

**М. М. Мітрахович,**

*генерал-лейтенант, заступник начальника озброєння  
Збройних Сил України з військово-технічних проблем,  
д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,*

**В. Л. Бурячок,**

*полковник, начальник наук.-дослід. відділу Центрального наук.-дослід.  
ін-ту озброєння та військ. техніки Збройних Сил України,  
канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,*

**М. І. Луханін,**

*полковник, заступник начальника Головного управління  
розробок і закупівлі озброєння та військ. техніки озброєння  
Міністерства оборони України, канд. техн. наук, ст. наук. співроб.*

## Методичні аспекти експертного аналізу зразків техніки у прогнозуванні їх використання та розвитку

*Розглядаються можливості вдосконалення науково-методичного апарату порівняльного аналізу зразків техніки для прийняття обґрунтованого рішення щодо їх подальшого розвитку або модернізації. Головною особливістю такого рішення є застосування методів експертних оцінок.*

**У** процесі розв'язання задач, тісно пов'язаних з розвитком техніки, потрібно враховувати як сучасні реалії, так і довгострокові перспективи та наслідки прийнятих рішень [1]. Упровадження перспективних наукових ідей і нововведень потребує орієнтування не так на сьогоднішній рівень техніки й економіки, як на їх передбачуваний стан. Аналізуючи шляхи й можливості реалізації довгострокових програм, треба зважати на закономірності розвитку розглянутих об'єктів. Експертний аналіз зразків (систем) техніки для розв'язання задач прогнозування їх використання та розвитку слід виконувати за методикою, структуру якої наведено на схемі 1.

Вибір найкращого рішення нерідко стикається з багатозначністю узагальненого критерію, на основі якого можна зробити висновок про доцільність розроблення (модернізації) зразків (систем) техніки або провести порівняльний аналіз тих чи інших альтернативних зразків. За базовий обирають, як правило, зразок, що відповідає тактико-технічним вимогам до техніки досліджуваного класу.

Для підвищення достовірності результатів останнім часом усе ширше використовуються експертні методи [2–4], під якими розуміють комплекс логічних та математико-статистичних методів і процедур, спрямованих на отримання від фахівців інформації, необхідної для підготовки та вибору раціональних рішень. Експертні методи застосовуються в тих ситуаціях, коли вибір, обґрунтування й оцінювання результатів рішень не можуть бути виконані на основі точних розрахунків. Це забезпечує активну й цілеспрямовану участь фахівців на всіх етапах прийняття рішень, що уможливорює суттєве підвищення їхньої якості й ефективності.

Практика свідчить, що застосування методів експертних оцінок найбільш ефективно лише після того, як усі наявні дані про досліджувану задачу або проблему систематизовані за допомогою спеціальних нормативних процедур. Це дає змогу цілеспрямовано розглянути основні етапи процесу формування рішень, виявити структуру задачі (проблеми) та формалізувати переваги осіб, які приймають рішення. Щоб автоматизувати процес формалізації, нині працюють над створенням автоматизованих експертних систем.

З функціональної точки зору під експертною системою слід розуміти [5–9] складну обчислювальну (програмну) систему, яка акумулює та використовує знання фахівців про деяку конкретну вузькоспеціалізовану предметну галузь і в межах цієї галузі здатна приймати рішення на рівні експерта-професіонала й надавати консультації менш досвідченим користувачам. У цьому процесі беруть участь особа, що приймає рішення, експерти та консультанти [10].

*Особа, що приймає рішення, має певну мету, яка слугує мотивом щодо постановки задачі та пошуку її розв'язання. Як правило, особа, що приймає рішення, є компетентним спеціалістом у своїй галузі і має досвід діяльності в ній, наділена необхідними повноваженнями й несе відповідальність за прийняте рішення.*

*Експертом називають спеціаліста, який має інформацію про розв'язувану задачу, але не несе безпосередньої відпові-*



Схема 1. Структура методики експертного аналізу зразків (систем) техніки у процесі розв'язання задач прогнозування їх використання та розвитку.

дальності за результат її розв'язання. Експерт дає оцінки конкуруючим варіантам з еталонної вибірки, розташовуючи їх у ряд переваг, необхідний для розв'язання задачі вибору.

