

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1: MCDM - ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД.....	11
1.1 Розв’язування задачі MCDM.....	11
1.2 Категорії багатокритеріального прийняття рішень.....	15
1.3 Дослідження багатокритеріального прийняття рішень.....	18
РОЗДІЛ 2: НАЙВІДОМІШІ МЕТОДИ MCDM.....	22
2.1 Метод АНР.....	22
2.2 Метод WSM.....	30
2.3 Метод PROMETHEE.....	34
РОЗДІЛ 3: ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ MCDM.....	39
3.1 Практичне застосування методу АНР.....	39
3.2 Практичне застосування методу WSM.....	45
3.3 Практичне застосування методу PROMETHEE.....	48
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	64

ВСТУП

Для чого використовується багатокритеріальний аналіз рішень?

Існує багато тисяч, якщо не мільйони, можливих застосувань багатокритеріального аналізу рішень (MCDA), також відомого як багатокритеріальне прийняття рішень (MCDM).

Більшість рішень, прийнятих окремими особами та групами, які включають ранжування або вибір між альтернативами (включаючи людей), підлягають MCDA / MCDM.

Ось кілька основних прикладів додатків із світу бізнесу, некомерційних організацій, уряду, охорони здоров'я, освіти та прийняття особистих рішень:

Шорт-лист претендентів на роботу.

Відбір проектів або інвестицій для фінансування.

Вибір програм мікрофінансування або допомоги для підтримки.

Пріоритезація видатків місцевого чи центрального уряду.

Пріоритетність пацієнтів для доступу до медичної допомоги (наприклад, історія успіху системи охорони здоров'я Нової Зеландії).

Рейтинг дослідників або студентів для отримання грантів або стипендій.

Вибір нового будинку, автомобіля чи смартфона тощо.

Спільним для цих прикладів і всіх програм MCDA загалом є те, що вони включають альтернативи (включаючи людей), які ранжуються або вибираються на основі розгляду кількох критеріїв разом. Деякі програми також включають розподіл бюджетів або інших дефіцитних ресурсів між альтернативами з метою максимізації співвідношення ціни та якості.

Звичайно, розгляд кількох критеріїв під час ранжування або вибору між альтернативами є природним підходом до прийняття рішень, який є таким же старим і фундаментальним, як історія людства.

Однак традиційне інтуїтивне прийняття рішень – як більшість людей приймає свої повсякденні рішення – зазвичай передбачає оцінку критеріїв і компромісів між ними інтуїтивно зрозумілим або цілісним способом.

Навпаки, MCDA / MCDM, піддисципліна дослідження операцій з основами в економіці, психології та математиці, займається формальним структуруванням і вирішенням проблем прийняття рішень.

Більшість методів MCDA, які все частіше підтримуються спеціалізованим програмним забезпеченням, включають явне зважування критеріїв і компроміси між ними. MCDA / MCDM, по суті, включає ці чотири ключові компоненти:

1. Альтернативи (або індивідууми), з яких потрібно ранжувати або вибирати:

У MCDM може бути включена будь-яка кількість альтернатив – залежно від програми, від мінімум двох (інакше не було б вибору) до 10, 100, 1000 або навіть мільйонів альтернатив.

2. Критерії, за якими оцінюються та порівнюються альтернативи:

Для більшості застосувань зазвичай достатньо менше ніж дюжини критеріїв, з 4-8 досить типовими, які можуть бути кількісними або якісними за своєю природою.

3. Ваги, що представляють відносну важливість критеріїв.

Існує безліч методів, доступних для визначення вагових коефіцієнтів критеріїв, які представляють їх відносну важливість.

4. Особи, які приймають рішення, і потенційно інші зацікавлені сторони, чії переваги мають бути представлені.

Знову ж таки, залежно від програми, може бути залучено будь-яку кількість осіб, які приймають рішення, і, можливо, інших зацікавлених сторін, починаючи від одного до багатьох, навіть 1000 людей.

MCDA має на меті зробити ці чотири речі правильно. Зробивши це, ви з більшою ймовірністю приймете правильне для вашої ситуації рішення.

Ітеративний характер процесу з кількома можливими зворотними зв'язками та циклами підкреслює, що MCDA призначений для функціонування як інструменту, який допомагає людям, окремо чи групами, прийняти рішення – тобто їх рішення (прийняте людьми), а не рішення інструменту.

Окрім більш прозорого та послідовного прийняття рішень, MCDA також можна використовувати для сприяння участі широкого кола зацікавлених сторін,

систематично враховуючи їхні переваги. Результати MCDA також можна використовувати для повідомлення та обґрунтування остаточного рішення зацікавленим сторонам.

РОЗДІЛ 1: MCDM - ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД

1.1 Розв'язування задачі MCDM

Немає жодного рішення, яке можна було б розглянути без звернення до процесу прийняття рішень. Прийняття рішення, як розумовий комплексний процес, є програмою вирішення проблеми, яка спрямована на визначення бажаного результату з урахуванням різних аспектів. Цей процес може бути раціональним або ірраціональним, а з іншого боку, він може використовувати неявні або явні припущення, на які впливають кілька факторів, таких як фізіологічні, біологічні, культурні, соціальні тощо. Усі ці аспекти разом із повноваженнями та рівнями ризику можуть впливати на рівень складності процесу прийняття рішень. У наш час складні проблеми прийняття рішень можна розв'язати, використовуючи математичні рівняння, багатоманітну статистику, математику, економічні теорії та комп'ютерні пристрої, які допомагають розраховувати й оцінювати розв'язки проблем прийняття рішень автоматично.

Багатокритеріальне прийняття рішень (MCDM) або багатокритеріальний аналіз рішень (MCDA) є одним із найточніших методів прийняття рішень, і його можна назвати революцією в цій галузі. Одне з перших досліджень багатокритеріального прийняття рішень було розроблено Бенджаміном Франкліном, коли він опублікував своє дослідження концепції моральної алгебри. Декілька емпіричних і теоретичних вчених працювали над методами MCDM, щоб дослідити можливості математичного моделювання цих методів з 1950-х років, щоб створити структуру, яка може допомогти структурувати проблеми прийняття рішень і генерувати переваги з альтернатив. MCDM включає різні методи, які відрізняються один від одного в різних аспектах, які будуть обговорюватися в наступних розділах та підрозділах.

Цей метод враховує різні якісні та кількісні критерії, які необхідно зафіксувати, щоб знайти найкраще рішення. Наприклад, вартість або ціна та якість процесів є одними з найпоширеніших критеріїв у багатьох проблемах прийняття рішень. Крім того, у цих проблемах групи експертів надають різну вагу критеріям, які базуються на важливості кожного критерію в конкретному випадку.

MCDM можна використовувати для повсякденних проблем у житті людини. Проте, коли проблема базується на більш важливих предметах, наприклад, на рівні капіталу, оцінка критеріїв є важливим питанням. Тому в таких ситуаціях прийняття рішень має ґрунтуватися на правильному структуруванні та чіткій оцінці всіх критеріїв за допомогою відповідного програмного забезпечення та інструментів. На практиці MCDM використовується для структурування, прийняття рішень і етапів планування, коли домен має різноманітні критерії для досягнення оптимального рішення на основі переваг тих, хто приймає рішення.

Існує кілька типів методів MCDM, які розроблені або вдосконалені різними авторами протягом останніх десятиліть. Основні відмінності між цими методами пов'язані з рівнем складності алгоритмів, методами зважування критеріїв, способом представлення критеріїв оцінки переваг, можливістю невизначеності даних і, нарешті, типом агрегації даних.

Крім того, всі різні типи MCDM мають специфічні та різні переваги та недоліки, які, як очікується, будуть пояснені конкретно на основі методів. Наприклад, аналітичний ієрархічний процес (AHP) простий у використанні та стикається з проблемами через взаємозалежність між критеріями та альтернативами. З іншого боку, у теорії нечітких множин (FST) можливе використання неточних вхідних даних; однак розробити цей метод нелегко. Загалом, усі методи MCDM мають перевагу врахування непропорційних і суперечливих впливів рішень. З іншого боку, рішення, які генеруються цими методами, є компромісом між кількома цілями, і це призводить до неотримання оптимальної точки через природу проблеми.

