

УДК 519.816

**С. В. Каденко**

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України  
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

## **Узагальнена концепція технології збору і обробки знань для підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності**

*Проаналізовано кілька технологій і методик підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності. Зокрема, інструментарій підтримки прийняття рішень розглянуто в контексті задач відбору проєктів, стратегічного планування (на різних рівнях), розподілу ресурсів, протидії негативним впливам в інформаційній боротьбі, побудови та аналізу прогнозованих сценаріїв розвитку подій. На основі проведеного аналізу розроблено умовну класифікацію наявних підходів і узагальнену концепцію технології збору і обробки знань, яка забезпечує прийняття поінформованих і компетентних рішень різного характеру в слабко структурованих предметних областях.*

**Ключові слова:** підтримка прийняття рішень, цільова ієрархічна декомпозиція, рейтинг, ранжирування, стратегічне планування, метод аналізу сценаріїв.

### **Вступ і постановка проблеми**

Слабко структурованими або слабко формалізованими предметними областями називають області, що характеризуються високим рівнем невизначеності. У таких областях діє велика кількість взаємопов'язаних факторів як кількісного, так і якісного характеру. Ці фактори почасти неможливо описати за допомогою величин з фіксованими еталонними значеннями та одиницями виміру. Інформація про такі предметні області, об'єкти та критерії, за якими вони оцінюються та порівнюються, зазвичай, є неповною, або розрізною. Велика частина цієї інформації відсутня у загальному доступі, нею володіють лише компетентні вузькопрофільні фахівці — експерти.

Якщо йдеться про рішення та ситуації, які напряму залежать від кількісних критеріїв, таких як, наприклад, прибуток або економічна вигода, то такі рішення можуть ґрунтуватися на наявних даних, виражених у кількісних величинах. Якщо рішення є таким, що повторюється (наприклад, прийняття бюджету, зарахування студентів до навчального закладу), то технологія прийняття таких рішень може бу-

ти вибудована на основі досвіду попередніх аналогічних рішень, можливо, з незначними корективами.

Водночас, у слабо структурованих предметних областях рішення часто є унікальними, неповторюваними, а під час їхнього прийняття слід враховувати велику кількість факторів, які не піддаються кількісному опису.

Указані особливості ускладнюють процес прийняття управлінських рішень різних рівнів у слабо структурованих предметних областях. Прикладами відповідних областей можуть служити освітня сфера, громадські ініціативи, зовнішньополітична обстановка, безпекове середовище, космічна галузь та інші [1].

Із підвищенням управлінського рівня підвищується відповідальність суб'єкта, або ж особи, яка приймає рішення (ОПР), за його результат, ступінь ризику та «ціну» невірного рішення. Відповідно, для того, щоби рішення були обґрунтованими, компетентними та поінформованими, необхідно враховувати усю наявну інформацію про предметну область. Через вищезгадану неповноту інформації, основним її джерелом, агрегатором і «фільтром» у даному випадку часто виступають експерти і аналітики. Як допоміжні засоби вони можуть використовувати відкриті джерела [2, 3], дані контент-моніторингу [4] та засоби штучного інтелекту (ШІ).

Слід враховувати, що саме брак інформації про відповідні об'єкти та фактори ускладнює застосування засобів штучного інтелекту як достовірного джерела або ж агрегатора такої інформації.

На додачу до самої інформації (експертної і відкритої, кількісної і якісної), для забезпечення ефективності рішень, прийнятих на її основі, необхідні дієві формальні процедури отримання, передачі та обробки цієї інформації.

Узагальнене поняття «рішення», яке мається на увазі в попередніх абзацах, зводиться до вибору одного зі зліченної кількості альтернативних варіантів рішення. Вибір відбувається на основі певного узагальненого критерію оптимальності, визначеного в рамках конкретної задачі.

Типами варіантів рішення можуть бути, зокрема:

— конкретні альтернативи (навчальний заклад для вступу, телефон, ноутбук, авто чи нерухомість для придбання) (багато прикладів можна знайти у [5]);

— проекти або набори проектів для підтримки та фінансування (один проект-переможець у конкурсі; перші п'ять, десять тощо проектів у рейтингу; лідери рейтингу проектів, на які вистачає фіксованого обмеженого обсягу фінансування);

— пріоритетні проекти чи напрямки діяльності ОПР (чи організації), на яких слід зосередити увагу та ресурси [6];

— варіанти розподілу обмежених ресурсів між проектами для найбільш ефективного досягнення заданої головної мети (кожен такий розподіл ресурсів задає певну стратегію діяльності ОПР чи організації [7, 8]);

— сценарії розвитку подій (залежно від того, який зі сценаріїв видається найбільш імовірним, ОПР слід планувати подальшу діяльність) [9].

Відповідно, для кожного з указаних класів задач необхідна дієва технологія вирішення. Спільною рисою перерахованих задач підтримки прийняття рішень (ППР) є те, що вони зводяться до вибору (чи принаймні, рейтингу) певних варіантів рішень. Відтак, можна спробувати побудувати універсальну узагальнену концеп-

цію технології, яка дозволить об'єднати перелічені класи задач та уніфікувати процедури їхнього розв'язання.

Отже, проблема, яка розглядається у даній статті, полягає в розробці узагальненої концепції технології збору, передачі (трансферу) і обробки знань для підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності, типових для слабо структурованих предметних областей.

### Стан проблеми: огляд наявних підходів

Протягом останніх десятиліть для ППР у слабо структурованих предметних областях було розроблено декілька підходів. Наведемо їхній стислий огляд.