**Консультант** – це спеціаліст у галузі теорії вибору та прийняття рішення. Він розробляє модель вихідної задачі та процедуру прийняття рішення, організовує роботу особи, яка приймає рішення, та експертів під час пошуку рішення. Інакше кажучи, консультант – це спеціаліст, який готує базу вихідних даних для експертів та для особи, що приймає рішення.

Ідеальна експертна система [5–9] повинна мати такі основні якості:

- компетентність;
- здатність приймати рішення на підставі символічних перетворень;
- здатність використовувати як загальні, так і часткові схеми для прийняття рішення;
- здатність розв'язувати важкі задачі зі складних реальних предметних галузей;
- здатність до переформулювання запитів і задач;
- здатність до оцінювання власної роботи й структури.

Ідеальна експертна система (схема 2) – це машинноорієнтований об'єкт, що складається з декількох елементів – бази даних; бази знань; компонента прийняття рішення; компо-

нента отримання знань; компонента відображення та пояснення рішення; діалогового компонента.

Використовуючи ідеальну експертну систему, оцінюють коректність структури базового зразка (системи) техніки та зразків-аналогів.

**Базу даних** експертної системи формують так. Спочатку визначають вхідні та проміжні дані. За вхідні дані беруть окремі види техніки, об'єднані в одну ієрархію за прийнятою класифікацією. Їх подають у вигляді дерева правил, де кожен вузол може бути складною технічною системою, тобто складатися з безлічі властивостей (таблиці властивостей). Таблиця властивостей міститиме окремі характеристики зразка (системи) техніки (наприклад, певні тактико-технічні характеристики, техніко-економічні показники тощо). Структура таблиці не фіксована. Це пояснюється тим, що різним зразкам (системам) техніки притаманна різна кількість властивостей. Тому в даному разі доречно говорити про перелік властивостей. Властивості окремого зразка (системи) техніки не входять до ланцюжка підсистеми логічного висновку, але відіграють значну роль у порівнянні вузлів зразка (системи) аналога і базового зразка, якщо існує розходження у визначеннях термінів.

Порівняння вузлів (складових частин) зразків (систем) техніки одного класу починається з зіставлення визначень

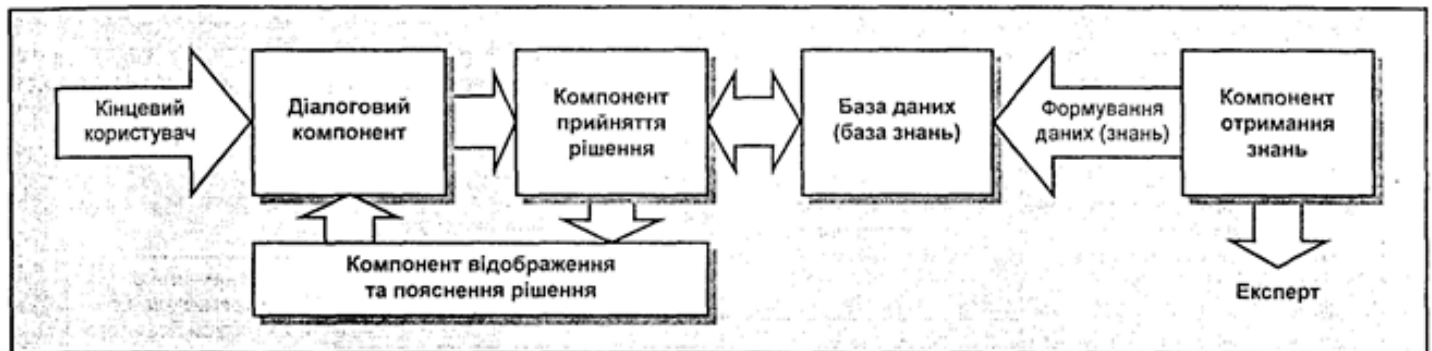


Схема 2. Структура ідеальної експертної системи.



Схема 3. Алгоритм формування рівнів ієрархії.

вузла базового зразка та зразка-аналога. Якщо визначення не збігаються; то треба порівняти перелік їх властивостей. Два вузли (дві складові частини) тотожних зразків техніки вважатимуться однаковими, якщо всі їхні властивості збігаються (за синтаксичним написом). Винятком може бути ситуація, коли вузол зразка-аналога порівняно з базовим зразком має більше властивостей.