MCDM має різноманітні застосування в різних дисциплінах і областях, починаючи від економіки та фінансів до інженерного проектування та медицини. Недавня стаття Pramanik надала комплексний огляд застосування різних методів MCDM. Короткий виклад їх результатів наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Application Fields	Examples of the Application Focus
Healthcare	The assessment of COVID-19 regional safety, occupational health, and safety risk assessment
Energy sector	Ranking renewable energy sources, techniques for energy policy
Engineering and Production	Engineering, material selection for optimal design, Optimum Process Parameters
Career and Job	Occupational stressors among firefighters, personnel selection problems, Job Choice
Supply chain management	Supporting sustainable supplier selection, green supplier evaluation, and selection
Organizations and corporates	System Selection Process in Enterprises, corporate sustainability
Education	Contextual Learner Modelling in Personalized and Ubiquitous Learning, E-learning
Transportation	Urban passenger transport systems, integrated transportation systems
Civil Engineering	Flood disaster risk analysis
Finance/economics	Project portfolio management

Перш ніж представити формат цих задач, у цьому розділі обговорюються основні концепції MCDM. MCDM включає в себе різні елементи та концепції, засновані на характері проблеми прийняття рішень. Основні з них такі:

Альтернативи — це «різні можливі варіанти дій»

Атрибут визначається як «вимірна характеристика альтернативи»

Агрегація стосується «розгляду ефективності альтернативи за конкретними критеріями для прийняття рішення щодо альтернативи»

Змінні рішення визначаються як «компоненти вектора альтернатив»

Простір прийняття рішень представлено як «можливі альтернативи»

Заходи визначаються як «елементи, які використовуються для кількісної оцінки альтернативи його атрибуту шляхом присвоєння атрибутам чисел або символів»

Критерії визначаються як «інструменти для оцінки та порівняння альтернатив з точки зору наслідків їх вибору».

Уподобання визначаються як «як альтернатива задовольняє потреби особи, яка приймає рішення, щодо даного атрибута»

Рішення відрізняються залежно від типу проблеми, яка може включати проблеми вибору, ранжирування та сортування.

Існують різні способи інтерпретації вирішення проблеми MCDM. Процес можна розглядати як вибір найкращої (найбільш бажаної) альтернативи з набору альтернатив. Це також можна пояснити як групування альтернатив (у різноманітні набори переваг), а потім вибір невеликого набору з них. Крім того, ці проблеми спрямовані на визначення альтернатив, які не є домінуючими чи ефективними. Неможливо переходити від недомінованого рішення до іншого, не жертвуючи принаймні одним із критеріїв, які на цьому етапі можуть допомогти особі, що приймає рішення, вибрати набір рішень із набору недомінованих. У математичній формі задача MCDM визначається наступним чином:

$$A = \{A_i \mid i = 1, 2, \dots, m\} , \quad (1.1)$$

де A - окремий і кінцевий набір альтернатив, а m - їх кількість.

$$C = \{C_j \mid j = 1, 2, \dots, n\} , \quad (1.2)$$

де C - це набір певних критеріїв, які використовуються для оцінки A , а n - їх кількість. Альтернативи природно однорідні, але цей момент не є необхідним для критеріїв. Тобто критерії можуть мати різні одиниці без будь-яких взаємозв'язків і з різними суперечливими цілями (мінімізація цілей в одних із них і максимізація в інших).

$$W = \{w_j \mid j = 1, 2, \dots, n\} , \quad (1.3)$$

де W - це набір нормалізованих ваг, що призначаються кожному критерію на основі їх важливості. Математична форма множин, розглянута вище, є простим способом визначення проблеми MCDM, а отримана інформація зазвичай організовується як матрична форма, яка показана в таблиці 1.2.

Матриця MCDM

MCDM Matrix	C_1	C_2	...	C_n
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
...	...	...	x_{ij}	...
A_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}

У цій матриці, X_{ij} представляє значення A_i , пов'язані з C_j , а матриця (M) і вектор ваг $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ є основними вхідними даними для задач MCDM. Насправді MCDM оцінює альтернативи та впорядковує їх від найкращого до гіршого. Основні кроки всіх проблем MCDM показані на рисунку 1.1



Рис. 1.1 Кроки MCDM

Крок 1 - визначити та вибрати категорії оцінювання, крок 2 - визначити важливість кожної категорії, крок 3 - ранжувати ресурси за допомогою відповідного методу MCDM.

Слід зазначити, що для більшої простоти стовпці та рядки в матриці можна змінювати на основі методу MCDM.

1.2 Категорії багатокритеріального прийняття рішень

Існує безліч методів MCDM з різними характеристиками, які можуть бути пов'язані з багатьма аспектами від якості відповідей до типу проблеми, яку ці

методи вирішують. Тому для кращого розуміння методологій MCDM, що допомагає вибрати відповідний метод для проблем, з якими стикаються, важливо визначити класифікацію проблем MCDM. У різноманітних дослідженнях визнаються різні типології та підгрупи, що розглядають різні аспекти проблем. Тут перераховано деякі з основних підгруп, а потім більш детально пояснено найпоширенішу техніку класифікації.

По-перше, важливий метод розглядає тип процедури агрегації, який використовується для оцінки критеріїв, які можна розглядати для визначення класифікації MCDM. У цьому методі, який згадують Зопунідіс і Думпос, методи агрегації такі:

Відношення випередження: коли доступно достатньо аргументів для підтвердження того, що альтернатива така ж хороша, як і інша, використання цього методу та його бінарних відношень допомагає оцінити альтернативи шляхом оцінки їхнього ступеня випередження.

Функції корисності: корисність альтернативи — це ефективність цієї альтернативи з урахуванням усіх критеріїв. Цей метод використовується як індекс, який допомагає прийняти рішення під час сортування альтернатив у попередньо визначені набори.

Дискримінантна функція: хоча вони подібні до функції корисності, ці моделі не можуть бути задіяні як різновид моделі переваги. Ці моделі не працюють на основі порядків уподобань між доменами критеріїв і класами рішень. Крім того, це лінійний метод із кількісними критеріями (в природі або шляхом кількісного визначення якісних).

Безфункціональні моделі: Форма цих моделей символічна. Тобто загальна продуктивність альтернатив аналізується на основі конкретного правила прийняття рішень.

Крім того, в літературі також використовуються такі категорії:

Компенсаційні, некомпенсаційні та частково компенсаційні підходи: на додаток до вищевказаного типу категорії, MCDM можна класифікувати як компенсаційні підходи, некомпенсаційні підходи та частково компенсаційні підходи. Цей підхід

базується на здійсненності негативних критеріїв за ознаками, коли він компенсується позитивними.

Індивідуальне або групове прийняття рішень: простий підхід полягає в розрізненні методів MCDM залежно від того, чи є це індивідуальне чи групове прийняття рішень, яке враховує кількість осіб, які приймають рішення.

Якісна/кількісна або певна/невизначена інформація: Тип інформації, яка є якісною/кількісною або певною/невизначеною, може розглядатися як інший тип класифікації.

Методи, засновані на компромісах і не засновані на компромісах: Крім того, типи методів зважування, які, як правило, є двома типами методів на основі компромісів і не заснованих на компромісах, є ще одним способом розрізнити типи проблем MCDM.

MODM або MADM: в одному з найбільш часто використовуваних методів критерії розглядаються як два типи: (1) атрибути та (2) цілі. Крім того, Хван і Юн розділили проблеми MCDM на дві основні категорії на основі кількості альтернатив. Тому проблеми MCDM класифікуються на дві загальні підкатегорії: багатоатрибутне прийняття рішень (MADM) і багатоцільове прийняття рішень (MODM). Підгрупи також можна назвати незліченними (з нескінченною кількістю допустимих відповідей) і чисельними (з кінцевими допустимими відповідями).

MODM: MODM фокусується на безперервних просторах рішень з нескінченною кількістю альтернатив і також відомий як безперервні проблеми прийняття рішень. Тут можливий регіон (де є альтернативи) розглядається як рішення проблеми прийняття рішення. Це оптимізаційна задача без прямої та конкретної альтернативи, обраної як рішення. У цих типах критерії є цілями, а атрибути неявними. Хоча немає чіткої цілі та варіанту, тут обмеження чіткі, а ті, хто приймає рішення, мають високий рівень взаємодії.

MADM: MADM також відомий як дискретні проблеми та зосереджується на проблемах із явно відомими альтернативними рішеннями зі скінченними числами. Це задача оцінки, яка вибирає рішення з дискретної кількості альтернатив. У цих

типах MCDM цілі, атрибути (які є критеріями) і варіанти чіткі; однак обмеження нечіткі, а рівень взаємодії між особами, які приймають рішення, обмежений.