Одразу зазначимо, що внаслідок слабої структурованості предметних областей, про які йдеться, у загальному випадку апріорно неможливо в аналітичному вигляді задати цільову функцію чи функцію корисності, за значеннями якої можна було би порівнювати варіанти рішень. Відповідно, застосування в чистому вигляді підходів з теорії оптимізації і багатокритеріальної теорії корисності (MAUT) [10] є проблематичним.

Майже усі підходи, що розроблялися для ППР, ґрунтуються на попередній ієрархічній декомпозиції головного критерію, який визначає якість варіанта рішення. Більшість цих підходів програмно реалізовані у вигляді відповідних продуктів і застосунків, як показано в [11].

Хронологічно першим методом, розробленим для вирішення задач вибору, ранжирування та сортування варіантів (фактично, це підкласи задач, перелічених у вступі), був ELECTRE [12, 13]. Основний результат роботи методу — ранжирування множини альтернатив, які оцінюються за низкою критеріїв різної ваги. Альтернатива  $A_i$  переважає альтернативу  $A_j$  у загальному ранжируванні, якщо сукупність критеріїв, за якими  $A_i$  переважає  $A_j$  є достатньо репрезентативною, на що вказують значення спеціально визначених у методі індексів згоди та незгоди. Метод орієнтований на ієрархію критеріїв з одного рівня (тобто таку, що складається з головного критерію та його безпосередніх «нащадків» у графі) та залежить від порогових значень індексів згоди та незгоди, які задаються ОПР.

Метод аналізу ієрархій (АНР) у початковому варіанті [5] призначений для побудови рейтингів альтернатив за множиною критеріїв оцінки. Тобто, як і в попередньому випадку, йдеться про ієрархію з одного рівня. Більш пізня модифікація — метод аналізу мереж [14] — передбачає, що критерії можуть утворювати не лише ієрархічну, а й мережеву структуру.

Особливостями методу є:

— використання спеціальної мультиплікативної шкали переваг з 5 чи 9 поділок з відповідними вербальними еквівалентами (від «незначної» переваги (поділка 2) до «дуже-дуже сильної» (поділка 9)) для попарного порівняння критеріїв та альтернатив;

— використання методу власного вектору для обчислення відносних ваг критеріїв на основі матриці парних порівнянь;

— використання спеціального показника неузгодженості (consistency ratio) та емпірично обчислених порогових значень цього коефіцієнта для визначення придатності матриць парних порівнянь (МПП) до використання в експертизі.

Метод аналізу ієрархій є одним із найбільш широко вживаних у світі. Численні приклади застосування методу для розв'язання задач ППР у різноманітних предметних областях можна знайти в архіві праць міжнародного симпозиуму ISANP [1].

Наступним методом, про який слід згадати, є метод TOPSIS [15], також призначений для побудови ранжирування чи рейтингу альтернатив за низкою критеріїв (фактично, ієрархією критеріїв з одного рівня). Після того, як усі альтернативи оцінені за критеріями, будуються ідеальні найгірша та найкраща альтернативи, які поєднують в собі, відповідно, усі найгірші та найкращі однокритеріальні оцінки. Далі, на основі віддаленості усіх наявних альтернатив від цих ідеальних об'єктів, будується їхній рейтинг.

Метод PROMETHEE\GAIA [16] дозволяє будувати часткове або ж повне ранжирування множини альтернатив за низкою критеріїв, які утворюють ієрархію з одного рівня. Дещо аналогічно вищезгаданому методу ELECTRE, ранжирування відбувається на основі аналізу співвідношень між позитивним і негативним потоками переваг. Ці потоки, у свою чергу, відбивають співвідношення між сумарними багатокритеріальними оцінками альтернатив. Задачі, до вирішення яких застосовується метод, включають вибір альтернатив, розстановку пріоритетів у діяльності ОПР, розподіл ресурсів між альтернативами, а також прийняття рішень у конфліктних ситуаціях, де кілька сторін переслідують протилежні цілі.

Техніка DEMATEL [17] також застосовується у багатокритеріальній ППР. Вона допомагає вирішити окрему «підзадачу» в процесі багатокритеріального вибору — визначити та кількісно оцінити зв'язки між критеріями із заданої множини.

Одночасно з перерахованими підходами розроблявся метод цільового динамічного оцінювання альтернатив (МЦДОА) [13] та його модифікації (зокрема, [18]). Сама назва методу вказує на те, що основна задача, яку він розв'язує, полягає в оцінюванні альтернатив за ієрархією критеріїв, підпорядкованих певній загальній головній меті (ГМ). Ця мета, зазвичай, формулюється ОПР у вигляді певного глобального критерію. Основні характерні особливості даного методу такі:

— оцінювання альтернатив та проєктів відбувається з урахуванням часу (тобто тривалості виконання проєктів, часових затримок, які визначаються на основі наявної інформації чи експертним шляхом);

— ієрархія критеріїв, зазвичай, включає, більше одного рівня, і може містити зворотні зв'язки та цикли, що, з одного боку, додатково ускладнює вигляд цільової функції, а з іншого — дозволяє вирішувати більш комплексні задачі;

— для оцінювання варіантів рішень розроблено низку оригінальних методів, спрямованих на підвищення достовірності результатів експертизи (загальний вигляд самих результатів залежить від конкретної поставленої задачі).

Далі пропонується розглянути кілька прикладів оригінальних технологій, де принципи цільового динамічного оцінювання альтернатив застосовуються в конкретних предметних областях.