Дерева зразків-аналогів та базового зразка розгалужуються на три вузли (частини). Припустимо, що система проаналізувала тотожність за визначеннями двох вузлів (частин) зразків-аналогів з такими само вузлами (частинами) базового зразка. Як інтерпретувати результати порівняння?

Тоді в процесі розв'язання задачі прогнозування використання та розвитку зразків (систем) техніки потрібно:

- 1. подати зразок (систему) у вигляді дерева;
- 2. визначити властивості елементів дерева;
- 3. визначити вагові коефіцієнти значущості елементів кожного рівня дерева (визначити значущість елементів);
- 4. визначити співвідношення між вузлами дерева (І/АБО).

**База знань** – це класифікатор правил, за якими експертна система виноситиме рішення. У нашому випадку правила формуються вже на етапі запису об'єкта. Правила формування знань подаються у вигляді такої продукційної моделі:

$$\begin{aligned} &\text{ЯКЩО (умова), ТО (визначений об'єкт 1);} \\ &\text{ЯКЩО (визначений об'єкт 1, умова),} \\ &\text{ТО (визначений об'єкт 2).} \end{aligned} \quad (1)$$

Спочатку база знань порожня. У разі введення нового об'єкта його ступінь відповідності дорівнює нулеві і система автоматично записує даний об'єкт у базу знань як зразок-аналог. Це триває до досягнення такого рівня відповідності (рівня  $N$ ), з якого система починає аналізувати записані зразки. Він характеризуватиметься деякою кількістю елементів  $n$  зразка-аналога, однакових з елементами базового зразка.

Відповідні знання вводить користувач, який вказує системі, коли вона має розпочати процес аналізу. При малому значенні  $N$  аналіз проводитиметься з дуже низьким рівнем

відповідності, тобто висновок буде наближенням. Тому користувач має заздалегідь винести раціональне рішення щодо визначення рівня  $N$ .

У такий само спосіб система опитує користувача стосовно формування рівнів ієрархії. Для цього пропонується використовувати алгоритм, наведений на схемі 3.

**Компонент прийняття рішення** формують у такий спосіб. У процесі прийняття рішення беруть участь два масиви параметрів: масив вагових коефіцієнтів значущості вузлів та масив логічних відношень.

На початку аналізу вибирають об'єкт, у якого кількість збігів зі зразком-аналогом максимальна. Так створюється основа для компонування вихідного (або перспективного) зразка на базі існуючих зразків-аналогів. Доволі часто кількості вузлів і вершин декількох об'єктів не збігаються, тому виникає ситуація невизначеності, яка, як правило, буває двох видів:

1) досліджуваний вузол зразка наявний у зразках-аналогах, але його немає у вибраному зразку;

2) досліджуваний вузол зразка взагалі не знайдений у зразках-аналогах.

У випадку першої невизначеності зазвичай використовують правило Байєса:

$$P(A) \cdot P(B/A) = P(B) \cdot P(A/B), \quad (2)$$

де  $A$  – вузол зразка-аналога, що аналізується;  $B$  – вихідний вузол зразка, знайдений в іншого зразка-аналога;  $P(A)$  – ваговий коефіцієнт значущості вузла зразка-аналога, до якого повинен належати вузол зразка, знайдений в іншого зразка-аналога;  $P(B)$  – ваговий коефіцієнт значущості вузла, знайденого в іншого зразка-аналога, до якого належить досліджуваний вузол;  $P(A/B)$  – ваговий коефіцієнт значущості обраного зразка-аналога при перенесенні знайденого вузла до обраного зразка-аналога;  $P(B/A)$  – можливий ваговий коефіцієнт значущості іншого зразка-аналога при перенесенні вузла зразка-аналога, що аналізується, в ієрархію іншого зразка-аналога, який містить потрібний вузол.

Отже, виникає потреба знайти величину

$$P(A/B) = P(A) \cdot \frac{P(B/A)}{P(B)}, \quad (3)$$

попередньо обчисливши можливу величину  $P(B/A)$ .