Різні методи класифікації, розглянуті вище, узагальнено на рисунку 1.2

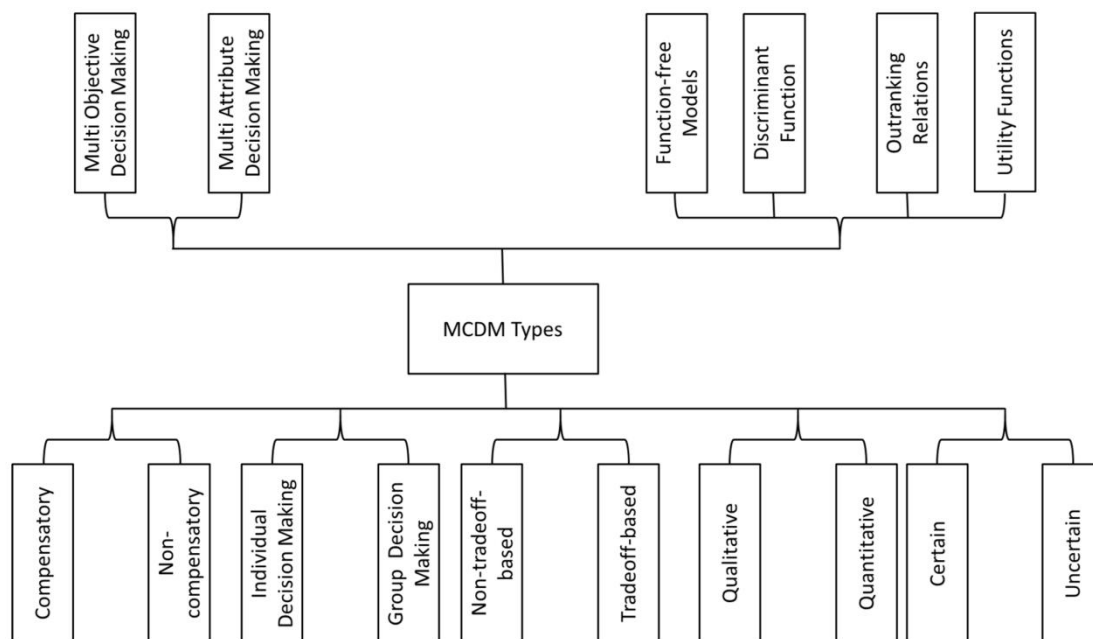


Рис. 1.2 Різні класифікації MCDM.

1.3 Дослідження багатокритеріального прийняття рішень

Кілька авторів у своїх дослідженнях зосередилися на багатокритеріальних методах прийняття рішень. Цей розділ має на меті дослідити кількість статей у цій галузі, щоб оцінити важливість методів MCDM у різних предметних галузях і отримати огляд методів MCDM, які найчастіше цитуються. Тут результати отримані на основі бази даних «ScienceDirect» (між 2012–2022) за допомогою різних ключових слів. По-перше, результати показують, що кількість статей, присвячених цій галузі, становить 10 116 і 7619 на основі використання ключових слів «багатокритеріальне прийняття рішень» і «MCDM» відповідно (проведено 25 квітня 2022 року). Відсоток досліджень щодо MODM і MADM показано на рисунку 1.3, який базується на пошуку ключових слів «MODM», «багатоцільове прийняття рішень», «MADM» і, нарешті, «багатоатрибутне прийняття рішень» у базі даних «ScienceDirect» протягом вибраного періоду часу.

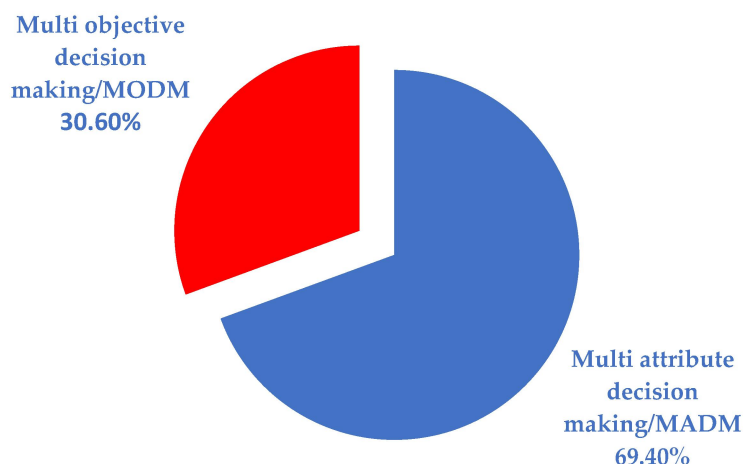


Рис. 1.3 Відсоток статей, присвячених MODM і MADM

Крім того, кількість статей у цій галузі та використання ключових слів «прийняття рішень за багатьма критеріями» показано на рисунку 1.4, що допомагає дослідити зміни кількості результатів у цьому методі протягом періоду часу. На рисунку 1.4 чітко показано збільшення результатів за останні роки, що може підтвердити популярність методів MCDM в останніх дослідженнях. Через багатовимірність цієї кризи та складність соціально-економічних систем і систем охорони здоров'я підходи MCDM набули популярності для моделювання занепокоєння COVID-19 [14]. Слід зазначити, що тактика MCDM безпосередньо пов'язана з вирішенням проблем сталого розвитку. Це підкреслює важливість методів MCDM та їх швидке зростання.

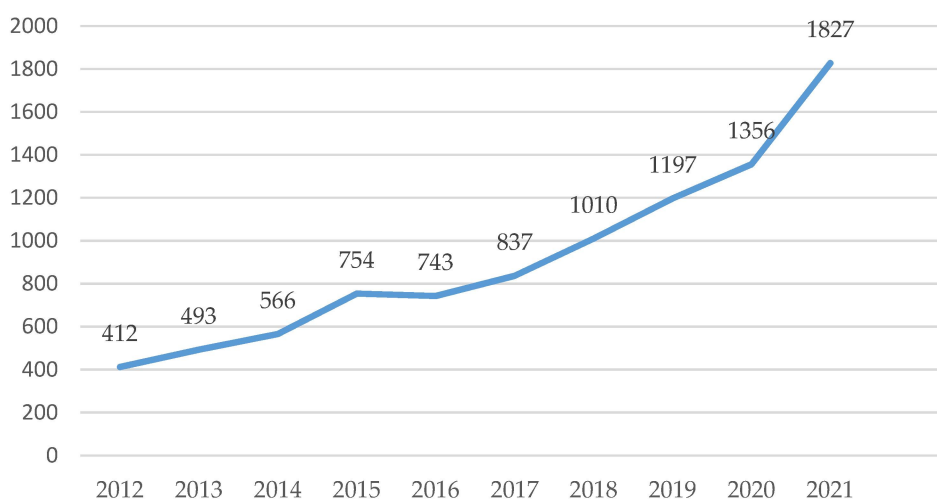


Рис. 1.4 Дослідження MCDM — кількість статей з 2012 по 2021 рік

З іншого боку, як обговорювалося в попередніх розділах, методи MCDM використовуються в різноманітних сферах від енергетики до бізнес-сфери. Для цього на рисунку 1.5 також показано кількість результатів залежно від предметної області досліджень (враховуючи, що деякі статті мають більше ніж одну предметну область). Результат показує, що методи MCDM використовуються в широкому діапазоні галузей досліджень, таких як математика, енергетика, інформатика тощо.

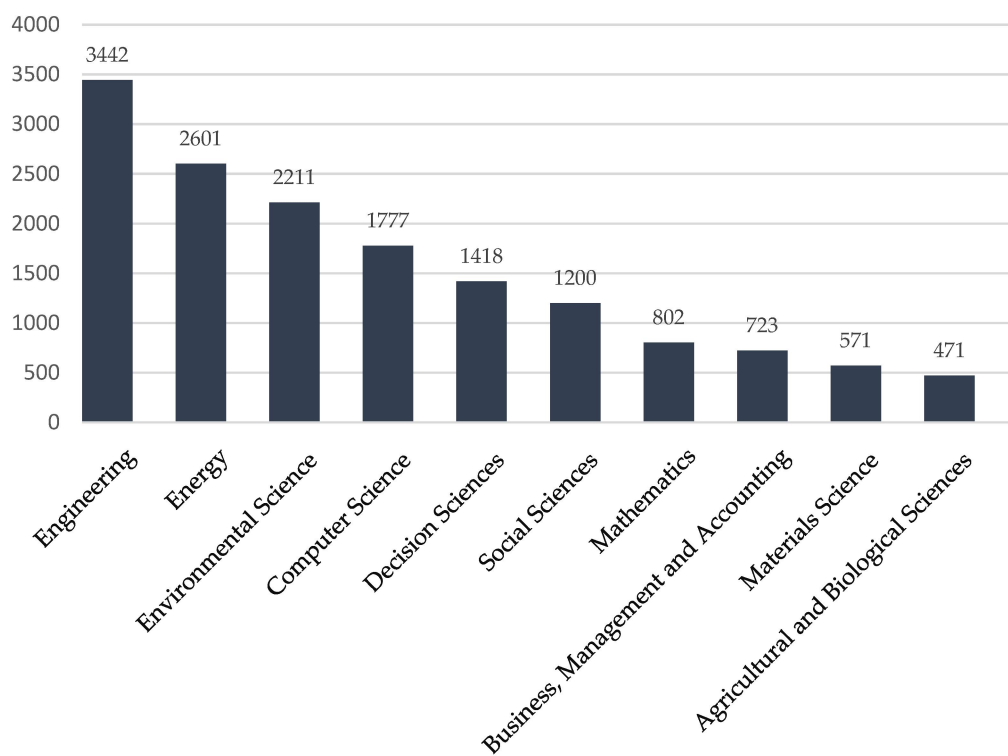


Рис. 1.5 Предметні галузі в дослідженнях MCDM — кількість статей на основі предметної галузі.