## Приклади технологій, що використовують цільове динамічне оцінювання альтернатив

Технологія оцінки вагомості проєктів, описана в [6] і проілюстрована прикладом, у якому оцінюється ефективність заходів із виконання національної космічної програми [19], включає низку ключових етапів:

- 1) формування ієрархії критеріїв (або цілей, які впливають на виконання заданої головної мети);
- 2) оцінювання відносних ваг критеріїв;
- 3) агрегацію оцінок ваг критеріїв і проєктів (у тому числі, уніфікацію оцінок, наведених у різних шкалах, перевірку та, за необхідності, поліпшення узгодженості — внутрішньої і взаємної — оцінок, наданих різними експертами);
- 4) обчислення відносної ефективності проєктів і побудова їхнього загального рейтингу.

Особливістю даної технології [6] є можливість використання експертами різних шкал оцінювання, що дозволяє без тиску на експертів отримувати більш достовірні результати експертизи.

У технології стратегічного планування, описаній у [7, 8], до вищевказаних 4-х етапів додається 5-й етап, власне, стратегічного планування. Якщо вже виконано етапи 1)–4), тобто побудовано зважену ієрархію цілей і проєктів (цілей атомарного рівня, на які ОПР може впливати напряму), то стратегія визначається як оптимальний розподіл обмежених ресурсів між проєктами, який забезпечує найбільш ефективне досягнення головної стратегічної мети у визначеному часовому проміжку. Особливостями даної технології [7, 8] є врахування часових рамок (затримок) виконання проєктів і використання генетичного алгоритму для визначення оптимальної стратегії розподілу ресурсів між ними. У [7] розглядається приклад розподілу ресурсів між проєктами оборонної галузі, а у [8] — приклад розподілу ресурсів між проєктами, спрямованими на охорону довкілля у мегаполісі.

Технологія прийняття рішень рівня громади з урахуванням громадської думки [20], в силу специфіки розв'язуваних задач, є алгоритмічно простішою порівняно з технологією, описаною у [6]. Принципово, вона включає 4 аналогічні етапи — від побудови ієрархії критеріїв до оцінки вагомості критеріїв найнижчого рівня. Втім, оскільки, власне, оцінювання здійснюється не експертами, а пересічними представниками громади, ієрархія критеріїв має деревоподібну (а не мережеву) структуру, а оцінювання здійснюється не у шкалах парних порівнянь, а у шкалі згоди-незгоди Лайкерта [21] (якщо йдеться про критерії найнижчого рівня), або у долях одиниці шляхом графічного введення оцінок (якщо йдеться про критерії вищих рівнів). Ці особливості дозволяють зробити процес оцінювання максимально простим та наочним, зокрема, для представників громади. При цьому формування самого графа ієрархії критеріїв покладається саме на експертів у відповідній галузі. У [20] наводиться приклад рішень зі сфери урбаністичного планування. Технологія дозволяє розв'язувати задачі не лише оцінювання, а й голосування. Якщо йдеться про оцінювання, то передбачається, що існує певне істинне значення параметра, який оцінюється (ground truth). У цьому випадку слід забезпечити узгодженість оцінок (зовнішню та внутрішню [22]). Якщо ж йдеться про голосування, кожен респондент просто висловлює судження щодо питання, яке може не мати «вірної» відповіді.

Гібридна технологія СППР на основі експертних і відкритих даних, описана в [3, 23], розглядається в контексті протидії інформаційним операціям. Технологія включає вищевказані 4 ключові етапи — від побудови ієрархії до визначення рейтингу проєктів. Особливістю даної конкретної технології є використання даних з відкритих джерел (а саме — даних аналізу тематичних інформаційних потоків [24]) для розпізнавання інформаційних «вкидань» та ознак інформаційних операцій. Аналіз даних з відкритих джерел дозволяє перевірити гіпотезу про здійснення інформаційної операції, відповідним чином скоригувати вигляд зваженої ієрархії критеріїв і цілей (бази знань (БЗ) про предметну область), і спланувати протидію негативним інформаційним впливам, якщо такі мають місце.

Технологія прогнозування сценаріїв розвитку подій [9], окрім 4-х основних етапів, включає також додаткові підготовчі та подальші етапи. Підготовчі етапи покликані забезпечити ознайомлення експертів (аналітиків) з предметною областю та методологією. Після декомпозиції предметної області (виконання «стандартних» 4-х етапів, у загальному випадку, із залученням даних з відкритих джерел і контент-моніторингу [4]), фактори впливу ранжируються за критерієм «непередбачуваності». Два (або більше) найменш передбачуваних фактори визначають вигляд можливих сценаріїв розвитку подій. У рамках методу аналізу конкурентних гіпотез [25], до так званої «оціночної матриці» вводяться у шкалі Лайкерта оцінки впливів визначених аналітиками індикаторів, які підтверджують (підкріплюють), або ж спростовують настання виділених непередбачуваних факторів. Після цього, на основі оціночної матриці, СППР визначається рейтинг імовірностей настання можливих сценаріїв розвитку подій і найбільш імовірний сценарій.

### **Спільні риси та відмінності конкретних технологій**

Як показує наведений огляд, спільними рисами перелічених підходів є:

1) застосування експертної інформації для отримання знань про предметну область: ця властивість зумовлена специфікою предметних областей — невизначеністю та браком доступної інформації;

2) застосування принципу декомпозиції, теорії графів та ієрархічного підходу: основу БЗ про предметну область складає зважений граф ієрархії критеріїв, факторів, чи цілей, які її характеризують у розрізі заданої ОПР глобальної мети.