У випадку другої невизначеності можна також використати підхід Байєса. Але в цьому разі  $P(B)$  буде вибиратися в самому зразку і при підрахунку  $P(A/B)$  виникатиме ступінь довіри до вагових коефіцієнтів зразка, що відобразитиметься так званим коефіцієнтом довіри, який може задаватися користувачем або розраховуватись.

Логіка аналізу підтримується за співвідношеннями І/АБО, які визначаються в процесі подання зразка:

$$\begin{aligned} P1 \text{ І } P2 &= \min(P1, P2); \\ P1 \text{ АБО } P2 &= \max(P1, P2). \end{aligned} \quad (4)$$

Якщо існує декілька правил, що визначають один об'єкт, то вводиться алгоритм спільного коефіцієнта, за яким підра-

ховують кількість правил, що визначають один і той самий елемент, потім додають усі добутки з непарною кількістю множників і віднімають добутки з парною кількістю множників, після чого отримують шуканий коефіцієнт.

Наприклад:

1-ше правило: ЯКЩО  $a$ , ТО  $m$ ;

2-ге правило: ЯКЩО  $b$ , ТО  $m$ ;

3-тє правило: ЯКЩО  $c$ , ТО  $m$ .

$K = a + b + c - a \cdot b - b \cdot c - a \cdot c + a \cdot b \cdot c$  – підсумковий коефіцієнт.

Отже, аналіз проходить “знизу до верху” з виведенням кількісного значення у верхній вершині.

До цього компонента входить набір питань, за допомогою яких система розв'язуватиме логічні конфлікти, що виникають, або уточнюватиме деякі дані.

**Компонент отримання знань** є головною рисою експертної системи, яка відрізняє її від інших програмних продуктів. Основне завдання модуля: крім оптимізації та сортування правил, вилучати суперечливі правила й формувати нові, тобто система самонавчається. Найбільш прийнятним алгоритмом самонавчання є алгоритм Голанда, за яким потрібно:

1) випадково створити початкову групу правил із  $M$  правил-структур;

2) обчислити й занести в пам'ять для кожного правила показник його роботи; якщо середнє значення показників досить високе, то зупинити обчислення й викликати ці правила;

3) для кожного правила підрахувати ймовірність його вибору  $p = e/E$ , де  $e$  – індексний показник;  $E$  – сумарний показник для всіх  $M$  правил;

4) створити наступну групу правил відповідно до обчисленої ймовірності вибору, застосовуючи операцію їх генерації;

5) повторити операції з кроку 2.

**Компонент відображення та пояснення рішення** вводить процес прийняття рішення у зручній для користувача формі.

**Діалоговий компонент** – це інтерфейсна оболонка для забезпечення зручного введення правил і редагування даних.

Для аналізу правильності розподілу ресурсів застосовується така само методика, як і для оцінення коректності структури зразка, тобто вибирається найближчий зразок-аналог (за найбільшою кількістю вершин, що збіглися); відсутні вузли додаються до обраної структури, а зайві – вилучаються.

Будемо вважати, що фінансові ресурси  $S$ , виділені на верхній вузол зразка, поділяються на ресурси  $S_1$ , призначені для комплексування вузла верхнього рівня, і ресурси  $S_2$ , розподілені для створення елементів зразка нижнього рівня, тобто

$$S = S_1 + \sum_{i=1}^n S_{2i}, \quad (5)$$

де  $n$  – кількість елементів зразка нижнього рівня.

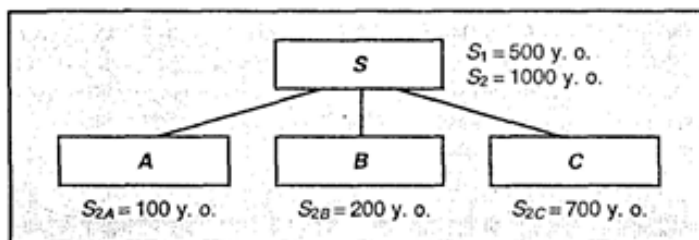


Схема 4. Приклад ізоморфної структури відображення зразка-аналога на структуру базового зразка за умови збігу їх вузлів за визначенням і властивостями.

Розглянемо перший випадок, коли в структурі зразка-аналога усі вузли за своїм визначенням і властивостями збігаються з вузлами базового зразка, тобто коли маємо ізоморфну структуру відображення зразка-аналога на структуру базового зразка (схема 4). У структурі цього аналога будуть визначені витрати на вузли (елементи) системи.