Методи MCDM розглядаються як основні методи прийняття рішень, які враховують більше ніж один критерій у процесі прийняття рішень. Цей розділ був спрямований на обговорення важливих концепцій, застосувань і типів методів MCDM. MCDM використовуються в різних сферах і є одним із найпоширеніших методів прийняття рішень. Методи MCDM можна класифікувати з урахуванням різних аспектів. Перераховано деякі з основних класифікацій, а основні методи розглянуто більш детально. В останньому розділі досліджується популярність методів MCDM у різних предметних областях, а деякі з основних методів коротко описані. Виходячи з результатів цього розділу, у різних дослідженнях методи

MADM були зосереджені більше, ніж типи MODM, а метод АНР цитувався більше, ніж інші вибрані методики.

РОЗДІЛ 2: НАЙВІДОМІШІ МЕТОДИ MCDM

2.1 Метод АНР

Аналітичний ієрархічний процес (АНР) був розроблений Т. Сааті і є одним з найвідоміших і найбільш широко використовуваних підходів MCDA. Це дозволяє користувачам оцінити відносну вагу кілька критеріїв або кілька варіантів щодо заданих критеріїв інтуїтивно зрозумілим способом. У разі кількісних оцінок недоступні, розробники політики або оцінювачі все одно можуть визначити, чи є один критерій важливішим за інший. Тому попарні порівняння привабливі для користувачів. Сааті створив послідовний спосіб перетворюючи такі попарні порівняння (x важливіше, ніж y) у набір чисел, що представляють відносний пріоритет кожного з критеріїв.

АНР, як компенсаційний метод, передбачає повне агрегування критеріїв і розробляє лінійну адитивну модель. Ваги та бали досягаються в основному шляхом попарного порівняння між усіма варіантами.

Зауважте, що АНР можна застосовувати лише тоді, коли застосовується аксіома взаємної преференційної незалежності.

Першим кроком є розкладання проблеми прийняття рішення на складові частини. У найпростішому вигляді, ця структура містить мету або фокус на найвищому рівні, критерії (і підкритерії) на проміжних рівнях, тоді як найнижчий рівень містить параметри.

Розташування всіх компонентів в ієрархії забезпечує загальне уявлення про складні зв'язки та допомагає особа, яка приймає рішення, щоб оцінити, чи елементи на кожному рівні мають однакову величину, щоб вони могли бути порівняні точно. Елемент на заданому рівні не обов'язково функціонує як критерій для всіх елементів на рівні нижче. Кожен рівень може представляти різну частину проблеми.

При побудові ієрархій важливо враховувати середовище, що оточує проблему, визначити проблеми або атрибути, які сприяють вирішенню, а також ідентифікувати всіх пов'язаних учасників з проблемою.

Для кожної пари критеріїв особа, яка приймає рішення, повинна відповісти на таке запитання, як «наскільки важливо критерій А відносно критерію В?». Оцінка відносного пріоритету критеріїв здійснюється шляхом присвоєння ваги між 1 (рівна важливість) і 9 (надзвичайна важливість) до більш важливого критерію, тоді як зворотна величина цього значення присвоюється іншому критерію в парі. Потім зважування нормалізують і усереднюють, щоб отримати середню вагу для кожного критерію.

Для кожної пари в межах кожного критерію кращий варіант отримує бал, знову ж таки, за шкалою від 1 (однаково добре) до 9 (абсолютно краще), а іншому варіанту в парі присвоюється оцінка, що дорівнює зворотному цього значення. Кожен бал фіксує, наскільки варіант «х» відповідає критерію «у». Далі рейтинги нормуються та усереднюються.

Порівняння елементів у парах вимагає, щоб вони були однорідними або близькими щодо спільних атрибутів, інакше в процес вимірювання можуть бути внесені значні похибки.

На останньому кроці оцінки варіантів об'єднуються з вагами критеріїв для отримання загальної оцінки для кожного варіанту. Ступінь, до якого варіанти задовольняють критерії, зважується відповідно до відносної важливості критеріїв. Це робиться шляхом простого зваженого підсумовування.

Нарешті, після оцінки впливу всіх елементів і обчислення пріоритетів для ієрархії в цілому, іноді і з обережністю, менш важливі елементи можна опустити для подальшого розгляду їх через відносно незначний вплив на загальну мету. Тоді можна визначити пріоритети, повністю перераховані зі зміною суджень або без них.

Варіант, який не задовольняє одній або декільком вимогам, вважається нездійсненим і буде вилучений з подальшого розгляду. Решта варіантів потім оцінюються на основі того, наскільки добре вони відповідають цілям, які потрібно максимізувати.

АНР може ефективно підтримувати прийняття рішень щодо складних питань сталого розвитку та може допомогти розпізнати та детально визначити проблему.

Він широко використовується для розкладання проблеми рішення на складові частини, які потім будуть структуровані ієрархічно. Крім того, підхід парного порівняння змушує осіб, які приймають рішення, враховувати кожен індивідуальний компроміс у проблемі прийняття рішення, що може бути тривалим завданням.

У результаті метод складає рейтинг варіантів, що полегшує вибір варіанту. Цей метод менш придатний для реалізації і оцінки реалізованих варіантів. АНР здатний порівнювати довгострокові впливи, незалежно від часу вимірювання. Подальші аспекти стійкості такі як зв'язок, адаптивність, зворотність можуть бути включені як критерії для порівняння альтернатив. Також можна включити вплив на ефекти розподілу за різними групами/секторами/регіонами АНР як окремі категорії. АНР може порівнювати впливи незалежно від глобального виміру,

застосованого до просторових даних. Екологічні, економічні та соціальні наслідки можуть бути одночасно охоплені АНР.

Потреби в робочій силі та часі, а також витрати на застосування інструменту важко оцінити та сильно залежать від теми. Те саме стосується потреб у даних та їх доступності. Загалом, для оцінки потрібно багато даних впливу, тоді як необхідна кількість експертних суджень для пояснення результатів є середньою. Якісні та кількісні дані можуть бути включені.

Методологія АНР є чіткою, простою та добре задокументованою. Оскільки підхід вимагає складні розрахунки, відповідне програмне забезпечення підтримує користувачів.

За деяких обставин під час використання АНР або деяких його варіантів можуть виникати нерівності в рейтингу. Аналіз чутливості дозволяє особі, яка приймає рішення, оцінити, як зміняться альтернативні рейтинги за критеріями ваги були змінені.

АНР може підтримувати моделювання ризику різними способами. Зокрема, моделювання відносного, а не абсолютні ймовірності та використання значень з поправкою на ризик можуть надати нові можливості для підтримки прийняття рішень.

Жодна конкретна шкала часу не пов'язана з АНР, і немає обмежень щодо географії покриття.

АНР дуже успішно завоював визнання практиків, можливо, завдяки послужливості ієрархічного представлення проблеми та привабливості попарних порівнянь у виявленні переваг.

Діапазон повідомлених практичних застосувань великий і включає розподіл ресурсів, стратегічне планування та управління проектами та ризиками. Рамантан пропонує саме АНР для вирішення потреби врахування кількох критеріїв і багатьох зацікавлених сторін, таких як наприклад оцінка впливу на навколишнє середовище.

Гомез-Лімон та Атанс використовували техніку АНР, щоб виявити переваги громадян, призначити різні можливі цілі європейської спільної сільськогосподарської політики. Цей методичний підхід реалізовано серед громадян Кастилії і Леона, Іспанія. Але АНР не застосовувався, наприклад, під час дослідження тесту на стійкість.

Що стосується теми дослідження, директиви про біопаливо та премії для енергетичних культур, АНР може використовуватися для декомпозиції та представлення проблеми політики багатокритеріальним способом, а пізніше підтримувати етапи опису та оцінки варіантів політики.

Незважаючи на те, що АНР сам по собі є методологією прийняття рішень, його здатність виявляти точні вимірювання шкали співвідношення та комбінувати їх за кількома критеріями призвела до застосування АНР у поєднанні з багатьма іншими інструментами і методологіями підтримки прийняття рішень. АНР використовувався в поєднанні з лінійним програмуванням, цілочисельним програмуванням, цільовим програмуванням, аналізом огинаючої даних, збалансованими картками показників, генетичними алгоритмами та нейронними мережами.

