

## Розробка методики експертного оцінювання спроможностей в оборонному плануванні в умовах багатокритеріальності

О. В. Нестеренко, І. Є. Нетесін, В. Б. Поліщук, О. М. Трофимчук

*Підвищення ефективності прийняття рішень в оборонному плануванні на основі спроможностей військових сил і засобів виконувати завдання за призначенням вимагає нових методичних підходів та їх реалізації у вигляді програмних інформаційно-аналітичних інструментів. В умовах складного інформаційного середовища оборонного планування вибір варіантів розвитку спроможностей доцільно здійснювати експертами на методичній основі багатокритеріального аналізу.*

*В результаті досліджень розроблено методику, в якій формування критеріїв і оцінювання альтернативних варіантів запропоновано здійснювати шляхом інтеграції онтології, методу аналізу ієрархій та орієнтованих графів. Онтологічне представлення даних забезпечує побудову ієрархічної таксономії предметної області та формування вектору критеріїв. Метод аналізу ієрархій використовується для проведення експертного оцінювання спроможностей шляхом їх парного порівняння за визначеними критеріями. За допомогою орієнтованих графів здійснюється візуалізація та контролювання транзитивної узгодженості суджень експертів. Застосування методики дозволить забезпечити оперативність, універсальність та простоту технічної реалізації процедури підтримки прийняття рішень. Методику апробовано на прикладі вибору спроможності ведення розвідки в інтересах наземної артилерії. Показано, що за рахунок графової візуалізації процес оцінювання в експертній діяльності суттєво спрощується.*

*Запропонована методика репрезентує інноваційний інструмент досягнення стратегічних цілей і виконання основних завдань оборонної реформи, що є актуальним для багатьох країн. Універсальність методики створює підґрунтя для її застосування не тільки в оборонному, а й у інших силових відомствах*

*Ключові слова: інформаційні технології, багатокритеріальний аналіз, онтології, метод аналізу ієрархій, орієнтовані графи, спроможності, оборонне планування*

### 1. Вступ

У сучасних умовах актуалізується проблема планування розбудови спроможностей сил оборони щодо протидії загрозам з урахуванням досвіду країн НАТО [1, 2]. Країни, які беруть у цьому участь, проводять заходи щодо інтеграції у процес оборонного планування (*Defence Planning Process – DPP*), який полягає у переході до моделі оборонного планування на основі спроможності (ОПОС) (*Capability-Based Defence Planning (CBDP)*). Ця концепція отримала назву “золотого стандарту оборонного планування” [3] та реалізується системою

інтеграції та розвитку спроможностей (*Joint Capabilities Integration and Development System – JCIDS*) [4].

ОПОС полягає у формуванні за визначених економічних умов комплексних оперативних спроможностей збройних сил для гарантованого виконання ними визначених завдань. Кінцевою метою реалізації зазначеної стратегічної перспективи є впровадження гнучкого, адаптивного планування [5].

Поняття "спроможності" (*Capability*) використовується для визначення різних процесів і об'єктів – мети і завдань оборонного планування; сил і засобів, які можуть виконати поставлені завдання; органів і посадових осіб, які беруть участь у розробленні концепцій. У воєнних доктринах термін "спроможності сил оборони" трактується як здатність досягти необхідного результату під час виконання завдань з питань оборони у певних умовах відповідно до визначених сценаріїв дій та з використанням наявних ресурсів. У деяких керівних державних документах поняття спроможності уточнюється як здатність структурної одиниці збройних сил (сил оборони) або їх сукупності виконувати визначені завдання за певних умов обстановки, ресурсного забезпечення та відповідно до встановлених стандартів.

Необхідно однак зазначити, що досить часто спроможностями називають носіїв спроможностей. Наприклад, «Механізований батальйон на броньовій машині піхоти (БМП)» називають спроможністю, хоча, фактично, такий батальйон є носієм спроможності. Така спроможність може характеризуватись, приміром, як «здатність підготувати і вести наступ у смузі до 2 км з темпом до 25–30 км за добу».

Носіями спроможностей є військові організаційні структури, органи управління, окремі засоби і системи, які загалом представляють ієрархічні системи. Кожна структурна одиниця сил оборони може мати більш ніж одну спроможність, а кожна спроможність може реалізовуватись більш ніж однією структурною одиницею. Більш того, набути ту чи іншу спроможність її носій як система може не однією, а декількома комбінаціями складових елементів. Носії спроможностей мають властивості, які характеризуються як кількісними, так і якісними показниками.

Зрозуміло, що таке двоїсте використання терміну «спроможність» пов'язане з необхідністю отримати результати ОПОС у матеріально-технічному та грошовому еквівалентах. Тому в подальшому будемо використовувати загальний термін «спроможність», враховуючи зазначений вище дуалізм.

Виходячи з викладеного необхідно зазначити, що ОПОС здійснюється у складному інформаційно насиченому середовищі. У ньому потрібно забезпечити прийняття раціональних рішень щодо розвитку спроможностей військових сил і засобів виконувати певні завдання. Для цього, вочевидь, необхідним є визначення відповідних методичних підходів та їх реалізації у вигляді комп'ютерних інформаційно-аналітичних інструментів.

При цьому треба враховувати, що до складу експертних груп залучаються не тільки фахівці з оборонного планування, а й посадові особи військових формувань. Для них експертна діяльність не входить до кола безпосередніх

обов'язків. Також зазвичай мають місце стислі терміни прийняття рішень з вибору альтернативних варіантів спроможностей.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Директивними документами НАТО рекомендується вибір варіанту розвитку (способу реалізації) спроможності здійснювати експертами. У якості методичної основи для вирішення проблеми доцільним вважається застосування методів аналізу багатомірних критеріїв з визначенням пріоритету (ваги) та відповідності спроможності завданню.

Одним з таких методів часто пропонується метод Делфі. Але цей метод має низку недоліків, що звужують сферу його застосування. До недоліків можна віднести: значна інтелектуальна та організаційно-технічна навантаженість на організаторів проведення опитування; чимало ітерацій в роботі експертів; зазвичай значний час опрацювання опитувальних анкет; наявність умови анонімності експертів. Ці недоліки є суттєвими якраз при оцінюванні альтернатив у ході оборонного планування.

У той же час для розв'язання цієї задачі можуть застосовуватись й інші апробовані математичні методи. Одним з таких методів для ранжування спроможностей за певними критеріями в багатьох роботах пропонується застосувати експертний метод аналізу ієрархій (МАІ, АНР). Цей метод від самого початку був розроблений саме для вирішення проблем планування в умовах виникнення непередбачених обставин для Міністерства оборони США (DoD). Зараз він активно використовується й в інших сферах діяльності – АНР підходить для широкого спектру застосувань в економіці, фінансах, політиці, розподілу ресурсів і т. ін. [6].

Однак формування будь яких експертних оцінок для розв'язання таких складних багатофакторних задач неможливе без моделювання і аналізу даних. Які б методи до оцінки альтернатив не використовувались, для підтримки прийняття рішень експертами у просторі різноманітних альтернатив необхідно забезпечити збір, представлення та аналіз на різних рівнях значної сукупності гетерогенних даних. Тому різні інституції DoD, такі, наприклад, як Спільна група аналізу розгортання (JDAT), надають спостереження, висновки та рекомендації з планування на основі збирання та аналізу кількісних даних.

Водночас в сучасних умовах з'являються нові види джерел даних, застосовуються потокові дані та має місце розподілене зберігання даних. Тому в структурах бойового, технічного та тилового забезпечення обробляється значно більший ніж раніше обсяг даних, зокрема не структурованих. Виходячи з цього подібні системи повинні містити у складі операційного середовища не лише інструментарій обробки та аналізу даних, що використовуються в процесі прийняття рішень, а й засоби керування знаннями. Ці засоби мають забезпечувати обробку певних суджень, висловлювань та тверджень, що несуть у собі об'єктні уявлення та сприйняття предметної області (ПдО, Domain array – DA). При цьому дані мають найбільш точно відображати структуру ПдО, адже від цього в першу чергу залежить якість отриманого рішення. Це вимагає скрупульозної деталізації ПдО для чіткого визначення критеріїв, альтернатив та ін-

шої інформації. Погрішності на етапі структуризації, як відомо, зазвичай призводять до утворення хибних моделей прийняття рішення, що зумовлюють отримання некоректних результатів.

Одним із підходів, що дозволяє вирішувати зазначену проблему, є онтологічне представлення ПдО як детальний опис предметної області за допомогою концептуальної схеми. Така схема складається з ієрархічної структури даних, містить інформацію про властивості, а також про відношення між поняттями та об'єктами ПдО [7]. Саме формалізація подання відношень в онтології робить можливим їх використання для розв'язання широкого спектру задач. Онтологічний підхід дозволяє інтегрувати експертні знання на основі загального розуміння інформаційних структур, забезпечує багатократне застосування знань з ПдО, надає засоби для аналізу знань. При цьому важливо, що онтологія забезпечує підтримку прийняття рішень за рахунок можливості програмно-інтерпретованого комп'ютерного подання знань про конкретну ПдО. Як наслідок, це сприяє інтелектуалізації відповідних інформаційних технологій в різних сферах [8, 9].

