheb. posobie, 2-e uzd [Expert technologies in management: Study Guide, 2nd ed.] / B. G. Litvak. – М. : Izd. «Delo», 2004. – 400 s. [in Russian]
3. O. Popov Vykorystannja ekspertnyh metodiv v zadachah ekologichnoi' bezpeky navkolyshn'ogo seredovyshha [The use of expert methods in problems of ecological safety of the environment] / O. O. Popov // «Himichna i radiacijna bezpeka: problemy i rishennja» : Materialy drugoi' mizhnarodnoi' konferencii', 27-30 travnja 2014 r. – Uzhgorod, 2014. – S. 67-68. [in Ukrainian]
4. N. Zlobina Upravlencheskie reshenija: ucheb. posobie. [Management decision : Study Guide] / N. V. Zlobina. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 80 s. [in Russian]
5. L. Trofimova Upravlencheskie reshenija [Management decision] / L. A. Trofimova, V. V. Trofimov. – SPb.:Izd-vo SPbGU ITMO, 2011. – 192 s. [in Russian]
6. S. Barbashev Rozshyrennja funkcional'nyh mozhlyvostej radioekologichnogo monitoryngu pryrodnogo seredovyshha v rajonah roztashuvannja AES shhodo pryjnattja upravlins'kyh rishen' [Expanding the functionality of radiological monitoring of the environment in the areas of the NPP for management decisions] / S. V. Barbashev, G. V. Lysychenko, O. O. Popov // Jaderna energyka ta dovkillja (Nuclear energy and the environment). – Kyi'v : DNIC SKAR, 2014. – № 2(4). – S. 12-18. [in Ukrainian]
7. O. Popov Koncepcija informacijno-ekspertnoi' systemy dlja ocinky ekologichnogo vplyvu AES na navkolyshnje seredovyshhe [The concept of information and expert systems for environmental impact assessment of NPP on the environment] / O. O. Popov // Materialy XXIII Shhorichnoi' nauково-tehnichnoi' konferencii' „Modeljuvannja”, 15-16 sichnja 2014 r. : tezy dopov. – K. : IPME im. G. Je Puhova NAN Ukrai'ny, 2014. – С. 5-6. [in Ukrainian]
8. A. Orlov Teorija prinjatija reshenij. Uchebnoe posobie [Theory of decision making. Study Guide] / A. I. Orlov. – М. : Izdate'l'stvo „Mart”, 2004. – 656 s. [in Russian]
9. T. Saati Prinjatje reshenij. Metod analiza ierarhij [Decision making. Method of hierarchy analyses] / T. Saati – М. : Radio i svjaz', 1993. – 278 s. [in Russian]
10. S. Chudnovskaja Upravlencheskie reshenija: uchebnik [Management of decision making: Study Guide] / S. N. Chudnovskaja. – М.: Jeksmo, 2007. – 368 s. [in Russian]
11. V. Kolpakov Teorija i praktika prinjatija upravlencheskih reshenij : ucheb. posobie, 2-e izd., pererab. i dop. [Theory and practice of decision making: Study Guide, 2nd edition., changed and added.] / V. M. Kolpakov. – Kiev : MAUP, 2004. – 504 s. [in Russian]
12. V. Podinovskij Metody prinjatija reshenij. Teorija i metody mnogokriterial'nyh reshenij : hrestomatija [Methods of decision making. Theory and methods of multicriteria decision: chrestomathy] / sost. V. V. Podinovskij. – М. : GU-VShJe, 2005. – 242 s. [in Russian]
13. G. Lysychenko Metodologija ocinjuvannja ekologichnyh ryzykiv [The methodology of evaluation of environmental risks] / G. V. Lysychenko, G. A. Hmil', S. V. Barbashev. – О.: Astroprynt, 2011. – 368 s. [in Ukrainian]

14. N. Filinov Razrabotka i prinjatie upravlencheskih reshenij: Ucheb. posobie [Development and management of decision making: Study Guide] / N. B. Filinov. – М. : INFRA-M, 2010. – 308 s. [in Russian]

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ МЕТОДОВ И СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ АЭС

Попов А. А., Яцишин А. В., Артемчук В. А.