Інші ознаки, специфічні для конкретних технологій, дозволяють побудувати їхню умовну класифікацію. Для наочності представимо таку класифікацію у вигляді таблиці.

Зазначимо, що технології стратегічного планування, розглянуті в [3, 8, 9] передбачають можливість групової роботи експертів у віддаленому режимі у відповідній СППР [26]. Деякі програмні продукти та рішення, що використовують інші методи (наприклад, АНР/АНР [27, 28], TOPSIS [29]) теж передбачають таку можливість. Відповідно, йдеться скоріше про апаратне, а не алгоритмічне рішення, яке недоцільно використовувати як критерій для класифікації технологій.

Слід зазначити, що не тільки технології на базі МЦДОА можуть застосовуватися для більш різноманітних і комплексних (складних) задач. Наприклад, метод АНР/АНР у поєднанні з іншими алгоритмічними рішеннями використовується для розподілу ресурсів у продуктах Decision Lens [11, 27], а на вхід методів TOPSIS

[29], ANP чи DEMATEL [30] можна подавати інформацію з будь-яких джерел. Втім, лише у поєднанні з додатковими алгоритмічними рішеннями, інші підходи, вказані в таблиці, можна пристосувати для розподілу ресурсів або ж аналізу сценаріїв. При цьому, МЦДОА від самого початку [13] розроблявся для планування багаторівневих комплексних цільових програм, що одразу робить підхід більш універсальним і створює підґрунтя для ширшого використання відповідних технологій.

Умовна класифікація технологій ППР у слабо структурованих предметних областях

Технології та методи	Джерела інформації			Складність БЗ (ієрархічної декомпозиції)				Розв'язувані задачі			
	Експерти	Відкриті джерела	Анкети, опитування	1 рівень	> 1 рівня	мережа	Мережа з циклами	Ранжирування, рейтинг	Розподіл ресурсів, стратег. плани	Протидія негативним впливам, розв'язання конфліктів	Прогнозування (сценаріїв та ін.)
ELECTRE	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
ANP	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
ANP	+	-	-	+	+	+	-	+	+[27]	+	-
TOPSIS	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-
PROMETH EE/GAIA	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
DEMATEL	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
Технології на основі МЦДОА	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

## Проблеми та можливості застосування ІІІ у технологіях ППР

Попри зростання популярності засобів генеративного штучного інтелекту (ІІІ), в таблиці серед джерел інформації вони окремо не вказані. На думку автора, генеративний ІІІ не доцільно розглядати як незалежне джерело знань. ІІІ — лише доповнює експертні дані, адже неексперт (інженер знань) не може, в загальному випадку, без ревізії використовувати рекомендації ІІІ, бо він не в змозі перевірити їхню релевантність. Водночас, дані з відкритих джерел та опитувань (знов-таки, можливо, отримані у процесі взаємодії з ІІІ) можна використовувати, не звертаючись до експерта.

Наведемо деякі міркування щодо можливостей використання ІІІ у рамках технологій ППР в умовах невизначеності.

1. Генеративний ІІІ навчається на наявних у мережі даних (корпусах текстів). Відповідно, якщо проблема є унікальною (що є типовою ситуацією у слабо структурованих предметних областях), то у мережі може не бути достатньо великого корпусу текстів для того, щоби ІІІ міг згенерувати достовірну відповідь чи рекомендацію.

2. Саме знання експертів, викладені в тематичних текстах, наявних у мережі, складають основу матеріалу, на якому навчається ШІ. Відповідно, результати нових експертиз якраз стають джерелом знань для навчання ШІ, а не навпаки.

3. Окремі класи задач, такі як, наприклад, прогнозування зовнішньополітичної обстановки чи безпекового середовища [9], вимагають тривалої роботи реальних експертів. На ШІ має сенс покладатися, коли великий обсяг вже наявної але не агрегованої/обробленої інформації треба обробити протягом дуже малого часу (кількох секунд чи хвилин, як це відбувається, наприклад, у бойовій обстановці). Навіть при цьому остаточне рішення та відповідальність за його прийняття належить людині, яка є компетентним фахівцем.

4. У певних сферах, таких як творча робота (написання музики, віршів, іноді — редагування текстів [31]) ШІ часто показує незадовільні результати. Аналітична праця також є творчою, оскільки вимагає розвиненого абстрактного мислення, здатності до дедукції (виділення головного) та узагальнення.

5. Генеративний ШІ видає свої відповіді у формі загальних абстрактних думок, а для ППР потрібна конкретика. Щоб добитися конкретних відповідей, треба, знов-таки, залучати експертів і фахівців для формулювання запитів (промптів).

6. Будь-які відповіді ШІ, за замовчуванням, мають рекомендаційний характер. Відповідальність за рішення, знов-таки, лежить на людині (ОПР, фахівцеві).

7. Не унормовані юридичні та етичні аспекти використання ШІ для прийняття рішень [32].

Водночас, вже існує багато цікавих прикладів використання засобів ШІ як допоміжного засобу у розв'язанні подібних чи суміжних задач (наприклад [28, 33, 34]).

## **Узагальнена концепція технології збору і обробки інформації для ППР в умовах невизначеності**

Як зазначено вище, усі технології, розглянуті у попередніх пунктах, передбачають побудову формальної моделі предметної області у вигляді зваженого графа. З науково-філософської точки зору, ієрархічна декомпозиція предметної області на фактори або «підцилі» є процесом аналізу, тобто руху «згори вниз», від абстрактного до конкретного, від загального до частинного. Зважування цих факторів є процесом синтезу, руху «знизу вгору», від частинного до загального, від конкретного до більш абстрактного. На основі визначених експертним (або іншим) шляхом відносних ваг факторів і підцилей визначається їхній вплив на головний критерій або ж ціль, у розрізі якої визначається ефективність варіанта рішення. Дана процедура є спільною складовою більшості розглянутих підходів. Відповідно, має сенс покласти її в основу концепції узагальненої технології збору і обробки знань для ППР у слабо структурованих предметних областях. Інші складові можуть варіюватися, додаватися чи виключатися, залежно від поставлених задач.