Не дивно, що чимало дослідників і фахівців пропонують інструменти та методи для кращого керування даними та процесами, серед яких помітне місце займає використання зв'язаних даних на основі онтологій. При цьому чимало дослідників одночасно розглядають й АНР, який добре підходить для ієрархічних структур даних, зокрема таких, які були сформовані з точки зору онтологій. Однак необхідно зазначити, що в багатьох дослідженнях і проектах щодо спільного використання онтологій і АНР в основному саме взаємопов'язаної інтеграції не спостерігається. Головним чином йдеться про попередню підготовку даних на основі онтологій, а потім окремо застосовується АНР для отримання певних оцінок. Саме такій підхід застосовано в роботі [10], де представлена загальна архітектура, що базується на онтології, використовуючи багатокритеріальну техніку прийняття рішень для проектування персоналізованої системи планування маршрутів. Спочатку на основі онтології будується загальна орієнтована на користувачів архітектура. З побудованих моделей виділяються критерії, що зважуються і оцінюються методом АНР. В роботі [11] пропонується комплексне оцінювання якості деталей поєднанням методу АНР та балів оціночних ознак, отриманих з онтології. У роботі [12] автори представляють метод використання інформації з онтології для пошуку та ранжирування веб сторінок, використовуючи алгоритм АНР. У [13] запропоновано вирішення проблеми оцінки, ранжирування та вибору онтологій для їх повторного використання відповідно до вподобань користувача. АНР використовується, щоб моделювати уподобання користувачів та знайти рішення з декількома критеріями.

Водночас треба зауважити, що АНР не позбавлений певних недоліків, зокрема щодо чутливості до чіткості визначення переліку альтернатив та обмежень. Також зазвичай потрібно звести до мінімуму й недолік, що пов'язаний із відношеннями узгодженості як показником якості експертних оцінок. Завдяки цьому, часто-густо пошук методу багатокритеріального аналізу, який найкраще підходить для проблеми, розширюється або модифікованим АНР, або іншими методами. Так, наприклад, пропонується в роботі [14], яка стосується розробки

системи підтримки прийняття рішення щодо вибору програмного забезпечення. А в роботі [15] вже робиться спроба запропонувати спосіб онтологічно представити сам АНР. Запропонований метод не тільки конкретизує поняття та їх взаємозв'язки, але й реалізує також механізми оцінювання пріоритетності та послідовності в АНР за допомогою відповідних правил міркування.

Також, як можна помітити в результаті аналізу існуючих рішень, питання застосування онтологій і АНР саме в адміністративному управлінні, зокрема в сфері оборонного планування, розглядаються дуже обмежено. Серед небагатьох прикладів можна відмітити роботу [16], яка пропонує вирішення проблеми розміщення об'єктів у військовій логістичній системі. Два етапи розв'язання задачі максимізації середньої корисності будівель, що відводяться під об'єкти, базуються на застосуванні АНР. У статті [17] представлена модель, що стосується визначення необхідних спроможностей та варіантів їх розвитку відповідно до можливих сценаріїв загроз безпеці. Модель враховує істотні параметри сценаріїв, необхідні спроможності та параметри вартості для ранжування варіантів розвитку спроможностей з метою оптимального вибору варіанту. Для визначення параметрів та їх значень використовується експертна оцінка. У статті [18] зазначається, що недостатня обізнаність про корпоративний ландшафт даних впливає на здатність керувати даними. Це, у свою чергу, впливає на загальну якість даних в організаціях. Стаття спрямована на те, щоб запропонувати великим організаціям інструменти і методи для кращого усвідомлення даних, процесів та організаційних ознак за допомогою використання онтології зв'язаних даних через. В роботі [19] запропоновано структуру інтелектуальних агентів для моделювання можливих сценаріїв розвитку спроможностей. Основним у цьому дослідженні є питання онтологій, які, як зазначається, необхідно розвивати для вирішення подібних проблем. У статті [20] розглядається проблема визначення основних підходів до застосування онтолого-керованих інформаційних систем у сфері адміністративного управління, зокрема для розв'язання задачі оцінки на основі спроможностей в процесі оборонного планування.

Головний висновок проведеного аналізу у тому, що подібні підходи дозволяють знаходити прийнятні рішення тільки у тому випадку, якщо стан предметної області є чітко заданим, її математичний опис подається у вигляді визначених множин концептів та їх властивостей, а у якості експертів мають виступати висококваліфіковані фахівці.

Але в цих дослідженнях практично не враховується специфіка проведення оцінювання та визначення спроможностей в оборонному плануванні. Ця специфіка пов'язана із тим, що до складу експертних груп, на які покладається відповідальність за проведення такої роботи, зазвичай входять посадові особи військових структур, яким достатньо складно розібратися у процедурах оцінювання. Також на практиці не завжди є можливість використання експертами визначених (наявних) технічних характеристик зразків озброєння та військової техніки (військових засобів).

Тому в сучасних умовах вкрай важливим є надання військовим підрозділам достатньо простої і в той же час науково-обґрунтованої методикі

оцінювання спроможностей. Така методика має забезпечити експертам оперативно (іноді навіть в польових умовах) здійснити вибір спроможностей або інших складових оборонного планування за простою уніфікованою процедурою. При цьому зроблений вибір має створити такі умови, щоб у «найкращий» спосіб виконати поставлені завдання.

Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого подальшому вдосконаленню типового експертного процесу прийняття рішень в складних багатокритеріальних задачах.

### **3. Мета і завдання дослідження**

Метою роботи є створення методики підвищення ефективності розв'язання багатокритеріальної задачі оцінювання спроможностей в оборонному плануванні.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- перевірити можливість застосування методики, що базується на інтеграції онтологічної моделі, яка описує предметну область управління, методу аналізу ієрархій та візуалізації на графах;
- розробити опис процесу розв'язання багатокритеріальної задачі оцінювання в термінології запропонованої методики;
- запропонувати схему практичної реалізації отриманих рішень на базі типових задач в структурі органу військового управління.

### **4. Дослідження щодо можливості інтеграції онтології, методу аналізу ієрархій та візуалізації на графах**

Будь-яка багатокритеріальна задача може бути представленою ієрархічною системою. На її нижньому рівні здійснюється оцінка об'єкта за допомогою вектору критеріїв, сформованого декомпозицією його властивостей. На верхньому рівні за допомогою механізму композиції утворюється оцінка об'єкту в цілому. У зв'язку із цим підхід до розв'язування багатокритеріальної задачі вибору альтернативи при прийнятті рішення повинен задовольняти наступним вимогам:

- 1) застосовувати концепцію «векторного» підходу до оцінки альтернатив. При цьому бажано, щоб глибина декомпозиції (ієрархії) властивостей (характеристик, критеріїв) альтернатив приводила до досягнення їх кількісних значень;
- 2) передбачати попарне порівняння альтернатив за окремими властивостями з використанням як якісних, так і кількісних природних або штучних характеристик з унеможливленням порушення умов транзитивної узгодженості суджень експертів. Це досягається шляхом їх контролю та підвищенням об'єктивності формування векторів характеристик на основі представлення відповідної ПдО у вигляді певної моделі даних;
- 3) забезпечувати реалізацію композиції експертних оцінок на різних рівнях ієрархії методом вкладення скалярних згорток.

З існуючих методів багатокритеріального аналізу цим вимогам найбільш відповідає метод аналізу ієрархій, який може бути використаний не тільки для вибору альтернатив, а й для визначення відносної важливості самих характеристик.

Для застосування МАІ в задачах оцінювання оборонних спроможностей необхідне:

1) по-перше, визначити попередній перелік спроможностей (тобто альтернатив, серед яких буде здійснюватися вибір) для виконання поставленого завдання;

2) далі побудувати домінуючу ієрархію критеріїв – тих властивостей носіїв спроможностей, які суттєво впливають на виконання цього завдання;

3) провести експертами парні порівняння альтернатив з виставленням оцінок переваги однієї альтернативи над іншою за кожним критерієм за спеціальною шкалою Т. Сааті;

4) узагальнити ці оцінки з використанням скалярної (лінійної) згортки з урахуванням значимості (ваги) критеріїв та, можливо, компетентності (ваги) експертів. Це дозволить отримати сумарні оцінки (рейтинг) по кожній альтернативі  $i$ , таким чином, здійснити їх ранжування.

Для забезпечення опрацювання цієї ієрархії разом з атрибутивними описами комп'ютерними засобами доцільно представити її у вигляді онтологічної моделі.