У цьому разі формула (5) набуває вигляду

$$S = S_1 + S_{2A} + S_{2B} + S_{2C}, \quad (6)$$

де  $S_1 = 500$  у.о. – фінансові ресурси, витрачені на комплексування вузла верхнього рівня;  $S_2 = 1000$  у.о. – фінансові ресурси, виділені на створення вузлів нижніх рівнів;  $S_{2A} = 100$  у.о.,  $S_{2B} = 200$  у.о.,  $S_{2C} = 700$  у.о. – відповідні фінансові ресурси, виділені на створення вузлів нижнього рівня.

У даному випадку можна зробити припущення, що головний вузол віддає всі ресурси на виготовлення нижніх вузлів або залишає в себе їх певний відсоток. Останнє залежатиме від повноти даних, отриманих під час опитування користувача. Сама система за замовчуванням знаходитиме цей відсоток, визначаючи відношення обсягу фінансових ресурсів, витрачених на комплексування, до загального обсягу виділених ресурсів.

Цю інформацію можна використовувати, реформуючи структуру зразка-аналога, тобто зберігаючи відсоток фінансових ресурсів верхнього вузла відносно витрачених ресурсів на нижньому рівні ієрархії. Якщо

$$S_1/S_2 = \frac{500}{(500+1000)} = \frac{1}{3}, \quad (7)$$

то цю пропорцію потрібно зберегти.

Якщо в зразку пропорція не зберігається, то система повинна видати попередження про виявлену невідповідність. Менеджер проекту може прийняти рішення про перерозподіл фінансових ресурсів.

У другому випадку, коли в структурі обраного зразка-аналога відсутній елемент базового зразка, але при цьому є інший зразок-аналог, який має необхідний елемент і в ньому наявний ще хоча б один елемент, який є у виділених елементах першого зразка-аналога (схема 5), то з'являється впевненість про можливість збереження пропорцій між елементами одного рівня в базовому зразку та в зразках-аналогах.

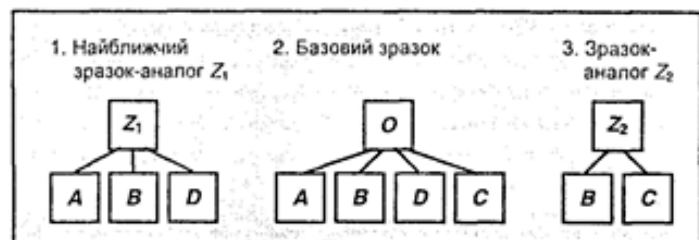


Схема 5. Приклад ізоморфної структури відображення зразків-аналогів на структуру базового зразка за відсутності в найближчому з них декількох базових елементів.

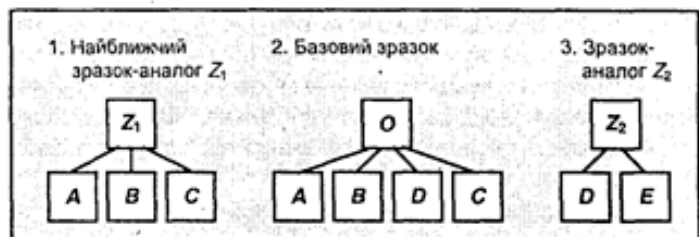


Схема 6. Приклад ізоморфної структури відображення зразків-аналогів на структуру базового зразка за відсутності в найближчому з них декількох базових елементів.

У цьому прикладі буде витримуватися пропорційність:

$$\frac{S_2(A_0)}{S_2(B_0)} = \frac{S_2(A_{21})}{S_2(B_{21})}, \quad \frac{S_2(C_0)}{S_2(B_0)} = \frac{S_2(C_{22})}{S_2(B_{22})}, \quad (8)$$

де  $S_2(A_0)$  – фінансові ресурси, виділені на елемент  $A_0$  у базовому зразку;  $S_2(B_0)$  – фінансові ресурси, виділені на елемент  $B_0$  у базовому зразку;  $S_2(C_0)$  – фінансові ресурси, виділені на елемент  $C_0$  у базовому зразку;  $S_2(A_{21})$  і  $S_2(B_{21})$  – фінансові ресурси, виділені відповідно на елементи  $A$  і  $B$  у зразку-аналогу  $Z_1$ ;  $S_2(B_{21})$  і  $S_2(C_{21})$  – фінансові ресурси, виділені відповідно на елементи  $B$  і  $C$  у зразку-аналогу  $Z_2$ .