A'WOT є прикладом комбінації, спеціально розробленої для цілей практичного стратегічного планування. Підхід, у якому SWOT (сильні сторони, слабкі сторони, можливості та загрози) формує загальну структуру, а АНР застосовується в цій

структурі, щоб залучити можливості кількісного аналізу в процес планування, отримав назву A'WOT. Він також був випробуваний у стратегічному плануванні природних ресурсів у державному лісовому господарстві Фінляндії. Оскільки на даний момент були проведені лише попередні випробування, метод буде розвиватися надалі та будуть розроблені нові версії.

АНР також можна використовувати для порівняння впливу альтернативних політик, створених іншими інструментами, такими як інструменти фізичної оцінки, інструменти моделювання та інструменти екологічної оцінки. Його можна застосовувати в поєднанні з аналізом зацікавлених сторін і, нарешті, АНР здатний підтримувати оцінку альтернативних політик/планів/проектів у SIA та SEA.

Сильні та слабкі сторони АНР були предметом суттєвих дебатів серед спеціалістів багатокритеріального аналізу.

Переваги АНР над іншими багатокритеріальними методами полягають у його гнучкості, інтуїтивній привабливості для тих, хто приймає рішення, і його здатності перевіряти невідповідності. Як правило, користувачі знаходять форму попарного порівняння введення даних простою і зручною.

Крім того, метод АНР має явну перевагу в тому, що він розкладає проблему прийняття рішення на її складові частини та створює ієрархії критеріїв. Тут важливість кожного елемента стає зрозумілим.

АНР допомагає фіксувати як суб'єктивні, так і об'єктивні показники оцінки. Забезпечуючи корисний механізм для перевірки узгодженості заходів оцінювання та альтернатив, зменшуючи упередженість у прийнятті рішень.

Метод АНР підтримує групове прийняття рішень через консенсус шляхом обчислення середнього геометричного індивідуальних парних порівнянь.

АНР має унікальну позицію, щоб допомогти моделювати ситуації невизначеності та ризику, оскільки він здатний виводити масштаби там, де вимірювання зазвичай не існує.

Незважаючи на популярність АНР, багато авторів висловлюють стурбованість певними проблемами в методології АНР.

Багато дослідників протягом тривалого часу спостерігали деякі випадки, коли можуть виникнути нерегулярності ранжирування, коли використовується АНР або деякі його варіанти. Ця зміна рангу, ймовірно, відбудеться, наприклад, коли копія або майже копія існуючого варіанту додається до набору альтернатив, які оцінюються. Тріантафілу довів, що зміна рангу неможлива при використанні мультиплікативного варіанту АНР.

За словами Белтона та Гіра, ключовим питанням для зміни рейтингу АНР є інтерпретація ваг критеріїв. Проте АНР та деякі його варіанти багато хто вважає найнадійнішим методом MCDM.

Метод АНР можна розглядати як повний метод агрегування адитивного типу. Проблема такого агрегування полягає в тому, що може виникнути компенсація між хорошими оцінками за одними критеріями та поганими оцінками за іншими критеріями. Детальна та важлива інформація може бути втрачена через таке агрегування.

За допомогою АНР проблема прийняття рішення розкладається на кілька підсистем, усередині яких і між якими необхідно виконати значну кількість парних порівнянь. Цей підхід має той недолік, що кількість попарних порівнянь, які необхідно зробити, може стати дуже великою, отже це стане довготривалим завданням.

Іншим важливим недоліком методу АНР є штучне обмеження використання 9-бальної шкали. Іноді особі, яка приймає рішення, може бути важко розрізнити їх і сказати, наприклад, чи є одна альтернатива в 6 чи 7 разів важливішою за іншу. Крім того, метод АНР не може впоратися з тим фактом, що одна альтернатива може бути, наприклад, у 25 разів важливіша за іншу. У зв'язку з обговоренням обмежень шкали, Хайкович та інші модифікували процедуру у своєму дослідженні, використовуючи 2-бальну шкалу через часові обмеження, накладені на тих, хто приймає рішення. Тож особи, які приймають рішення, лише вказували, чи є критерій більш чи менш важливим або настільки ж важливим для його партнера.

Алгоритм АНР такий:

1. Розбиваємо задачу на три рівні: мета, критерії та альтернативи.
2. Створюємо матрицю попарних порівнянь для критеріїв $C_1, C_2, \dots, C_n$:

$$[A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & 1 \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

де a_{ij} - це порівняння між критерієм C_i та C_j .

3. Знаходимо власні значення та власні вектори матриці попарних порівнянь, що дозволяє отримати ваги критеріїв:

$$[A \cdot \mathbf{w} = \lambda_{\max} \cdot \mathbf{w}], \quad (2.2)$$

де $\lambda_{\max}$ - максимальне власне значення, а $\mathbf{w}$ - власний вектор.

4. Обчислюємо індекс консистентності (CI):

$$[CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}], \quad (2.3)$$

де n - кількість критеріїв.

Потім обчислюємо відношення консистентності (CR):

$$[CR = \frac{CI}{RI}], \quad (2.4)$$

де RI - середнє значення рандомізованого індексу для порівняння матриць.

5. Для кожного критерію також будуємо матрицю попарних порівнянь для альтернатив:

$$[B = \begin{pmatrix} 1 & b_{12} & b_{13} & \cdots & b_{1m} \\ b_{21} & 1 & b_{23} & \cdots & b_{2m} \\ b_{31} & b_{32} & 1 & \cdots & b_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & b_{m3} & \cdots & 1 \end{pmatrix}, \quad (2.5)$$

де b_{ij} - це порівняння альтернатив A_i та A_j для критерію C_k .

6. Як і для критеріїв, обчислюємо власні значення та вектори для матриць попарних порівнянь альтернатив.

7. Застосовуємо ваги критеріїв до ваг альтернатив, щоб обчислити загальну оцінку кожної альтернативи:

$$[S_i = \sum_{k=1}^n w_k \cdot v_{ik}] , \quad (2.6)$$

де w_k - вага критерію C_k , а v_{ik} вага альтернативи A_i за критерієм C_k .

8. Вибираємо альтернативу з найвищою загальною оцінкою S_i як оптимальну альтернативу:

$$[A_{\text{opt}} = \arg \max_i S_i] , \quad (2.7)$$

Таким чином, метод АНР дозволяє системно оцінити альтернативи з урахуванням ваг критеріїв, що забезпечує обґрунтований вибір найкращого варіанту.

2.2 Метод WSM

Метод зваженої суми, відомий також як WSM, є одним із найдавніших, найпростіших і водночас найуживаніших методів багатокритеріального прийняття рішень. Його основна ідея полягає в тому, що кожна альтернатива оцінюється за низкою критеріїв, після чого для кожної альтернативи підсумовується внесок кожного критерію з урахуванням його ваги. Отримане значення дозволяє здійснити ранжування альтернатив — від найбільш до найменш бажаної.

Метод WSM має широку сферу застосування, оскільки його логіка є універсальною. Він може використовуватись у бізнесі, для вибору оптимального постачальника чи партнера, в інженерії — для техніко-економічного порівняння проектів, у фінансах — для оцінювання інвестиційних стратегій, а також у соціальних науках — при виборі політик, заходів чи програм. Простота розрахунків робить цей метод зручним як для ручної реалізації, так і для автоматизації в електронних таблицях або інформаційних системах підтримки прийняття рішень.

Однією з головних переваг методу зваженої суми є його прозорість і зрозумілість. Користувач може легко простежити, як кожен критерій впливає на загальну оцінку, а також як зміна ваг або значень впливає на результати. Це робить WSM дуже привабливим для ситуацій, де важливо мати обґрунтоване і пояснюване рішення. На відміну від складніших моделей, де результат може бути «чорною скринькою» для користувача, у WSM завжди зрозуміло, чому саме та чи інша альтернатива посідає певне місце.

Однак, попри свою простоту, метод WSM має і низку особливостей, які слід враховувати при його застосуванні. Насамперед, він передбачає наявність незалежних, порівнюваних критеріїв. Якщо критерії мають різну природу (наприклад, один відображає вартість, інший — швидкість, третій — якість), їх необхідно привести до спільної шкали. Це зазвичай досягається за допомогою процедури нормалізації — приведення значень до умовного діапазону, наприклад

від 0 до 1. Без цього порівняння буде некоректним, оскільки числові значення можуть не відображати справжньої важливості.

Ще однією важливою умовою застосування WSM є правильне визначення ваг критеріїв. Вага кожного критерію відображає його відносну важливість у прийнятті рішення. Якщо ваги задані неякісно — наприклад, інтуїтивно або без урахування реальних потреб і пріоритетів — це може призвести до необґрунтованих або навіть хибних висновків. Найчастіше ваги встановлюються експертним шляхом, але також можуть використовуватися інші методи: метод аналітичної ієрархії (АНІ), парні порівняння, рангові оцінки або спеціальні опитування.