Основними компонентами онтології ПдО зазвичай є: класи (концепти-поняття), відношення (властивості, атрибути), функції, аксіоми, екземпляри (концепти-індивіди), де класи визначають абстрактні групи, колекції або набори об'єктів (елементів системи або понять).

Як відомо, в загальному випадку онтологія предметної області формально представляється впорядкованою трійкою  $O = \langle X, R, F \rangle$ , де  $X$  – множина концептів (понять, термінів) предметної області,  $R$  – множина відношень та властивостей між ними,  $F$  – функції інтерпретації (визначень)  $X$  та/або  $R$ . Граничні випадки множин цього виразу у різних комбінаціях значень  $X$ ,  $R$  і  $F$  дають різні варіанти онтологічних конструкцій, починаючи від простого словника до таксономії та повної онтології – формальної концептуальної структури бази знань. Для розв'язання прикладних задач в ПдО за процедурою побудови онтології та з урахуванням її певної функціональної повноти і ступеня формальності зазвичай виділяють так звані тематичні (предметні) онтології. Це такі онтології, в яких множини концептів та концептуальних відношень є максимально повними, а до функцій інтерпретації додаються атрибутивні описи – аксіоми, визначення та обмеження за тематикою даної ПдО. Над ними надбудовуються онтології задач, які застосовуються при розробці програмного забезпечення, призначеного для виконання конкретної задачі.

Схема формальної моделі тематичної онтології  $OT$  описується як  $OT = \langle X, R, F, A(D, L) \rangle$ , де, додатково:

$A$  – скінченна множина аксіом, які використовуються для запису завжди істинних висловлювань (визначень і обмежень) в термінах тематики ПдО;

$D$  – множина додаткових визначень концептів в термінах тематики ПдО;

$L$  – множина обмежень, що визначає область дії понятійних структур визначеної тематики ПдО.

Базовою системною компонентою онтологічної системи є таксономія. Вона відображає певну ієрархію взаємодії концептів, яка задається за допомогою бінарних відношень, що визначають характер взаємодії між концептами онтології. Таксономії можуть доповнюватись функціями інтерпретації – спеціальний випадок відношень, в яких  $n$ -й елемент відношення однозначно визначається  $(n-1)$  попередніми елементами, а також аксіомами, які використовують-

ся, щоб записати завжди істинні висловлювання. Вони можуть бути включені в онтологію, наприклад, для визначення комплексних обмежень на значення атрибутів, на аргументи відношень, для перевірки коректності даних, описаних в онтології, або для забезпечення логічних висновків.

У зв'язку із цим онтологічну систему оборонного планування на основі спроможностей можна передусім представити низкою таксономій, що описують складові планування сил за характеристиками їх спроможностей.

Поєднання цих таксономій в єдину онтологічну систему шляхом встановлення відношень між їх концептами утворює інформаційний простір, що має забезпечити експертам вичерпний і чіткий супровід їх діяльності щодо оцінки альтернатив на об'єктивній основі.

При формуванні онтологій в операційному середовищі прийняття рішень будемо визначати множину обмежень  $L$  як таку, що дозволяє виділити з множини концептів  $X$  підмножину  $B$ , таку, що її можливо розбити на підмножини  $B_k = \{x_{ij}^{(k)}\} | L$ , що можуть пересікатися, які будемо називати множиною характеристик альтернатив (рис. 1). Усі елементи  $x_{ij}$  кожної множини  $B_k$  повинні мати властивість певної переваги, що дозволяє на етапах розв'язання задач підтримки рішень здійснити вибір необхідної тавтології. Тобто у таких задачах множина обмежень допускає побудувати множину альтернативних концептів на основі визначення таксономічної структури онтології.

Властивості об'єктів онтології можуть бути використані як критерії, відповідно з якими експерти можуть вибирати ту або іншу альтернативу із множини можливих альтернатив.

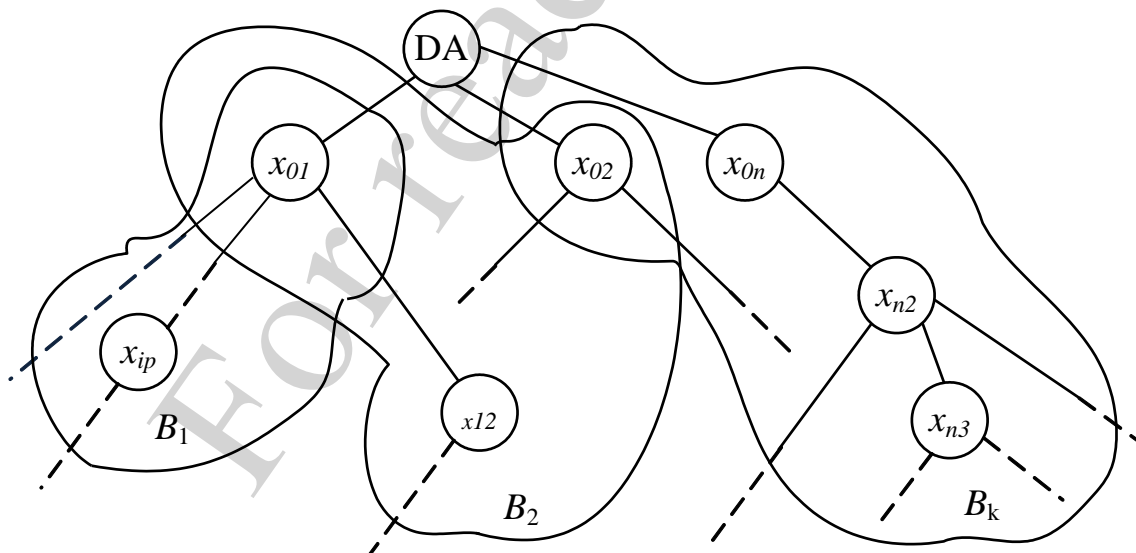


Рис. 1. Загальна схема формування вектору критеріїв вибору альтернатив з використанням онтологічних даних: (DA – domain array (ПдО),  $x_{ij}$  – концепти онтології,  $B_k$  – вектор критеріїв)

Атрибутивні описи (властивості) критеріїв можуть бути представленими в онтологічній базі даних у вигляді фреймів, у слотах яких містяться відповідні



числові чи лінгвістичні дані. Ці дані мають використовуватись експертами для підтримки прийняття ними рішень щодо оцінювання альтернатив.

Таким чином, необхідна інформаційна підтримка розв'язання задачі формування критеріїв та вибору альтернатив може полягати в застосуванні експертами онтологічної моделі ПДО на основі інтерпретаційних функцій вибору. Ці функції будується за допомогою гіпервідношень над концептами таксономічної структури онтології та їх властивостями.

Переходячи до МАІ необхідно зазначити, що в цьому методі ієрархічна структура проблеми вибору альтернатив уявляє графічне представлення у вигляді перевернутого дерева. В цій структурі кожен елемент, за винятком самого верхнього, залежить від одного або більше елементів, розташованих вище. Використовуючи інформацію з бази даних, побудованої на онтологічній моделі, що вище розглянута, така ієрархія може бути сформованою на основі множин  $B$ , що формуються з урахуванням множини обмежень  $L$ .

Основною процедурою МАІ є парні порівняння альтернатив експертами.

Суттєвою проблемою, що часто виникає при застосуванні парних порівнянь, є можлива неузгодженість висловлювань експерта при оцінюванні альтернатив. Позначимо  $Cr > Cq$ , якщо альтернатива  $Cr$  має загальну перевагу над альтернативою  $Cq$ , і  $Cr \sim Cq$ , якщо вони рівні. Отже можуть виникати ситуації, коли експерт стосовно певного критерію оцінив альтернативи як  $(Cr > Cq) \& (Cq > Cs)$ , і в той же час  $Cs > Cr$ . У загальному випадку узгодженість відношень розуміється як кардинальна, коли у зазначеній вище матриці  $a_{rq} * a_{qs} = a_{rs}$ , та/або транзитивна, коли якщо  $(Cr > Cq) \& (Cq > Cs)$ , тоді обов'язково  $Cr > Cs$ . У МАІ зазвичай після проведення оцінювання визначають кардинальну узгодженість (у повній мірі досягнути якої практично не можливо, навіть якщо у шкалі використовувати усі дійсні числа). Для цього визначається головне (максимальне) власне значення  $\lambda_{\max}$  зворотньо-симетричної матриці  $N \times N$ , де  $N$  – кількість альтернатив, і обчислюється так званий індекс узгодженості:  $IU = (\lambda_{\max} - N) / (N - 1)$ . Якщо відносна узгодженість (ВУ) як відношення  $IU$  до середнього випадкового індексу матриці того ж порядку перевищує 10–20 % (що найчастіше і відбувається), рекомендується переглянути висловлювання експерта.