У загальному випадку відношення (8) набудуть вигляду

$$\frac{S_{2i}(A)}{S_{2j}(A)} = \frac{S_{2i}(O)}{S_{2j}(O)}. \quad (9)$$

У третьому випадку, коли в структурі обраного зразка-аналога вузол відсутній, але він є в структурі іншого зразка-аналога, може виникнути ситуація, зображена на схемі 6.

Якщо підмножина елементів нижнього рівня не перетинається, тобто  $\{A_i^n\} \cap \{A_j^n\} = \emptyset$ , то зразки-аналоги мають усі елементи нижнього рівня, які наближаються до елементів базового зразка, за умови, що

$$\{O^n\} \cap \left( \bigcup_{i=1}^n \{A_i^n\} \right) \neq k, \quad (10)$$

де  $k$  – кількість елементів базового зразка на нижньому рівні.

Аналіз розподілу фінансових ресурсів відбувається так:

1) формується гіпотетичний образ зразка-аналога, який відповідає структурі базового зразка;

2) визначається можливість порівняння нижнього рівня найближчого зразка-аналога з рівнем складності елемента, що додається з інших зразків-аналогів за такою шкалою:

- нідляє порівнянню цілком;
- підляє порівнянню частково;
- майже не порівнюється;
- не підляє порівнянню;

у запропонованій шкалі експерти задають коефіцієнт перерахування фінансових витрат  $K_n$ , який характеризує зміну витрат на створення елемента, що приєднується; тоді сума витрат на створення елемента, що приєднується, у гіпотетичному зразку-аналогі визначається за формулою

$$S_2^r(k) = S_2(k) \cdot K_n; \quad (11)$$

3) досліджуються сформовані пропорції між елементами гіпотетичного зразка-аналога й порівнюються з пропорціями базового зразка;

4) якщо у зразках-аналогах відсутні елементи базового зразка, то пропорції між усіма його елементами задаються експертами.

Даний підхід дає змогу отримувати інформацію про можливі невідповідності, які закладені в поданні зразків (систем) техніки у процесі розв'язання задач прогнозування їх використання та розвитку.

Основні положення, викладені в цій статті, використані в проєкті Державної програми розвитку озброєння та військової техніки на період до 2010 р.

#### Список літератури

1. Программно-целевое планирование развития и научно-техническое сопровождение вооружения и военной техники: Учеб. пособие / Б. А. Демидов, М. М. Митрахович, М. И. Луквини и др. – Харьков: Изд. ХВУ, 1997. – Кн. 2. – 472 с.
2. Глушков В. П. О прогнозировании на основе экспертных исследований. – М.: Изд. МДНТИ, 1969. – 71 с.
3. Гохман О. Г. Экспертное оценивание. – М.: Наука, 1991. – 112 с.
4. Добров Г. М., Ершов Ю. В. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. – К.: Наук. думка, 1974. – 224 с.
5. Бензель С. Д., Гурвич Ф. Г. Экспертные оценки. – М.: Наука, 1973. – 263 с.
6. Евланов Л. С., Кузюзова В. А. Экспертные оценки в управлении. – М.: Экономика, 1978. – 186 с.
7. Статистические методы анализа экспертных оценок / Под ред. Ю. Ю. Чорина и Д. А. Френкеля. – М.: Наука, 1977. – 384 с.
8. Микulich Л. И. Проблемы создания экспертных систем // Уч. записки Тартусского гос. ун-та. – 1985. – Вып. 714: Теория и модели знаний. – С. 14–19.
9. Построение экспертных систем / Пер. с англ.; Под ред. Ф. Хейс-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената. – М.: Мир, 1987. – 214 с.
10. Чирков В. Г. Выбор рациональных технических решений. – К.: Техніда, 1991. – 159 с. – (Б-ка інженера).

Надійшла до редакції 05.06.2002.