Попов А. А. д. т. н., ст.н.с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», sasha_popov1982@mail.ru.

Яцишин А. В. д. т. н., вед. н. с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», andic@ua.fm.

Артемчук В. А. к. т. н., докторант, Институт проблем моделирования в энергетике им. Г. Е. Пухова Национальной академии наук Украины, ak24avo@gmail.com.

В работе рассмотрены вопросы возможностей использования современных экспертных методов и систем для поддержки принятия управленческих решений в сфере экологической безопасности в зонах влияния АЭС. Осуществлен анализ таких экспертных методов, как метод Дельфи, метод анализа иерархий, метод перекрестного влияния. Данные методы применяются в различных сферах народного хозяйства для принятия эффективных управленческих решений. Ни один из них сам по себе не решает определенную проблему, а являются составными системной методологии. Метод Дельфи основывается на предположении, что на основе мнений экспертов можно построить адекватную модель будущего развития объекта прогнозирования. Метод анализа иерархий не приписывает лицу, принимающему решение, какого-либо правильного решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант, который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению. Метод перекрестного влияния представляет собой усовершенствованный вариант метода анализа иерархий и позволяет предвидеть возможное возникновение будущих событий, экстраполируя на будущее известные данные. Анализ возможностей данных методов показал их высокую практическую полезность для принятия эффективных управленческих решений в условиях неопределенности в различных сферах народного хозяйства. В работе также рассмотрены вопросы построения экспертных систем, их преимуществ и недостатков, сфер применения и перспектив их дальнейшего развития. Полученные результаты будут использованы для построения модуля экспертных оценок информационно-аналитической экспертной системы для оценки экологического воздействия АЭС на окружающую среду.

Ключевые слова: неопределенность, экспертный метод, экспертная система, управление, экологическая безопасность, атомная электростанция.

POSSIBILITY OF USING THE EXPERT METHODS AND SYSTEMS TO SOLVE ECOLOGICAL SAFETY ISSUES AT THE ZONES OF NPPS INFLUENCE

A. Popov, A. Yatsyshyn, V. Artemchuk

A. Popov D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, SI «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», sasha_popov1982@mail.ru.

A. Yatsyshyn D. Sc. (Tech.), Principal Researcher, SI «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», andic@ua.fm.

V. Artemchuk Ph. D. (Tech.), Postdoctoral Researcher, Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering (NAS of Ukraine), ak24avo@gmail.com.

The issues of possible use of modern expert methods and systems for decision making support in the field of environmental safety at the zones of NPP influence are considered in the article. The analyses of the methods, as a Delphi method, hierarchy method, method of cross sections is presented. These methods are used in various sectors of the economy to make effective decision-making process. None of them by itself solves a specific problem, but works as an integral system methodology. Delphi method is based on the assumption that on the basis of expert opinion can be done an adequate model for the future development of the object forecasting. Analytic hierarchy does not attribute to the person making a decision, any correct decisions and allows interactively find the option that best agrees with his understanding of the nature of the problem and requirements to its solving. The method of cross-influence is an improved version of the analytic hierarchy process and allows to foresee the possible future occurrences, extrapolating data for the future. Analysis of the possibilities of these methods proved their practical utility for making effective administrative decisions in conditions of uncertainty in various areas of the economy. The issues of expert systems creation, their advantages and disadvantages, applications and prospects for their further development are also considered in the paper. The obtained results will be used to construct a module of expert information and analytical assessments of the expert system for environmental impact assessment of nuclear power plants.

Keywords: uncertainty, expert method, expert system, management, environmental safety, nuclear power plant.

© **Попов О. О., Яцишин А. В., Артемчук В. О.** МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРТНИХ МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В ЗОНАХ ВПЛИВУ АЕС