При застосуванні МАІ кількість розрахункових таблиць, що залежить від кількості альтернатив, характеристик та експертів, зазвичай, виявляється достатньо значною. Особливо це пов'язане з повторними обчисленнями у разі значної кардинальної неузгодженості. Крім того, в МАІ транзитивна узгодженість не перевіряється. Тому для забезпечення наочності в опрацюванні таблиць та підтримки узгодженості пропонується синхронно з заповненням порівняльних таблиць візуалізувати процес заповнення у вигляді орієнтованого графу. При цьому відбувається контроль забезпечення транзитивності.

Вершини вказаного графу будуть відповідати альтернативам, а ребро зі стрілкою – дуга  $(Cr, Cq)$ , яка буде йти з вершини  $Cr$  до вершини  $Cq$ , якщо  $Cr > Cq$ . Оскільки здійснюється попарне порівняння усіх відібраних альтернатив, то наприкінці процедури заповнення таблиці усі вершини будуть з'єднані дугами. Отриманий граф буде повним орієнтованим графом, який в теорії

графів йменується турніром. За алгоритмом на першому та другому кроках проводяться два порівняння та намальовуються відповідні вершини та дуги. Якщо оцінки рівні – то з об'єднаним іменем (наприклад,  $Cr/Cq$ ). Далі після кожного кроку перевіряється: якщо є дуга ( $Cr, Cq$ ) і є дуга ( $Cq, Cs$ ), тоді додається дуга ( $Cr, Cs$ ). Тобто таким чином виконується так зване транзитивне замкнення графу – замикаються усі такі трикутники (рис. 2).

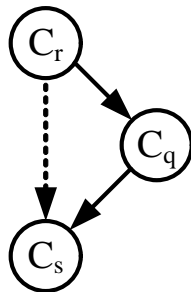


Рис. 2. Ілюстрація процесу транзитивного замкнення графу

Цю операцію можливо виконати, наприклад, за допомогою нескладного алгоритму Флойда-Уоршола, згідно з яким здійснюється ряд диз'юнкцій над рядками матриці суміжності орієнтованого графу.

Таким чином, загальну схему, що відображає сутність інтеграційної методики, що пропонується, можна представити на рис. 3.

Суперечливості у результатах порівнянь в МАІ часто виникають із-за суб'єктивних поглядів, недостачі знань і помилок експертів, впливу на експертів різних чинників та властивостей оцінюваних альтернатив. Для запобігання випадків неузгодженості матриць якимось чином необхідно «скеровувати» експертів у певному напрямку, щоб не допускати крайнього суб'єктивізму. У якості такого засобу власне й має стати побудована онтологія ПДО, яка повинна чітко визначати усі характеристики критеріїв вибору. Постійне звернення експертів до онтологічної бази є основою для обґрунтування прийнятих експертом оцінок. Саме онтологічна модель надає можливість групі експертів взаємодіяти між собою з метою вирішення завдання, модифікувати свої погляди і, як результат, раціонально формувати власні міркування. Водночас ця база є й інструментом проведення, за необхідності, аудиту дій експертів.

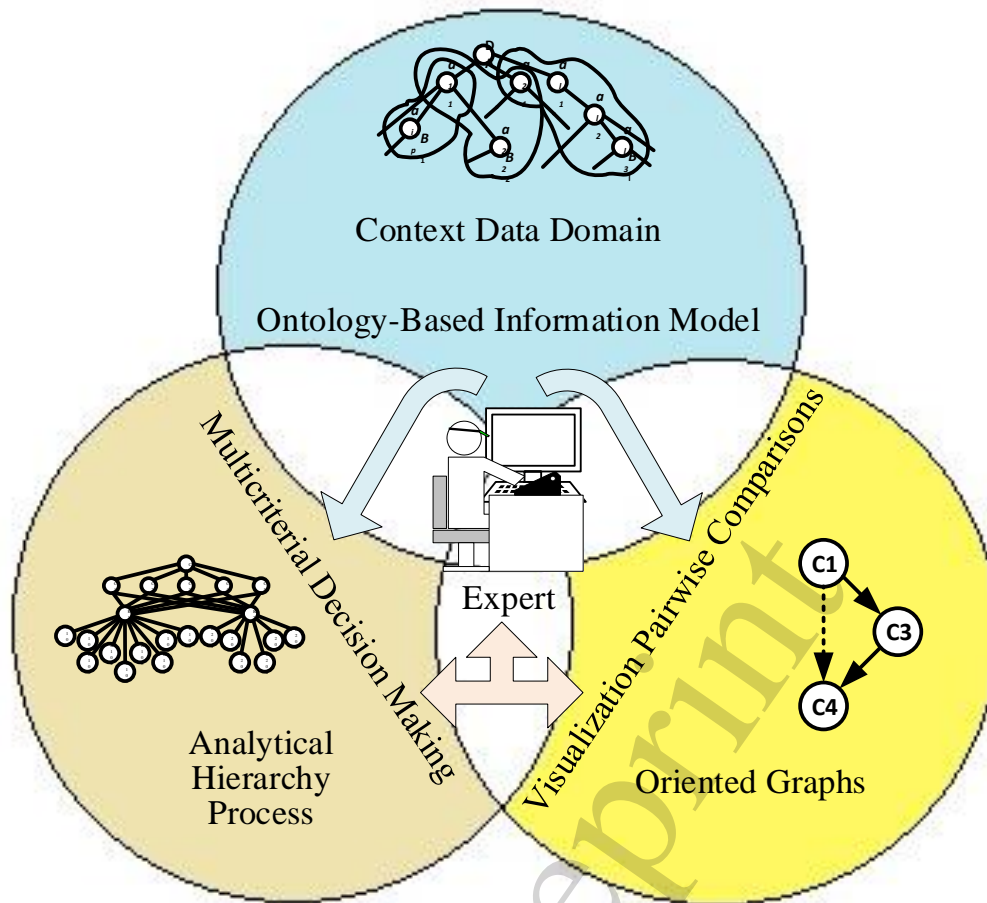


Рис. 3. Сутність інтеграційної методики

### 5. Опис процесу розв'язання багатокритеріальних задач в термінології запропонованого підходу

Для розв'язання багатокритеріальних задач експертним методом пропонується алгоритм та відповідний програмний засіб, який підтримує процеси оцінювання експертами альтернатив і обробку оцінок.

Перший етап розв'язання задачі є підготовчим, що передбачає формування онтології ПдО. Зазвичай цей етап виконується фахівцями з предметної області, з ведення баз даних та аналізу даних.

Другий етап пов'язаний із структуруванням проблеми у вигляді ієрархії або мережі на базі принципу ідентичності й декомпозиції. Зазвичай ієрархія будується з вершини (цілей – з погляду управління), через проміжні рівні (критерії та субкритерії, від яких залежать наступні рівні) до найнижчого рівня (листя ієрархії), який й є переліком альтернатив. Тут під альтернативами розуміються деякі об'єкти предметної області, що оцінюються відносно досягнення цілей, означених у вершині ієрархії.

Після ієрархічного відтворення проблеми на третьому етапі формується уніфікований набір таблиць для фіксування результатів попарного порівняння альтернатив за кожним критерієм, використовуючи онтологічні дані. Структуру таких таблиць показано у табл. 1.

В табл. 1 через  $H_{n,m}(i, j)$  позначено кількісне значення  $i$ -го критерію, яке відповідає якісному значенню, вибраному  $j$ -м експертом при порівнянні  $n$ -ї альтернативи з іншими  $m$  альтернативами,  $n, m = 1, \dots, N$ , де  $N$  – кількість альтернатив,  $j = 1, \dots, M$ , де  $M$  – кількість експертів, які приймають участь в оцінюванні. Кількість експертів не обмежується. Для попарного порівняння всіх визначених спроможностей за одним критерієм експерт має здійснити не більше  $N(N-1)/2$  порівнянь.

На наступному етапі вирішується питання встановлення пріоритетів критеріїв і оцінки кожної з альтернатив за критеріями, виявивши найважливішу з них. Експертам пропонується послідовно проводити порівняння альтернатив за допомогою усіченої шкали Т. Сааті, що містить не 9, а лише 5 (без зворотних величин) варіантів найменування оцінки при парному порівнянні (табл. 2). Такий підхід відповідає вимогам спрощення діяльності експертів без суттєвого порушення ефективності оцінювання.