Одна з ключових особливостей методу зваженої суми — це його компенсаторна природа. Це означає, що низьке значення альтернативи за одним критерієм може бути компенсоване високими значеннями за іншими. З одного боку, це дозволяє збалансувати сильні та слабкі сторони варіантів; з іншого — не завжди відповідає реальним умовам. Наприклад, у медичній сфері низька ефективність препарату не може бути компенсована його низькою вартістю, оскільки ефективність має критичне значення. Тому при використанні WSM важливо усвідомлювати припущення методу щодо допустимості такої компенсації.

Інше обмеження WSM полягає в тому, що він не враховує взаємозалежність між критеріями. Якщо певні критерії є корельованими або дублюють один одного, вони можуть надмірно впливати на результат. Наприклад, якщо два різні критерії оцінюють фактично одну і ту саму властивість (наприклад, «швидкість роботи» і «час відгуку»), то альтернатива, яка має високе значення за цими критеріями, отримає подвійну перевагу, хоча це не є справедливим. У таких випадках доцільно об'єднати критерії або використати інші методи, що дозволяють враховувати такі залежності.

Попри зазначені обмеження, метод зваженої суми залишається надзвичайно корисним на практиці. Він особливо ефективний у ситуаціях, коли необхідно швидко і прозоро здійснити оцінювання, коли обсяг альтернатив невеликий, а критерії добре зрозумілі та незалежні. Крім того, WSM часто використовується як

базовий етап складніших систем прийняття рішень або як інструмент попереднього відбору альтернатив для подальшого детального аналізу іншими методами.

У навчальній практиці метод WSM часто вводять на початкових етапах вивчення багатокритеріального аналізу через його доступність і наочність. Він також є відправною точкою для розуміння інших, більш складних методів, таких як метод аналізу ієрархій, наприклад PROMETHEE, які зберігають ідею зважування критеріїв, але реалізують її з урахуванням додаткових факторів - порогів, переваг, чутливості та інших параметрів.

Підсумовуючи, слід наголосити, що метод зваженої суми є потужним і водночас простим інструментом, який дозволяє ефективно вирішувати задачі вибору, ранжування та оцінювання альтернатив у багатьох галузях. Його ефективність залежить передусім від якісної підготовки вхідних даних, правильного визначення ваг і адекватного нормалізування показників. З дотриманням цих умов WSM може забезпечити надійне й логічно обґрунтоване рішення, зрозуміле як фахівцям, так і користувачам без глибокої технічної підготовки.

Алгоритм WSM такий:

1. Формування матриці рішень.

Спочатку формується матриця рішень, де рядки - це альтернативи, а стовпці - критерії:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad (2.8)$$

2. Нормалізація значень.

Для можливості порівняння значення нормалізують залежно від типу критерію:

якщо критерій виграваний (чим більше - тим краще):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} , \quad (2.9)$$

де r_{ij} - нормалізоване значення критерію j для альтернативи i ;

x_{ij} - початкове значення критерію;

$\max x_{ij}$ - максимальне значення по всіх альтернативах для критерію j ;

якщо критерій витратний (чим менше - тим краще):

$$r_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} , \quad (2.10)$$

де r_{ij} - нормалізоване значення критерію j для альтернативи i ;

x_{ij} - початкове значення критерію;

$\min x_{ij}$ - мінімальне значення по всіх альтернативах для критерію j ;

3. Визначення ваг критеріїв.

Кожному критерію надається вага w_j , яка відображає його значущість. Ваги повинні відповідати умові:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 , \quad (2.11)$$

де w_j - вага критерію j .

4. Обчислення зваженої суми для кожної альтернативи.

Після нормалізації та задання ваг обчислюється інтегральна (підсумкова) оцінка кожної альтернативи за формулою:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij} , \quad (2.12)$$

де S_i - загальна оцінка (індекс корисності) альтернативи A_i ;

w_j - вага критерію C_j ;

r_{ij} - нормалізоване значення критерію j для альтернативи i .

5. Ранжування альтернатив.

На основі значень S_i усі альтернативи ранжуються. Чим вище значення S_i - тим краща альтернатива:

$$S_{i_1} \geq S_{i_2} \geq \dots \geq S_{i_m} ; \quad (2.13)$$

Метод зваженої суми (WSM) — простий і ефективний спосіб вибору найкращої альтернативи за кількома критеріями. Він враховує ваги критеріїв і нормалізує дані для об'єктивного ранжування варіантів. У результаті ми отримуємо зручний числовий показник для прийняття рішення.

2.3 Метод PROMETHEE

PROMETHEE (Метод організації ранжування переваг для збагаченої оцінки) є одним із основних методів, який може допомогти оцінити критерії як якісно, так і кількісно. Цей метод вперше був представлений Брансом у 1982 році, а потім він був розширений Вінке та Брансом у 1985 році. Основні принципи цього методу:

1. Розширення структури, подібне до використання кількох функцій переваги та коефіцієнта домінування альтернативи (з урахуванням кожного критерію).

2. Підтримка прийняття рішень на основі часткового або повного рейтингу.

PROMETHEE — це перспективний метод, який використовує кілька ітерацій для отримання рейтингу серед остаточного альтернативного набору. Процес ранжування (як концепція, так і застосування) є дуже простим порівняно з іншими методами багатокритеріального прийняття рішень, що призводить до того,

що рік за роком зростає кількість осіб, які приймають рішення, використовують цей метод для вирішення своїх складних проблем. Крім того, багато дослідників вивчають у своїх дослідженнях аспекти цього методу.

У цьому методі можна використовувати різні функції переваг на основі характеристик критеріїв, які використовуються для усунення ефекту масштабування критеріїв. Це головна перевага методу PROMETHEE. Функція переваги, а також порогові значення, що використовуються в процесі PROMETHEE, повинні бути обрані на основі точок зору осіб, які приймають рішення, для кожної конкретної проблеми. Сімейство методів PROMETHEE включає кілька технік. По-перше, PROMETHEE I і II були розроблені для часткового та повного ранжування; відповідно. Пізніше були представлені інші версії. Наприклад, PROMETHEE III використовується для інтервального ранжування. PROMETHEE IV використовується, коли особи, які приймають рішення, стикаються з безперервним набором життєздатних рішень як для часткового, так і для повного ранжування, а проблеми, які включають обмеження сегментації, можна вирішити за допомогою методу PROMETHEE V. Іншу версію, відому як PROMETHEE VI, GDSS і GAIA (геометричний аналіз для інтерактивної допомоги), можна використовувати для представлення людського мозку, групового прийняття рішень і графічного представлення; відповідно. GAIA — це візуальний інтерактивний модуль, який можна використовувати, коли проблема прийняття рішення дуже складна. Крім того, останні версії PROMETHEE TRI та CLUSTER призначені для задач сортування та номінальної класифікації; відповідно. Усі ці версії є успішними методами MCDM відповідно до їхньої зручної форми та математичних властивостей.

В останні роки спостерігається помітне збільшення кількості незвичайних криз. Ці явища не тільки перешкоджають розвитку економіки та суспільства, але й становлять значний ризик для стабільності людських засобів до існування. Як наслідок, зважаючи на поточні обставини, важливо зробити наголос на посиленні спроможності організацій з управління надзвичайними ситуаціями та мінімізації негативних наслідків, спричинених стихійними лихами. Оскільки обставини,

пов'язані з прийняттям рішень у надзвичайних ситуаціях, схильні до змін, ризику та невизначеності, необхідно розробити різноманітні стратегії управління надзвичайними ситуаціями, які можна застосовувати до широкого діапазону сценаріїв. Важливим питанням, яке вимагає швидкого вирішення, є визначення з кількох потенційних варіантів того, який спосіб дій забезпечить найкращі результати. Асиметрія та складність проблем прийняття рішень великою групою, а також відмінності в рівнях знань, життєвому досвіді та напрямках досліджень осіб, які приймають рішення, сприяють тому, що особам, які приймають рішення, важко робити точні оцінки варіантів рішень, коли вони перебувають під тиском часу процесу прийняття рішень. Традиційні проблеми прийняття рішень не мають цих характеристик. Методи PROMETHEE мають різноманітні сфери застосування: від управління навколишнім середовищем до бізнесу, фінансів, гідрології та управління водними ресурсами. Бехзадян та ін. запропонували детальний огляд сфер застосування PROMETHEE. Вони класифікували дослідження, які використовували цей метод прийняття рішень, у дев'ять різних підгруп. Вони визнали управління навколишнім середовищем найпопулярнішою сферою застосування серед підкатегорій. Результати цього комплексного огляду літератури щодо областей застосування PROMETHEE підсумовано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Сфери застосування PROMETHEE

No.	Category	Description
1	Environment Management	The articles are about Environmental Impact Assessment (EIA), Life Cycle Assessment (LCA), land-use planning, and waste management.
2	Hydrology and Water Management	The papers are related to the assessment of water management strategies, irrigation planning, and sustainable water resources planning.
3	Business and Financial Management	This category focus on general and portfolio management, measurement of the performance, and analysis of the investment.
4	Chemistry	The topics cover areas related to the samples in the experimental environments, and chemical material evaluation and ranking.
5	Logistics and Transportation	The topics related to transportation, location problems, outsourcing, and suppliers' selection were reviewed in this category.
6	Manufacturing and Assembly	Mainly related to the aspects of manufacturing systems and planning, maintenance programming, and assembly line planning
7	Energy Management	This topic focuses on the studies on the selection and evaluation of the energy generation or alternatives for exploitation
8	Social	The studies related to the social studies that are not considered in the seven previous categories are in this sub-group.
9	Other topics	Other application areas are government, design, sports, medicine, agriculture, and education fields.