Узагальнена технологія передбачає наступну послідовність кроків.

1. Підбір експертів/аналітиків у заданій предметній області.

2. Підготовчі етапи: обговорення предметної області, ознайомлення з методикою та інструментарієм (за необхідності).

3. Постановка ОНР або ж усією експертною групою головної мети, у розрізі якої оцінюватиметься ефективність варіантів рішення.

4. Декомпозиція головної мети на підцілі (підкритерії) до рівня конкретних проєктів, на які може безпосередньо впливати ОНР. У загальному випадку — декомпозиція здійснюється групою експертів у віддаленому режимі [26]. Як допоміжні інструменти експерти можуть використовувати засоби генеративного ШІ [28], контент-моніторингу і аналізу інформаційних потоків [3, 24]. Ці засоби можуть використовуватися як для декомпозиції певного критерію на підкритерії, так і для формулювання і узгодження назв критеріїв і підцілей перед їхнім внесенням до БЗ (ієрархії).

5. Задання та введення до СППР відносних ваг підцілей і підкритеріїв.

5.1. Якщо досвід оцінювання подібної множини критеріїв уже мав місце, то можна визначити їхню вагомість за допомогою методів факторного аналізу — кардинального (МНК, МГУА [35]) та ординального ([36, 37]).

5.2. Якщо дана експертиза відбувається вперше, то ваги можуть задаватися експертами (аналітиками, респондентами) в різних шкалах. У загальному випадку введення ваг критеріїв відбувається в процесі віддаленої роботи групи експертів у СППР:

а) найпростіші варіанти шкал — шкали безпосереднього оцінювання (наприклад, бальні) та згоди-незгоди Лайкерта;

б) інший розповсюджений варіант (специфічний для слабо структурованих предметних областей, де немає еталонів та одиниць виміру) — шкали парних порівнянь. Наявні оригінальні методи дозволяють оперувати як повними, так і неповними МПП [38, 39] і надавати експертам можливість вводити кожне порівняння у шкалі обраного рівня докладності [6]. При цьому бажано враховувати порядок подачі пар критеріїв експерту для порівняння [40, 41] та конфігурації заповнення МПП [42, 43]. Ще один важливий аспект, який слід враховувати під час введення та агрегації ваг критеріїв і підцілей — вагомість джерел інформації, з яких вони отримані. Підходи до визначення та врахування компетентності експертів та ваг джерел інформації під час експертиз описані, зокрема, в [13, 39, 44, 45].

Узгодженість оцінок — індивідуальних і групових — можна враховувати як під час їхнього введення до МПП [39], так і апостеріорно — за допомогою суто спектральних [22] або ж комбінованих [46] підходів. Якщо узгодженість оцінок — недостатня для їхньої агрегації, пропонується організувати зворотній зв'язок з експертами для її підвищення (у [36, 37, 47] наведено процедури підвищення ординальної узгодженості, у [22, 46] — процедури підвищення спектральної узгодженості, у [39] йдеться про апріорну узгодженість парних порівнянь). У процесі введення ваг критеріїв генеративний ШІ та відкриті джерела також можуть використовуватися експертами як допоміжні засоби для коригування значень цих ваг.

6. Обчислення відносного впливу критеріїв на головну ціль або критерій. Дана операція здійснюється засобами СППР. Передбачено можливість обчислення відносного впливу критеріїв у графах ієрархії, що мають структуру дерева або мережі, з циклами чи без [8]. Кінцевий результат цього етапу — БЗ про предметну область, її формальна модель, яка має вигляд зваженого графа ієрархії критеріїв, що впливають на досягнення заданої головної мети.

7. Отримання результатів експертизи, залежно від поставленої задачі.

7.1. Ранжирування та рейтинг проєктів (критеріїв найнижчого рівня) за розміром впливу на головну ціль. Даний етап є завершальним етапом технології, якщо варіантами рішення є саме проєкти і задачею є їхній відбір.

7.2. Визначення оптимальної стратегії діяльності ОПР як найбільш ефективного в контексті поставленої мети розподілу наявних ресурсів між проєктами (критеріями найнижчого рівня). Цей розподіл розраховується, беручи до уваги терміни початку та закінчення кожного з проєктів, та обмеження на мінімальні та максимальні обсяги ресурсів, що необхідні для їхньої реалізації [8]. На разі, ефективним інструментом розрахунку оптимального розподілу ресурсів є генетичний алгоритм (ГА) [8]. У термінах ГА [48, 49] цільовою функцією (fitness function) є ступінь досягнення головної мети за заданих рівнів реалізації проєктів, а «особинами» виступають вектори ступенів впровадження проєктів. Оптимальний розподіл ресурсів і відповідна стратегія досягнення ГМ як обраний варіант рішення є кінцевим результатом роботи технології, якщо на вході було поставлено задачу стратегічного планування.