Таблиця 1

Структура таблиці для обчислення парних порівнянь

| Вибраний критерій | Альтернативи    |                 |     |                 | Середнє геометричне $Z_n(i, j)$ | Нормоване значення $X_n(i, j)$ |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|
|                   | $H_{n,1}(i, j)$ | $H_{n,2}(i, j)$ | ... | $H_{n,5}(i, j)$ |                                 |                                |
| Альтернативи      |                 |                 |     |                 |                                 |                                |
|                   |                 |                 |     |                 |                                 |                                |
|                   |                 |                 |     |                 |                                 |                                |
|                   |                 |                 |     |                 |                                 |                                |
| Сума оцінок       |                 |                 |     |                 |                                 | 1,00000                        |
| $\lambda_{\max}$  |                 |                 |     |                 |                                 |                                |
| IУ                |                 |                 |     |                 |                                 |                                |
| ВУ                |                 |                 |     |                 |                                 |                                |

Таблиця 2

Усічений варіант шкали Т. Сааті

| Варіанти найменування оцінки при парному порівнянні (якісні значення лінгвістичної змінної) | Кількісні значення |
|---|--------------------|
| Набагато кращий/набагато важливіший/має абсолютну перевагу                                  | 9                  |
| Значно кращий/значно важливіший/має значну перевагу   | 7                  |
| Кращий/важливіший/має перевагу  | 5                  |
| Трохи кращий/трохи важливіший/має незначну перевагу   | 3                  |
| Рівні   | 1                  |

Результатам проведення експертами якісних (за допомогою лінгвістичної змінної) парних порівнянь відповідають кількісні значення  $a_{ij}$ . Це приводить до квадратної таблиці – матричної форми з властивістю зворотної симетричності, тобто  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ , де індекси  $i$  та  $j$  відносяться до рядка й стовпця відповідно.

Далі проводиться «розв'язання» цих квадратних обернено-симетричних матриць. Смысл таких обчислень полягає в тому, що вони визначають спосіб кількісного визначення порівняльної важливості чинників проблемної ситуації, що аналізуються (набори локальних пріоритетів). На чинниках з найбільшими величинами важливості буде сконцентрована увага при подальшому вирішенні задачі.

Після цього по кожному рядку таблиці підраховується  $Z_n(i, j)$  – середнє геометричне значень  $H_{n,m}(i, j)$  і проводиться їх нормування, тобто приведення значень до інтервалу  $[0, 1]$  – кожне середнє геометричне ділиться на суму всіх середніх геометричних. Використовується саме середнє геометричне, оскільки відомо, що воно надає найбільш точний результат усереднення при визначенні середнього значення відносних величин. В результаті опрацювання таблиці отримуємо  $X_n(i, j)$  – нормовані значення оцінки  $j$ -им експертом всіх альтернатив у порівнянні з іншими за  $i$ -им критерієм.

Пріоритет (вага) критеріїв  $P(i)$ ,  $i = 1, \dots, K$ , які відрізняються для різних задач, також визначається шляхом їх парного порівняння експертами з наступним обчисленням нормованих значень, таких, що їх сума дорівнює 1.

Якщо буде вважатися доцільним враховувати компетентність (нормовану вагу) експертів  $R(j)$ ,  $j = 1, \dots, M$ , це також можливо зробити шляхом парного порівняння анкет самооцінки, які складають про свої знання і досвід самі експерти.

Як вказувалось, важливою складовою методики, що пропонується, є допомога експертам відразу підтримувати транзитивність своїх суджень шляхом візуалізації порівнянь на орієнтованому графі. Для цього у програмному засобі реалізується інтерфейс експерта, в якому синхронно з заповненням порівняльних таблиць візуалізується процес заповнення у вигляді такого графу. При цьому відбувається контроль забезпечення транзитивності.

Послідовне заповнення таблиці і одночасна побудова такого графу здійснюється наступним чином. Експерт якісно порівнює альтернативи по певному критерію і проставляє у відповідну клітинку таблиці кількісну оцінку за шкалою Т. Сааті. Автоматично проставляється зворотне значення кількісної оцінки у симетричну від головної діагоналі клітинку таблиці. При цьому накреслюються дві вершини графу з іменами цих альтернатив.

Одночасно в таблиці клітинка, яка стоїть на перехресті цих альтернатив зафарбовується у якийсь колір. Це вказує експерту на необхідність поставити їх «правильне» порівняння. Інакше буде отримане повідомлення, що порушується транзитивність відношень. Коли з'являється вершина з об'єднаним ім'ям двох або більше вершин, тоді автоматично відслідковується, щоб відповідні рядки у таблиці парних порівнянь мали однакові значення.

У разі необхідності експерт може переглянути деякі з власних попередніх суджень зі збереженням транзитивності. В результаті з урахуванням зазначеного ототожнення вершин отримаємо ациклічний турнір, який у теорії графів також має назву транзитивного турніру. Варіант оцінювання, який задовольняє умовам транзитивності, обов'язково має місце. Це витікає з можливості строго-

го лінійного упорядкування у транзитивному турнірі вершин у порядку досяжності, оскільки всі його вершини мають різні вхідні та вихідні ступені дуг.

Візуалізація на графі допомагає експерту й для досягнення більшої кардинальної узгодженості. Якщо після завершення порівнянь значення ВУ буде незадовільним, дуги кінцевого графу будуть навантажені оцінками експерта у кількісному вигляді. Така можливість наближає цю програмну реалізацію до рівня експертної системи. Зокрема, програма може пропонувати експерту на кожному кроці оцінювання проводити порівняння між такими альтернативами (вершинами графу), які будуть приводити до максимальної кількості транзитивних замкнень.

## 6. Схема практичної реалізації отриманих рішень на прикладі типової задачі органу військового управління

Розглянемо застосування запропонованої методики на прикладі розв'язання задачі рейтингування спроможностей, як альтернатив, для забезпечення ведення розвідки в інтересах наземної артилерії. В каталозі спроможностей збройних сил вони відносяться до функціональної групи "Розвідка (Intelligence)" – спроможності сил оборони щодо збирання, обробки, аналізу та прогнозування, доведення розвідувальних відомостей. Онтологію проблемної області забезпечення ведення розвідки в інтересах наземної артилерії наведено на рис. 4. Для оцінки спроможностей нормативами запропоновано дві групи критеріїв – відповідність завданню (цінність) та можливості впровадження спроможностей.

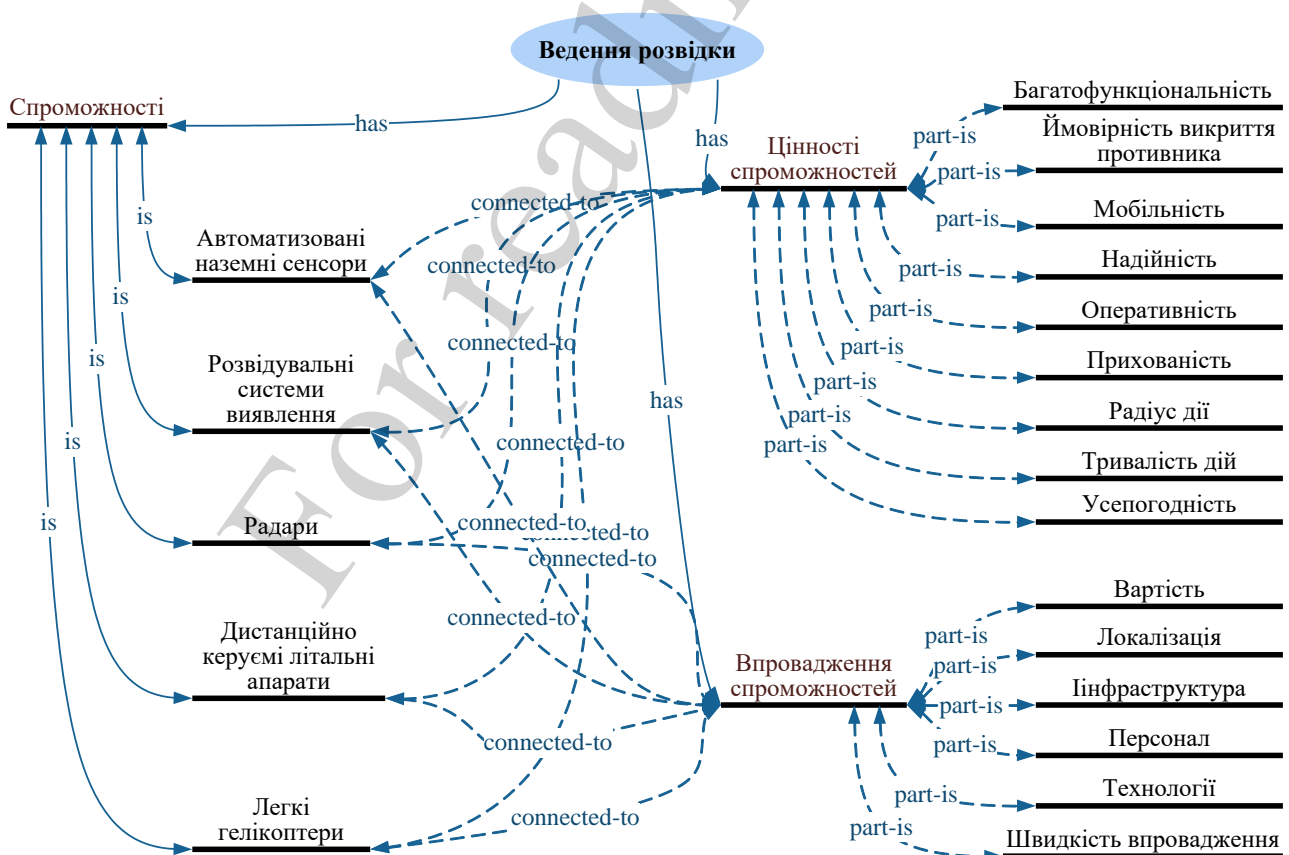


Рис. 4. Онтологія проблемної області забезпечення ведення розвідки в інтересах наземної артилерії

Для переходу до проведення оцінювання з застосуванням МАІ проведемо вибір з онтології ПдО спроможностей (табл. 3) та критеріїв оцінювання (табл. 4, 5).