Метод PROMETHEE, як і інші методи MCDM, пропонує багато переваг для процесів прийняття рішень, наприклад, за даними літератури головною перевагою цього методу є легкий у використанні та простий процес підвищення рейтингу. Переваги методів PROMETHEE такі:

1. Прості для використання та розуміння.
2. Можуть забезпечити як часткове, так і повне ранжування.
3. Гнучкість завдяки вибору функцій переваги.
4. Добре підходять для інтерактивного прийняття рішень.

Однак є і незначні недоліки:

1. Суб'єктивність у виборі функцій переваги та порогів.
2. Складнощі з обґрунтуванням ваг критеріїв.
3. Обмежена можливість моделювання взаємодій між критеріями.

Але їх можна подолати, використовуючи гібридні та інтегровані моделі на основі PROMETHEE.

Метод PROMETHEE пропонує структурований і прозорий підхід до багатокритеріального прийняття рішень. Завдяки поєднанню простоти, гнучкості та повноти, він є цінним інструментом для організацій, які прагнуть орієнтуватися в складних процесах прийняття рішень. Концепція попарних порівнянь ще більше підвищує її надійність, забезпечуючи детальні оцінки альтернатив.

Алгоритм PROMETHEE такий:

1. Для кожного критерію f_j нормалізуємо значення:

$$f_j^{\text{norm}}(a) = \frac{f_j(a) - \min f_j}{\max f_j - \min f_j} ; \quad (2.14)$$

2. Визначаємо ступінь переваги альтернативи a над альтернативою b для кожного критерію j :

$$\pi_j(a, b) = P_j(f_j(a) - f_j(b)) , \quad (2.15)$$

де P_j - функція переваги для критерію j .

3. Визначаємо загальний ступінь переваги альтернативи a над альтернативою b :

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \pi_j(a, b) , \quad (2.16)$$

де W_j - вага критерію j .

4. Обчислюємо вихідний та вхідний потік переваги альтернатив:

вихідний потік (outgoing flow):

$$\phi^+(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{b \neq a} \pi(a, b) , \quad (2.17)$$

вхідний потік (incoming flow):

$$\phi^-(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{b \neq a} \pi(b, a) , \quad (2.18)$$

де m - кількість альтернатив.

5. Обчислюємо нетто-потік:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) ; \quad (2.19)$$

6. Ранжування альтернатив:

PROMETHEE I використовує як вихідний, так і вхідний потоки для часткового ранжування, що дозволяє виявити непорівнянні альтернативи, тобто коли одна альтернатива краща за іншу по одних критеріях, але гірша по інших.

PROMETHEE II об'єднує обидва потоки в єдиний показник - нетто-потік, що дозволяє чітко впорядкувати всі альтернативи.

РОЗДІЛ 3: ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ MCDM

3.1 Практичне застосування методу АНР

Аналіз смартфона Samsung Galaxy S25 Ultra:

1. Ієрархічна структура.

Мета: обрати найкращий маркетплейс для покупки смартфона Samsung Galaxy S25 Ultra.

Критерії: ціна, репутація продавця, наявність гарантії, швидкість доставки, відгуки покупців.

Альтернативи: Rozetka, Епіцентр, АЛЛО.

2. Матриця попарних порівнянь критеріїв.

На основі експертної оцінки, сформуємо матрицю попарних порівнянь критеріїв:

Таблиця 3.1

Критерії	Ціна	Репутація продавця	Гарантія	Швидкість доставки	Відгуки покупців
Ціна	1	2	3	4	5
Репутація продавця	0.5	1	2	3	4
Гарантія	0.333	0.5	1	2	3
Швидкість доставки	0.25	0.333	0.5	1	2
Відгуки покупців	0.2	0.25	0.333	0.5	1

Після нормалізації та обчислення середніх значень отримаємо ваги критеріїв:

1. Ціна: 0.45.
 2. Репутація продавця: 0.25.
 3. Наявність гарантії: 0.15.
 4. Швидкість доставки: 0.10.
 5. Відгуки покупців: 0.05.
3. Порівняння альтернатив за кожним критерієм:

Критерій: ціна.

Rozetka: 63999 гривень.

Епіцентр: 75999 гривень.

АЛЛО: 63999 гривень.

Найнижча ціна у Rozetka та АЛЛО. Призначаємо ваги:

Rozetka: 0.45.

Епіцентр: 0.10.

АЛЛО: 0.45.

Критерій: репутація продавця.

На основі загальновідомої репутації:

Rozetka: 0.40.

Епіцентр: 0.30.

АЛЛО: 0.30.

Критерій: наявність гарантії.

Всі три маркетплейси надають офіційну гарантію, тому ваги будуть призначені рівні:

Rozetka: 0.33.

Епіцентр: 0.33.

АЛЛО: 0.33.

Критерій: швидкість доставки.

На основі середнього часу доставки:

Rozetka: 0.40.

Епіцентр: 0.30.

АЛЛО: 0.30.

Критерій: відгуки покупців.

На основі кількості та якості відгуків:

Rozetka: 0.50.

Епіцентр: 0.25.

АЛЛО: 0.25.

4. Обчислення загального балу для кожної альтернативи.

Обчислимо зважену суму для кожного маркетплейсу:

$$\text{Rozetka: } (0.45 * 0.45) + (0.25 * 0.40) + (0.15 * 0.33) + (0.10 * 0.40) + (0.05 * 0.50) \\ = 0.2025 + 0.10 + 0.0495 + 0.04 + 0.025 = 0.417.$$

$$\text{Епіцентр: } (0.45 * 0.10) + (0.25 * 0.30) + (0.15 * 0.33) + (0.10 * 0.30) + (0.05 * 0.25) \\ = 0.045 + 0.075 + 0.0495 + 0.03 + 0.0125 = 0.212.$$

$$\text{АЛЛО: } (0.45 * 0.45) + (0.25 * 0.30) + (0.15 * 0.33) + (0.10 * 0.30) + (0.05 * 0.25) \\ = 0.2025 + 0.075 + 0.0495 + 0.03 + 0.0125 = 0.369.$$

5. Результати аналізу.

Найвищий загальний бал має Rozetka (0.417), це свідчить про те, що цей маркетплейс є найкращою альтернативою для покупки смартфонів Samsung Galaxy S25 Ultra за методом АНР.

Аналіз ноутбука Apple MacBook Air 13.6" M4 16/256GB 2025:

1. Ієрархічна структура.

Мета: обрати найкращий маркетплейс для покупки ноутбука Apple MacBook Air 13.6" M4 16/256GB 2025.

Критерії: ціна, репутація продавця, наявність гарантії, швидкість доставки, відгуки покупців.

Альтернативи: Rozetka, Епіцентр, АЛЛО.

2. Матриця попарних порівнянь критеріїв.

Використаємо ті ж ваги критеріїв, що і у попередньому аналізі:

1. Ціна: 0.45.
2. Репутація продавця: 0.25.
3. Наявність гарантії: 0.15.
4. Швидкість доставки: 0.10.
5. Відгуки покупців: 0.05.

3. Порівняння альтернатив за кожним критерієм.

Критерій: ціна.

Rozetka: 54999 гривень.

Епіцентр: 54999 гривень.

АЛЛО: 54999 гривень.

Всі три маркетплейси пропонують однакову ціну. Тому призначаємо рівні ваги:

Rozetka: 0.33.

Епіцентр: 0.33.

АЛЛО: 0.33.

Критерій: репутація продавця.

На основі загальновідомої репутації:

Rozetka: 0.40.

Епіцентр: 0.30.

АЛЛО: 0.30.

Критерій: наявність гарантії.

Всі три маркетплейси надають офіційну гарантію. Тому призначаємо рівні ваги.

Rozetka: 0.33.

Епіцентр: 0.33.

АЛЛО: 0.33.

Критерій: швидкість доставки.