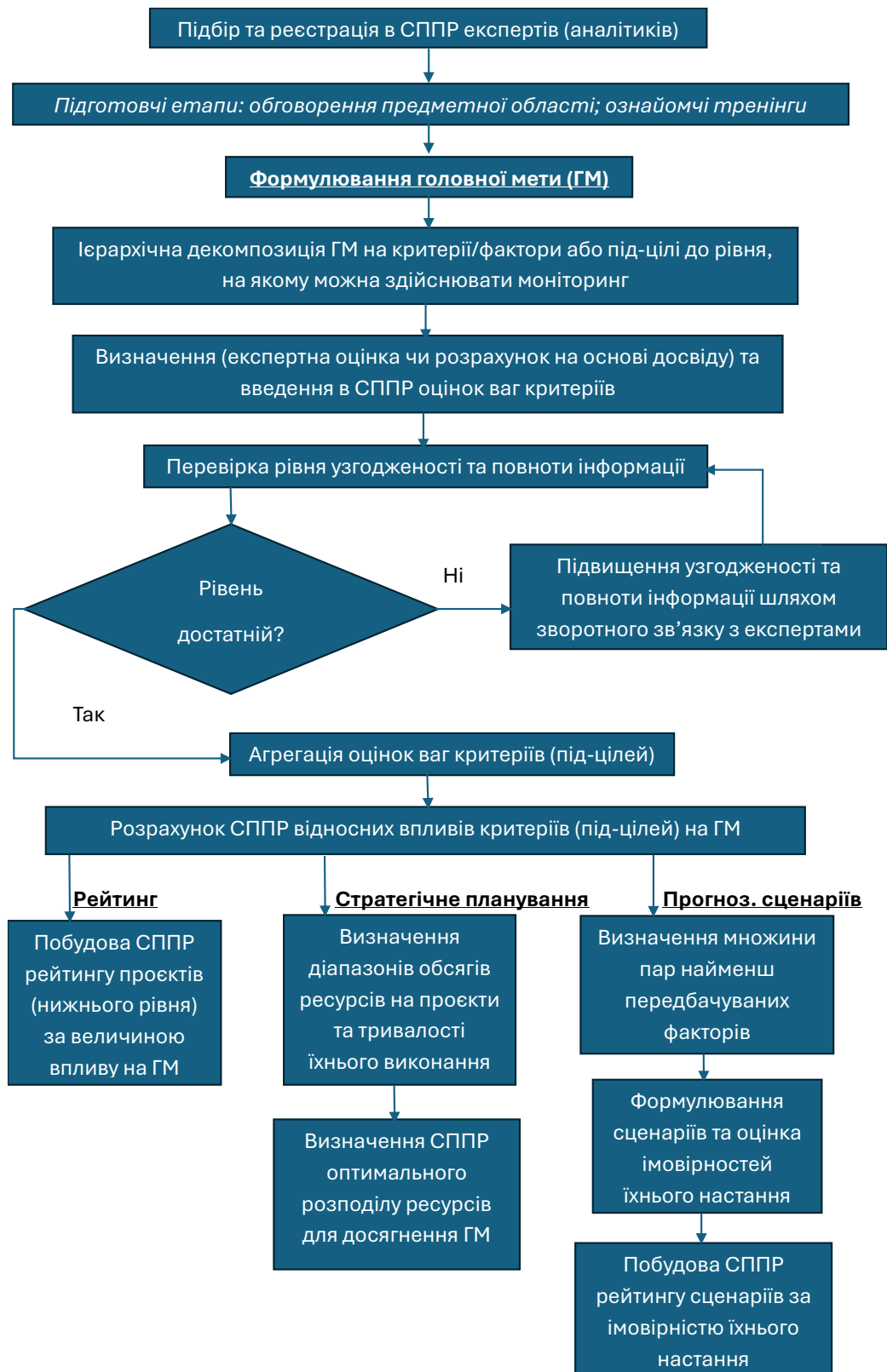
7.3. Побудова та рейтинг сценаріїв розвитку подій.

7.3.1. Визначення множини найменш передбачуваних критеріїв нижнього рівня ієрархії для подальшого прогнозування сценаріїв розвитку подій. Найменш передбачувані критерії (фактори) визначаються експертами (аналітиками) з урахуванням рейтингу, побудованого СППР, та використовуються як основа для формулювання конкурентних гіпотез [9] щодо того, які сценарії будуть найбільш імовірними.

7.3.2. Формування оціночної матриці (на основі кожної пари факторів будується 4 сценарії (2×2)) та аналіз конкурентних гіпотез щодо настання різних сценаріїв. Імовірність настання сценаріїв визначається експертами-аналітиками шляхом ПП чи безпосереднього оцінювання та вводиться до БЗ СППР.

7.3.3. Визначення засобами СППР на основі експертних оцінок рейтингу ймовірності настання різних сценаріїв розвитку подій з урахуванням найменш передбачуваних факторів. Рейтинг сценаріїв є кінцевим результатом роботи технології, якщо на вході було поставлено задачу сценарного аналізу.

Узагальнена концептуальна схема технології отримання, передачі та обробки знань для ППР показана на рисунку. Як можна побачити з рисунку та вищенаведеного опису, «ядром» технології є побудова БЗ про предметну область у вигляді зваженого графа ієрархії підцілей або факторів, від яких залежить досягнення ГМ, поставленої ОПР. Дана БЗ дозволяє вирішувати декілька класів конкретних задач багатокритеріального вибору (зокрема, рейтинг або ранжирування альтернатив, розподіл ресурсів між альтернативами та визначення найімовірніших сценаріїв розвитку подій). Математичне та програмне забезпечення кожного етапу технології описане у відповідних працях автора та наукового колективу, до якого він належить.