Таблиця 3  
Перелік спроможностей (альтернатив)

| № з/п | Назва спроможності  | Позначення спроможності |
|-------|---|-------------------------|
| 1     | Автоматизовані наземні сенсори для спостереження, виявлення цілей та розвідки   | C1                      |
| 2     | Ближня розвідка за допомогою вдосконаленої розвідувальної системи виявлення та розпізнавання цілей                            | C2                      |
| 3     | Радар встановлення місцезнаходження вогневих засобів розвідки, спостереження, виявлення цілей та розвідки технічними засобами | C3                      |
| 4     | Дистанційно керуєми літальний апарат середньої висоти   | C4                      |
| 5     | Легкий гелікоптер загального призначення  | C5                      |

Таблиця 4  
Перелік критеріїв цінності спроможностей

| Критерії цінності спроможностей (K1) |            |
|--------------------------------------|------------|
| Назва критерію                       | Позначення |
| Багатофункціональність               | K101       |
| Ймовірність викриття противника      | K102       |
| Мобільність                          | K103       |
| Надійність                           | K104       |
| Оперативність                        | K105       |
| Прихованість                         | K106       |
| Радіус дії                           | K107       |
| Тривалість дій                       | K108       |
| Усепогодність                        | K109       |

Таблиця 5  
Перелік критеріїв можливості впровадження спроможностей

| Критерії можливості впровадження (K2) |            |
|---------------------------------------|------------|
| Назва критерію                        | Позначення |
| Вартість                              | K201       |
| Локалізація                           | K202       |
| Наявність інфраструктури              | K203       |
| Наявність підготовленого персоналу    | K204       |
| Наявність технологій                  | K205       |
| Швидкість впровадження                | K206       |

Побудуємо ієрархію задачі на основі даних табл. 3–5 (рис. 5). Ця ієрархія має два куці критеріїв, кожний з яких має власні гілки. Будемо вважати критерії  $K1$ ,  $K2$  критеріями 1-го рівня, а усі інші – критеріями 2-го рівня.

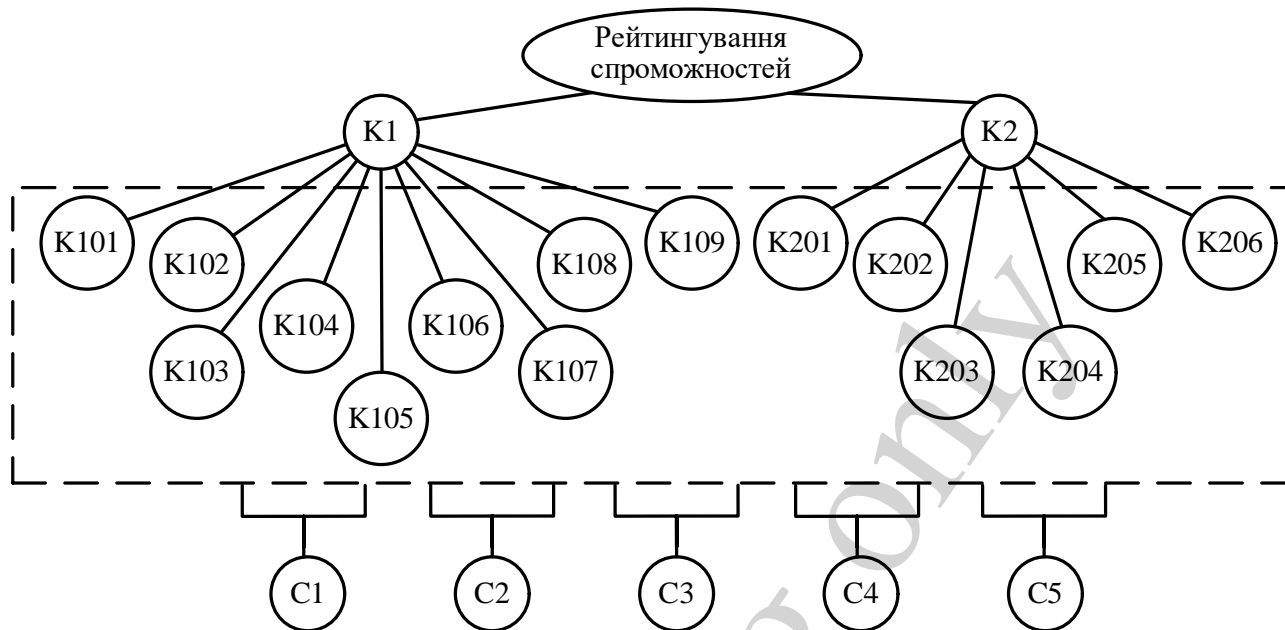


Рис. 5. Ієрархія критеріїв для визначення рейтингу спроможностей

Кожна спроможність повинна мати атрибутивні описи, які характеризують її з точки зору кожного з цих критеріїв (наприклад, для  $C5$  критерій  $K107$  характеризується значенням у 500 км). Доступність таких описів для експертів забезпечується атрибутами онтологічної моделі ПдО.

Спочатку, використовуючи онтологічні дані для кожного куца таксономії, формується уніфікований набір таблиць для фіксування результатів попарного порівняння спроможностей за кожним критерієм. Далі експертам пропонується послідовно проводити порівняння спроможностей за допомогою усіченої шкали Т. Сааті.

Порівняння спроможностей проводиться шляхом вибору зі списку якісних значень лінгвістичної змінної, а в клітинки таблиць автоматично проставляються відповідні кількісні значення та їх зворотні величини. Виходячи з цієї інформації також автоматично заповнюються всі інші до  $N^2$  клітинок таблиці (або елементів  $a_{rq}$  матриці  $N \times N$ ), тому що відповідно до структури шкали ця матриця є зворотньо-симетричною. Тобто для всіх елементів цієї матриці виконуються рівності:  $a_{rq} = 1 / a_{qr}$ . За бажанням експерт може й самостійно вносити у клітинки таблиці інші числові значення з інтервалу [1 – 9].

Узагальнений вигляд такої таблиці з прикладом результату парного порівняння  $C1$ – $C5$  за одним з критеріїв надано у табл. 6.

На нижньому рівні ієрархії кожний експерт заповнює по 15 таких таблиць – 9 для першого та 6 для другого куца..

Далі по кожному рядку табл. 6 підраховується  $Z_n(i, j)$  і проводиться їх нормування. В результаті опрацювання таблиці отримуємо нормовані значення



оцінки  $j$ -им експертом всіх  $C_n$  у порівнянні з іншими спроможностями за  $i$ -им критерієм.

Використовуючи скалярну згортку з урахуванням вагових коефіцієнтів критеріїв  $i$ , якщо потрібно, вагових коефіцієнтів експертів отримуємо для кожної  $C_n$  узагальнені по всім експертам за всіма критеріями 1-го куца оцінки  $X_{n(1)}$ :

$$X_{n(1)} = \sum_{i=1}^{|K|} \left( \sum_{j=1}^M X(i, j) R(j) \right) P(i), \quad (1)$$

де  $|K|$  – кількість критеріїв у 1-му куці. Аналогічно обчислюються  $X_{n(2)}$  для 2-го куца. Після цього здійснюється композиція критеріїв шляхом згортки оцінок по кожному куцу з урахуванням вагових коефіцієнтів критеріїв першого рівня:

$$X_n = X_{n(1)} P_{n(1)} + X_{n(2)} P_{n(2)}, \quad (2)$$

де  $P_{n(1)}$  і  $P_{n(2)}$  – відповідно вага критеріїв 1-го рівня (відповідність завданню і можливість впровадження). В результаті буде отриманий ранжований перелік оцінок  $X_n$ , на підставі яких приймається рішення щодо вибору спроможності  $C_n$ , найбільш прийнятної для виконання завдання. У раці, коли ієрархія критеріїв має багаторівневу структуру, узагальнення оцінок різних рівнів проводиться знизу вгору за методом вкладених згорток.