Покрокова концептуальна схема застосування технології збору, отримання, передачі і обробки знань для ППР в умовах невизначеності

## Висновок

Показано, що спільними ознаками ключових технологій ППР в слабо структурованих предметних областях залишаються використання теорії графів, принципів ієрархічної декомпозиції та експертних підходів. Запропоновано умовну класифікацію технологій ППР, що розглядаються. Отримано узагальнену концепцію технології отримання, передачі та обробки знань для ППР у слабо структурованих предметних областях.

1. Proceedings of the International Symposium for the Analytic Hierarchy Process [Online]. Available at <https://www.isahp.org/proceedings/>. Accessed 06.11.2025.
2. Ланде, Д.В. OSINT у кібербезпеці: навч. пос. Київ: ТОВ «Інжиніринг», 2024. 522 с.
3. Tsyganok, V., Kadenko, S., and Andriichuk, O. Hybrid Decision Support Methodology Based on Objective and Expert Data. 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). Kyiv, Ukraine, 2020. P. 265–271. DOI: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125022
4. Lande, D., and Kondratenko, Y. Features of construction systems of distributed content monitoring of global information networks. *Information Technology and Security*, vol. 5, issue 1, pp. 5-11, January-June 2017, <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2017.5.1.120550>
5. Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw Hill.
6. Tsyganok V.V., Kadenko S.V., Andriichuk O.V. Using Different Pair-wise Comparison Scales for Developing Industrial Strategies. *Int. J. Management and Decision Making*. 2015. Vol. 14. No 3. P. 224–250. DOI:10.1504/IJMDM.2015.070760
7. Циганок В.В., Каденко С.В., Качанов П.Т., Андрійчук О.В., Роїк П.Д. Інструментарій підтримки прийняття рішень як засіб стратегічного планування. *Озброєння та військова техніка*. 2015. № 3. С. 59–66.
8. Tsyganok V., Kadenko S., Andriichuk O., Roik P. Usage of multicriteria decision-making support arsenal for strategic planning in environmental protection sphere. *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*. 2017. **24**(5–6). P. 227–238. <https://doi.org/10.1002/mcda.1616>
9. Tsyganok, V., Beselovskyi, R., Minas, V., Holota, V., Hryhorenko, O. Scenario Development of Problem Situations Using Automated Solutions on the Knowledge Transfer Platform. Selected Papers of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2024). CEUR WS Proceedings, Vol. 4068, 14-26.
10. Keeney R. L, Raiffa H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*. Cambridge University Press; 1993. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174084>
11. Каденко, С.В., Циганок, В.В.б Андрійчук, О.В., Карабчук, А.В. Аналіз інструментарію підтримки прийняття рішень у контексті вирішення задач стратегічного планування. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2020. Т. 22, № 2. С. 77–91. DOI: <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2020.22.2.211281>
12. Roy, B. (1968) Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle* (8): 57–75. <https://doi.org/10.1051/ro/196802V100571>
13. Тоценко, В. Г. Методи та системи підтримки прийняття рішень. Алгоритмічний аспект. Київ: Наук. думка, 2002 (російською мовою).
14. Saaty T. L. *Decision Making with Dependence and Feedback: The analytic Network Process*. Pittsburgh, RWS Publications, 1996.
15. Hwang, C.L. & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
16. Mareschal B., Brans J.-P. «PROMETHEE Methods», Ch 5 in: Figueira, J., Greco, S., and Ehrgott, M., eds., *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys Series* / New York: Springer, 2005. DOI:10.1007/0-387-23081-5\_5

17. Si, Sheng-Li & You, Xiao-Yue & Liu, Hu-Chen & Zhang, Ping. (2018). DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications. *Mathematical Problems in Engineering*. 2018. 1-33. <https://doi.org/10.1155/2018/3696457>
18. Циганок, В.В. Удосконалення методу цільового динамічного оцінювання альтернатив та особливості його застосування. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2013. Т. 15, № 1. С. 90–99. DOI: <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2013.15.1.103369>
19. Закон України Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013-2017 роки [Online]. Доступ – за посиланням <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/439-18#Text>.
20. Каденко, С.В., Висоцький В. О. Метод формального опису слабкоструктурованих предметних областей з урахуванням громадської думки. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2018. Т. 20, № 3. С. 49–66. DOI: <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2018.20.3.158510>
21. Likert R. A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*. 1932. # 140, 1–55.
22. Olenko, A., & Tsyganok, V. (2016). Double entropy inter-rater agreement indices. *Applied Psychological Measurement*, 40(1), 37-55. <http://dx.doi.org/10.1177/0146621615592718>
23. Tsyganok, V., Kadenko, S. and Andriichuk, O. (2019) Using data from open sources for decision-making under information warfare. *Collection "Information Technology and Security*. 7(1), pp. 35–48. <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2019.7.1.184221>
24. Dodonov A., Lande D., Tsyganok V., Andriichuk O., Kadenko S., Graivoronskaya A. *Information Operations Recognition. From Nonlinear Analysis to Decision-Making*. Lambert Academic Publishing, 2019.
25. R. J. Heuer Jr., *Psychology of Intelligence Analysis*, "Chapter 8: Analysis of Competing Hypotheses", Center for the Study of Intelligence, Central Intelligence Agency, 1999. [Online]. Available: <https://www.cia.gov/resources/csi/static/Psychology-of-Intelligence-Analysis.pdf>.
26. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір №75023. Комп'ютерна програма «Система розподіленого збору та обробки експертної інформації для систем підтримки прийняття рішень – «Консенсус-2» / Циганок В. В., Роїк П. Д., Андрійчук О. В., Каденко С. В. // від 27/11/2017.
27. Decision Lens Integrated Planning Software. <https://www.decisionlens.com/>
28. Poudel, S.; Bhattarai, Sh. AI Integration Demonstration at the AHP Based Mobile App Decision Mentor. In *Proceedings of the 18th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process (ISAHP 2024)*. Web Conference. Dec 13-15, 2024. Available at: [https://www.isahp.org/uploads/26\\_001.pdf](https://www.isahp.org/uploads/26_001.pdf) (accessed Nov 06, 2025); <https://doi.org/10.13033/isahp.y2024.009>
29. Das, D., Paladugu, N., Nagalla, S. Automation and Remote Monitoring by using TOPSIS Method. *Journal on Electronic and Automation Engineering*, Vol: 3(3), 2024, 16-24. <https://doi.org/10.46632/jeae/3/3/3>
30. Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Milićević, M. (2016). The Combination of Expert Judgment and GIS-MAIRCA Analysis for the Selection of Sites for Ammunition Depots *Sustainability*, 8(4), 372. <https://doi.org/10.3390/su8040372>
31. Andriichuk, O., Kadenko, S., Tsyhanok, O., Besklinska, O., Trubitsyna, O. (2023) Usage Artificial Intelligence Toolkit for Improving Translations to English. *Selected Papers of the III International Scientific Symposium "Intelligent Solutions" (IntSol-2023)*, CEUR WS Proceedings, Vol. 3538, 328-336.
32. Kesavan, E. (2024). A Review on Ethical and Legal Issues in Artificial Intelligence and Data Privacy. *International Journal of Innovations in Science, Engineering and Management*. 3, 4 (Dec. 2024), 94–99. DOI: <https://doi.org/10.69968/ijisem.2024v3i494-99>.
33. D. Lande, L. Alekseichuk, I. Svoboda, and L. Strashnoy (2024) Methodology of a Swarm of Virtual Experts for Evaluating the Weight of Connections in Network. *Theoretical and Applied Cybersecurity*, vol. 6, no. 2, pp. 25-33. <https://doi.org/10.20535/tacs.2664-29132024.2.319946>
34. Бойко, О. Сучасні методи штучного інтелекту для виявлення пропаганди в тексті. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2025. Т. 27, № 1. С. 120-131. DOI: <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2025.27.1.336147>
35. Ivakhnenko, A. (1971). Polynomial theory of complex systems (PDF). *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. SMC-1 (4): 364–378. DOI: 10.1109/TSMC.1971.4308320
36. Каденко, С.В., Циганок, В.В. Про один підхід до прийняття кадрових рішень. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2009. Т. 11, № 3. С. 66-74.

37. Kadenko S.V. Defining the Relative Weights of the Alternatives Estimation Criteria Based on Clear and Fuzzy Rankings. *Journal of Information and Automation Sciences* – 2013 – vol. 45, i. 2 – pp. 41-49. DOI:10.1615/JAutomatInfScien.v45.i2.50
38. Bozóki, S.; Tsyganok, V. The (logarithmic) least squares optimality of the arithmetic (geometric) mean of weight vectors calculated from all spanning trees for incomplete additive (multiplicative) pairwise comparison matrices. *International Journal of General Systems* 48(4), 2019, 362-381. <https://doi.org/0.1080/03081079.2019.1585432>
39. Kadenko, S.; Tsyganok, V.; Szádóczki, Z.; Bozóki S. An update on combinatorial method for aggregation of expert judgments in AHP. *Production*, 2021, 31. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210045>
40. Andriichuk, O.; Kadenko, S.; Tsyganok, V. Significance of the order of pair-wise comparisons in Analytic Hierarchy Process: an experimental study. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 2024, 31(3-4), e1830. <https://doi.org/10.1002/mcda.183>
41. Kadenko, S., Andriichuk, O., Homeniuk, H. (2024) Simulation of Incomplete Ranking-dependent Expert Estimates. Selected Papers of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2024). CEUR WS Proceedings, Vol. 4068, 43-55.
42. Szádóczki, Z.; Bozóki, S.; Tekile, H. Filling in pattern designs for incomplete pairwise comparison matrices: (quasi-)regular graphs with minimal diameter. *Omega*, 2022, 107. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102557>
43. Szádóczki, Z.; Bozóki, S.; Juhász, P. et al. Incomplete pairwise comparison matrices based on graphs with average degree approximately 3. *Ann Oper Res*, 2023, 326, 783–807. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04819-9>
44. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. - К.: ТОВ „Маклаут“, - 2008. - 444 с.
45. Tsyganok, V. V., Kadenko, S. V., & Andriichuk, O. V. (2012). Significance of expert competence consideration in group decision making using AHP. *International Journal of Production Research*, 50(17), 4785–4792. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.657967>
46. Tsyganok, V., Olenko, A., Roik, P., Vlasenko, O. Determining Adequate Consistency Levels for Aggregation of Expert Estimates. Selected Papers of the XXIII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Security» (ITS 2023). CEUR WS Proceedings, Vol. 3887, 21-34.
47. Kadenko, S., Tsyganok, V. A Method for Improving the Consistency of Individual Expert Rankings during Their Aggregation. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2012, v.44, issue 4, 23-31. DOI:10.1615/JAutomatInfScien.v44.i4.30
48. Holland, J. (1975) *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, USA.
49. Mitchell, M. (1996). *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge, MA: MIT Press. DOI:10.7551/mitpress/3927.001.0001

Надійшла до редакції 15.11.2025