#### Таблиця 6

Приклад таблиці для обчислення парних порівнянь спроможностей з наповненням за критерієм  $K105$  (оперативність)

| Критерій<br>$K105$ | $C1$<br>$H_{n,1}(i, j)$ | $C2$<br>$H_{n,2}(i, j)$ | $C3$<br>$H_{n,3}(i, j)$ | $C4$<br>$H_{n,4}(i, j)(i, j)$ | $C5$<br>$H_{n,5}(i, j)$ | Середнє геометричне $Z_n(i, j)$ | Нормо-ване значення $X_n(i, j)$ |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| $C1$               | 1                       | 9                       | 3                       | 7                             | 9                       | 4,42732                         | 0,54189                         |
| $C2$               | 1/9                     | 1                       | 1/7                     | 1/3                           | 1                       | 0,35052                         | 0,0429                          |
| $C3$               | 1/3                     | 7                       | 1                       | 5                             | 5                       | 2,25519                         | 0,27603                         |
| $C4$               | 1/7                     | 3                       | 1/5                     | 1                             | 3                       | 0,76214                         | 0,09328                         |
| $C5$               | 1/9                     | 1                       | 1/5                     | 1/3                           | 1                       | 0,37492                         | 0,04589                         |
| Сума оцінок        |                         |                         |                         |                               |                         | 8,17009                         | 1,00000                         |
| $\lambda_{\max}$   | 5,19862                 |                         |                         |                               |                         |                                 |                                 |
| IУ                 | 0,04966                 |                         |                         |                               |                         |                                 |                                 |
| ВУ                 | 4,43 %                  |                         |                         |                               |                         |                                 |                                 |

Приклад кроків порівнянь експерта, що приводять до кінцевого транзитивного турніру, який відповідає табл. 6, наведений у (3) та на рис. 6.

1.C2 ~ C5

$$\left\{ \begin{array}{l} \{2.C1 \succ C3\} \\ \{3.C3 \succ C4\} \\ \{4.C4 \succ C2\} \end{array} \right\} \Rightarrow C1 \succ C4 \Rightarrow \begin{pmatrix} C1 \succ C2 \\ C3 \succ C2 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

З цього прикладу видно, що програмний засіб автоматично виявляє три транзитивні замкнення, підказує це експерту і тим самим спрощує його діяльність. Якщо експерт вибирає такий шлях, кількість кроків вибору порівнянь може бути значно меншою, ніж вищезазначені  $N(N-1)/2$  (у цьому прикладі лише 4 кроки).

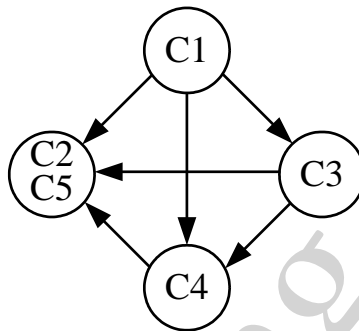


Рис. 6. Транзитивний турнір для прикладу табл. 6

Відповідний фрагмент інтерфейсу програмної реалізації алгоритму наведено на рис. 7.

| Перелік відношень   |   | Спроможності для забезпечення ведення розвідки в інтересах наземної артилерії  |                           |                           |                         |            |           |  |
|---|---|--|---------------------------|---------------------------|-------------------------|------------|-----------|--|
| <input type="radio"/> набагато кращий/набагато важливіший/мас абсолютну перевагу (9)<br><input type="radio"/> значно кращий/значно важливіший/мас значну перевагу (7)<br><input type="radio"/> кращий/важливіший/мас перевагу (5)<br><input type="radio"/> трохи кращий/трохи важливіший/мас незначну перевагу (3)<br><input type="radio"/> рівні - однакові (1) <input type="radio"/> відміна відношення |   | С1. Автоматизовані наземні сенсори для спостереження, виявлення цілей та розвідки<br>С2. Близька розвідка за допомогою вдосконаленої розвідувальної системи виявлення та розпізнавання цілей<br>С3. Радар встановлення місцезнаходження вогневих засобів розвідки, спостереження, виявлення цілей та розвідки технічними засобами<br>С4. ДКЛА - середньої висоти<br>С5. Легкий вертоліт загального призначення |                           |                           |                         |            |           |  |
| Таблиця відношень   |   | Граф відношень   |                           |                           |                         |            |           |  |
|   | C1  | C2   | C3                        | C4                        | C5                      | Серед геом | Норм знач |  |
| C1  | 1   | <input type="radio"/> 9  | <input type="radio"/> 3   | <input type="radio"/> 7   | <input type="radio"/> 9 | 4.42732    | 0.54189   |  |
| C2  | <input type="radio"/> 1/9   | 1  | <input type="radio"/> 1/7 | <input type="radio"/> 1/3 | <input type="radio"/> 1 | 0.35052    | 0.0429    |  |
| C3  | <input type="radio"/> 1/3   | <input type="radio"/> 7  | 1                         | <input type="radio"/> 5   | <input type="radio"/> 5 | 2.25519    | 0.27603   |  |
| C4  | <input type="radio"/> 1/7   | <input type="radio"/> 3  | <input type="radio"/> 1/5 | 1                         | <input type="radio"/> 3 | 0.76214    | 0.09328   |  |
| C5  | <input type="radio"/> 1/9   | <input type="radio"/> 1  | <input type="radio"/> 1/5 | <input type="radio"/> 1/3 | 1                       | 0.37492    | 0.04589   |  |
| Σ   |   |  |                           |                           |                         | 8.17009    | 1         |  |
| λmax  | 5.19862 - λmax - головне (максимальне) власне значення матриці  |  |                           |                           |                         |            |           |  |
| IУ  | 0.04966 - індекс узгодженості = (λmax-n)/(n-1). Якщо відношення IУ до середнього випадкового індексу матриці того ж порядку перевищує 10-20% - то рекомендується переглянути судження по оцінці |  |                           |                           |                         |            |           |  |
| ВУ  | 4.43% - Якщо ВУ менше 10-15%, то вважається, що судження непогано узгоджені   |  |                           |                           |                         |            |           |  |
| <input type="button" value="Прийняти оцінку відношення"/> <input type="button" value="Назад до критеріїв"/> <input type="button" value="Почати оцінювання знову"/>  |   |  |                           |                           |                         |            |           |  |
| <input type="button" value="Обчислити"/>  |   |  |                           |                           |                         |            |           |  |

Рис. 7. Фрагмент інтерфейсу програмної реалізації алгоритму методики

Як вказувалось, візуалізація на графі допомагає експерту й для досягнення більшої кардинальної узгодженості. Приміром, підграф для трьох спроможностей після транзитивного замкнення буде виглядати як зображено на рис. 8, *а*. Тоді програма з метою покращення кардинальної узгодженості запропонує експерту скорегувати свою думку, наприклад, таким чином, як наведено на рис. 8, *б*.

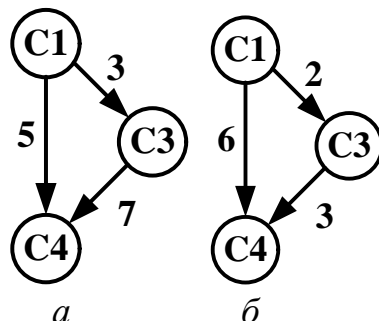


Рис. 8. Ілюстрація досягнення більшої кардинальної узгодженості: *а* – підграф для трьох спроможностей після транзитивного замкнення; *б* – програмна підказка корегування з метою покращення кардинальної узгодженості

Таким чином, наведені властивості забезпечують оперативність, універсальність та простоту технічної реалізації процедури підтримки прийняття рішень. Дружній інтерфейс програмного засобу зменшує суб'єктивізм та загалом створює умови для дотримання принципів безсторонності і справедливості.

## 7. Обговорення результатів дослідження щодо застосування інтеграційної методики в операційному середовищі експертної діяльності

Виходячи з викладеного можна зазначити, що отримані результати використання запропонованої методики пояснюються інтеграцією МАІ, онтологічної моделі даних та засобів візуалізації процесів порівняння альтернатив в єдиний комплекс. Особливості методики і отриманих результатів в порівнянні з існуючими полягають в отриманні таких переваг. Передусім, суттєво спрощується експертна діяльність за рахунок візуалізації процесу оцінювання та підтримки транзитивної узгодженості суджень експертів. Також це сприяє підвищенню кардинальної узгодженості, усуває залежність від одиниць виміру. Крім того стає можливим застосувати одну й ту ж саму технологію роботи експертів на різних етапах цього процесу:

- 1) для визначення пріоритету (ваги) критеріїв;
- 2) компетентності (ваги) експертів;
- 3) власне оцінювання носіїв спроможностей.

В той же час, запропонований підхід використовує психологічну здатність будь-якої людини порівнювати, особливо при наявності візуальних образів. При цьому він притягає здібність людини не тільки вказувати на об'єкт, якому надається перевага, але й оцінити ступінь переваги. Така властивість методики забезпечує оперативність, універсальність та простоту технічної реалізації процедури підтримки прийняття рішень. А дружній інтерфейс зменшує

суб'єктивізм та загалом створює умови для дотримання принципів безсторонності і справедливості.

Необхідно зазначити, що даному дослідженню притаманне істотне обмеження. Обґрунтованість і об'єктивність рішення значною мірою обумовлюється коректністю і адекватністю онтологічної моделі предметної області. Тому йдеться про необхідність наявності вичерпних даних щодо ПдО, термінологічних словників та технічних довідників в електронному поданні, з яких можливо побудувати онтологічну базу. Водночас це й потреба залучення кваліфікованого фахівця з напрямку Data Scientist, обізнаного з особливостями ПдО та спроможного побудувати онтологічні описи. Тим не менш, навіть за відсутності сучасних засобів інформування, запропонована методика може надати відчутних переваг.

У якості недоліків даного дослідження може бути відзначене значно звужене представлене задачі оборонного планування. Тому в перспективі позитивний ефект від використання потенціалу цієї методики в практиці оборонного планування може бути пов'язаним з розширенням онтологічної моделі на військові завдання (за класами стратегічне розгортання, операції, бойові дії, бої, удари), можливих сценаріїв загроз та їх ймовірних негативних наслідків, інших складових планування сил. Але при цьому можна зіткнутися з труднощами організаційного та експериментального характеру, враховуючи специфіку оборонного відомства.

Універсальність підходу створює умови для розвитку даного дослідження у напрямку його застосуванні в різних галузях діяльності, особливо в силових відомствах. Методика може бути використаною як альтернативна або перевірна при оцінюванні спроможностей за іншими методами, наприклад, методом Делфі. Запропонована методика фактично репрезентує один з інноваційних інструментів досягнення стратегічних цілей і виконання основних завдань оборонної реформи, що є актуальним в сучасних умовах.

## **8. Висновки**

1. Проведено аналіз особливостей онтологічної моделі, яка описує предметну область управління, та методу аналізу ієрархій, що показує можливість застосування поєднання цих методів у задачах багатокритеріального вибору. Цей висновок спирається на властивості ієрархічності, притаманні обом зазначеним складовим. Залучення елементів теорії графів значно підсилює зазначену можливість, що в цілому утворює інтеграційне середовище діяльності експертів. Це передусім підвищує наочність подання предметної області, а також знижує вимоги до обсягу знань експертів.

2. Запропоновано опис процесу розв'язання багатокритеріальної задачі оцінювання спроможностей в термінології інтеграційної методики. Особливість цього опису полягає в чіткій алгоритмізації процесу експертного оцінювання та конкретизації дій експертів. Як наслідок, наведені кроки відповідного алгоритму дій у 2–3 рази зменшують кількість кроків вибору парних порівнянь альтернатив при застосуванні методу аналізу ієрархій.

Така можливість наближає програмну реалізацію методики до рівня експертної системи. Зокрема, програма може пропонувати експерту на кожному кроці оцінювання проводити порівняння між такими альтернативами (вершинами графу), які будуть приводити до максимальної кількості транзитивних замкнень.

3. Отриманий опис процесу розв'язання багатокритеріальної задачі за інтеграційною методикою втілений у відповідному програмному інструментарії. На прикладі розв'язання типової задачі в структурах органів військового управління показано, що інструментарій дозволяє суттєво спростити технологію реалізації процедури підтримки прийняття рішень. Особливості інтерфейсу зменшують суб'єктивізм та створюють умови для дотримання принципів безсторонності і справедливості. Загалом це дозволяє уніфікувати роботу експертів та надати їй оперативності.

### Література

1. Устименко, О. В., Білик, В. І. (2018). Планування розвитку спроможностей сил оборони України щодо протидії загрозам у ході гібридної війни. Вісник НАДУ при Президентові України (Серія "Державне управління"), 2, 48–52. URL: <http://visnyk.academy.gov.ua/pages/dop/79/files/26ce167b-d55b-468e-bc9f-cbec018615af.pdf>

2. Руснак, І. С., Петренко, А. Г., Яковенко, А. В., Романюк, І. М., Кохно, В. Д. (2017). Оборонне планування на основі спроможностей: особливості та перспективи впровадження. Наука і оборона, 2, 3–10.

3. De Spiegeleire, S. (2011). Ten Trends in Capability Planning for Defence and Security. The RUSI Journal, 156 (5), 20–28. doi: <https://doi.org/10.1080/03071847.2011.626270>

4. Davis, P. K. (2002). Analytic Architecture for CapabilitiesBased Planning, Mission-System Analysis and Transformation. National Defense Research Institute, Santa Monica, USA.

5. Іващенко, А. М., Павліковський, А. К., Сівоха, І. М. (2017). Концепція оборонного планування на основі розвитку спроможностей: проблеми впровадження. Збірник наукових праць Центру військово-стратегічних досліджень, 1 (59), 53–58. doi: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2017-1-59/53-58>

6. Saaty, T. L. (2013). On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons. Notices of the American Mathematical Society, 60 (02), 192. doi: <https://doi.org/10.1090/noti944>

7. Палагин, А. В., Петренко, Н. Г. (2007). К вопросу системно-онтологической интеграции знаний предметной области. Математические машины и системы, 3-4, 63–75.

8. Nesterenko, O., Trofymchuk, O. (2019). Patterns in forming the ontology-based environment of information-analytical activity in administrative management. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (2 (101)), 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180107>

9. Vlahavas, L., Bassitiades, N., Sakellariou, I., Molina, M., Ossowski, S., Futo, I. et. al. (2002). ExperNet: an intelligent multiagent system for WAN manage-

ment. *IEEE Intelligent Systems*, 17 (1), 62–72. doi: <https://doi.org/10.1109/5254.988459>

10. Niaraki, A. S., Kim, K. (2009). Ontology based personalized route planning system using a multi-criteria decision making approach. *Expert Systems with Applications*, 36 (2), 2250–2259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.12.053>

11. Xu, F., Liu, X., Chen, W., Zhou, C., Cao, B. (2018). An Ontology and AHP Based Quality Evaluation Approach for Reuse Parts of End-of-Life Construction Machinery. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/3481030>

12. El-Dsouky, A. I., Ali, H. A., Rashed, R. S. (2018). Ranking Documents Based on the Semantic Relations Using Analytical Hierarchy Process. *Information Retrieval and Management*, 1841–1859. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5191-1.ch084>

13. Groza, A., Dragoste, I., Sincai, I., Jimborean, I., Moraru, V. (2014). An Ontology Selection and Ranking System Based on the Analytic Hierarchy Process. 2014 16th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing. doi: <https://doi.org/10.1109/synasc.2014.47>

14. Wasielewska, K., Ganzha, M., Paprzycki, M., Bădică, C., Ivanovic, M., Lirkov, I. (2014). Multicriteria analysis of ontologically represented information. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4902284>

15. Liao, Y. X., Rocha Loures, E., Canciglieri, O., Panetto, H. (2014). A Novel Approach for Ontological Representation of Analytic Hierarchy Process. *Advanced Materials Research*, 988, 675–682. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.988.675>

16. Lai, C.-M. (2019). Integrating simplified swarm optimization with AHP for solving capacitated military logistic depot location problem. *Applied Soft Computing*, 78, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.02.016>

17. Kovac, M., Stojkovic, D., Mitic, V. (2013). Capability based defence development planning - optimal option selection for capability development. XI Balkan Conference on Operational Research (BALCOR-2013), Conference Paper, 551–558. URL: <https://www.researchgate.net/publication/287999099>

18. DeStefano, R. J., Tao, L., Gai, K. (2016). Improving Data Governance in Large Organizations through Ontology and Linked Data. 2016 IEEE 3rd International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud). doi: <https://doi.org/10.1109/cscloud.2016.47>

19. Rabaey, M., Van Damme, C., Vandenborre, K., Vandijck, E. (2007). Ontology Negotiation in an Intelligent Agents Dynamic System for Military Resources and Capabilities Planning. IRMA International Conference. URL: [https://www.researchgate.net/publication/305490801\\_Ontology\\_Negotiation\\_in\\_an\\_Intelligent\\_Agents\\_Dynamic\\_System\\_for\\_Military\\_Resources\\_and\\_Capabilities\\_Planning](https://www.researchgate.net/publication/305490801_Ontology_Negotiation_in_an_Intelligent_Agents_Dynamic_System_for_Military_Resources_and_Capabilities_Planning)

20. Нестеренко, О. В. (2019). Онтолого-керовані інформаційні системи в адміністративному управлінні. Математичне моделювання в економіці, 15 (2), 57–68. URL: <https://www.mmejournal.in.ua/index.php/mmejournal/article/view/66/66>