На основі середнього часу доставки:

Rozetka: 0.40.

Епіцентр: 0.30.

АЛЛО: 0.30.

Критерій: відгуки покупців.

На основі кількості та якості відгуків:

Rozetka: 0.50.

Епіцентр: 0.25.

АЛЛО: 0.25.

4. Обчислення загального балу для кожної альтернативи.

Обчислимо зважену суму для кожного маркетплейсу:

Rozetka: $(0.45 * 0.33) + (0.25 * 0.40) + (0.15 * 0.33) + (0.10 * 0.40) + (0.05 * 0.50) = 0.1485 + 0.10 + 0.0495 + 0.04 + 0.025 = 0.363$.

Епіцентр: $(0.45 * 0.33) + (0.25 * 0.30) + (0.15 * 0.33) + (0.10 * 0.30) + (0.05 * 0.25) = 0.1485 + 0.075 + 0.0495 + 0.03 + 0.0125 = 0.3155$.

АЛЛО: $(0.45 * 0.33) + (0.25 * 0.30) + (0.15 * 0.33) + (0.10 * 0.30) + (0.05 * 0.25) = 0.1485 + 0.075 + 0.0495 + 0.03 + 0.0125 = 0.3155$.

5. Результати аналізу.

Найвищий бал отримує Rozetka (0.363) що свідчить про те, що це краща альтернатива для покупки ноутбука Apple MacBook Air 13.6" M4 16/256GB 2025 за методом АНР.

Аналіз телевізору Samsung QE55QN85C:

1. Ієрархічна структура.

Мета: обрати найкращий маркетплейс для покупки телевізора Samsung QE55QN85C.

Критерії: ціна, репутація продавця, наявність гарантії, швидкість доставки, відгуки покупців.

Альтернативи: Rozetka, Епіцентр, АЛЛО.

2. Матриця попарних порівнянь критеріїв.

Використаємо ті ж ваги критеріїв, що і у попередньому аналізі:

1. Ціна: 0.45.
2. Репутація продавця: 0.25.
3. Наявність гарантії: 0.15.
4. Швидкість доставки: 0.10.
5. Відгуки покупців: 0.05.

3. Порівняння альтернатив за кожним критерієм.

Критерій: ціна.

Rozetka: 79999 гривень.

Епіцентр: 76999 гривень.

АЛЛО: 55181 гривня.

Найнижча ціна у АЛЛО. Призначаємо ваги:

Rozetka: 0.2866.

Епіцентр: 0.2979.

АЛЛО: 0.4155.

Критерій: репутація продавця.

На основі загальновідомої репутації:

Rozetka: 0.40.

Епіцентр: 0.30.

АЛЛО: 0.30.

Критерій: наявність гарантії.

Всі три маркетплейси надають офіційну гарантію. Тому призначаємо рівні ваги.

Rozetka: 0.33.

Епіцентр: 0.33.

АЛЛО: 0.33.

Критерій: швидкість доставки.

На основі середнього часу доставки:

Rozetka: 0.40.

Епіцентр: 0.30.

АЛЛО: 0.30.

Критерій: відгуки покупців.

На основі кількості та якості відгуків:

Rozetka: 0.50.

Епіцентр: 0.25.

АЛЛО: 0.25.

4. Обчислення загального балу для кожної альтернативи.

Обчислимо зважену суму для кожного маркетплейсу:

Rozetka: $(0.45 * 0.2866) + (0.25 * 0.40) + (0.15 * 0.33) + (0.10 * 0.40) + (0.05 * 0.50) = 0.12897 + 0.10 + 0.0495 + 0.04 + 0.025 = 0.3435$.

Епіцентр: $(0.45 * 0.2979) + (0.25 * 0.30) + (0.15 * 0.33) + (0.10 * 0.30) + (0.05 * 0.25) = 0.13406 + 0.075 + 0.0495 + 0.03 + 0.0125 = 0.3011$.

АЛЛО: $(0.45 * 0.4155) + (0.25 * 0.30) + (0.15 * 0.33) + (0.10 * 0.30) + (0.05 * 0.25) = 0.18697 + 0.075 + 0.0495 + 0.03 + 0.0125 = 0.3540$.

5. Результати аналізу.

Найвищий загальний бал отримав маркетплейс АЛЛО, тому він є кращою альтернативою для покупки телевізора Samsung QE55QN85C за методом АНР. Основну перевагу маркетплейс отримав завдяки значно нижчій ціні, ніж у конкурентів.

3.2 Практичне застосування методу WSM

Аналіз смартфона Samsung Galaxy S25 Ultra:

1. Ієрархічна структура.

Мета: визначити найкращий маркетплейс для купівлі смартфона Samsung Galaxy S25 Ultra.

Альтернативи: Rozetka, Епіцентр, АЛЛО.

2. Критерії та їх ваги.

1. Ціна: 0.45.
2. Репутація продавця: 0.25.
3. Гарантія: 0.15.
4. Швидкість доставки: 0.10.
5. Відгуки покупців: 0.05.

Значення по альтернативам:

Таблиця 3.2

Альтернатива/критерій	Ціна	Репутація	Гарантія	Доставка	Відгуки
Rozetka	63999	0.9	1.0	0.9	0.9
Епіцентр	75999	0.75	1.0	0.7	0.6
АЛЛО	63999	0.7	1.0	0.7	0.6

3. Нормалізація критеріїв.

Нормалізуємо ціну (оскільки її треба мінімізувати), використаємо формулу 2.10:

Для ціни:

$$\min = 63999$$

$$\text{Rozetka: } 63999 / 63999 = 1.0$$

Епіцентр: $63999 / 75999 = 0.8421$

АЛЛО: $63999 / 63999 = 1.0$

4. Обчислення зважених сум для кожної альтернативи.

Використовуємо формулу 2.12:

Rozetka: $0.45 * 1.0 + 0.25 * 0.9 + 0.15 * 1.0 + 0.10 * 0.9 + 0.05 * 0.9 = 0.96$.

Епіцентр: $0.45 * 0.8421 + 0.25 * 0.75 + 0.15 * 1.0 + 0.10 * 0.7 + 0.05 * 0.6 = 0.8164$.

АЛЛО: $0.45 * 1.0 + 0.25 * 0.7 + 0.15 * 1.0 + 0.10 * 0.7 + 0.05 * 0.6 = 0.875$.

5. Результати аналізу.

Отже, за методом WSM найкращою альтернативою для покупки смартфона Samsung Galaxy S25 Ultra є Rozetka завдяки кращим показникам репутації, гарантії, доставки та відгуків при тій же ціні, що і у АЛЛО.

Аналіз ноутбука Apple MacBook Air 13.6" M4 16/256GB 2025:

1. Ієрархічна структура.

Мета: визначити найкращий маркетплейс для купівлі ноутбука Apple MacBook Air 13.6" M4 16/256GB 2025.

Альтернативи: Rozetka, Епіцентр, АЛЛО.

2. Критерії та їх ваги.

1. Ціна: 0.45.

2. Репутація продавця: 0.25.

3. Гарантія: 0.15.

4. Швидкість доставки: 0.10.

5. Відгуки покупців: 0.05.

Значення по альтернативам:

Таблиця 3.3

Альтернатива/критерій	Ціна	Репутація	Гарантія	Доставка	Відгуки
Rozetka	54999	0.9	1.0	0.9	0.9
Епіцентр	54999	0.75	1.0	0.7	0.6
АЛЛО	54999	0.7	1.0	0.7	0.6

3. Нормалізація критеріїв.

Нормалізуємо ціну (оскільки її треба мінімізувати), використаємо формулу 2.10:

Для ціни:

$$\min = 54999$$

$$\text{Rozetka: } 54999 / 54999 = 1.0.$$

$$\text{Епіцентр: } 54999 / 54999 = 1.0.$$

$$\text{АЛЛО: } 54999 / 54999 = 1.0.$$

4. Обчислення зважених сум для кожної альтернативи.

Використовуємо формулу 2.12:

$$\text{Rozetka: } 0.45 * 1.0 + 0.25 * 0.9 + 0.15 * 1.0 + 0.10 * 0.9 + 0.05 * 0.9 = 0.96.$$

$$\text{Епіцентр: } 0.45 * 1.0 + 0.25 * 0.75 + 0.15 * 1.0 + 0.10 * 0.7 + 0.05 * 0.6 = 0.8875.$$

$$\text{АЛЛО: } 0.45 * 1.0 + 0.25 * 0.7 + 0.15 * 1.0 + 0.10 * 0.7 + 0.05 * 0.6 = 0.875.$$

5. Результати аналізу.

Отже, за методом WSM найкращою альтернативою для покупки ноутбука Apple MacBook Air 13.6" M4 16/256GB 2025 є Rozetka завдяки кращим показникам репутації, гарантії, доставки та відгуків при тому, що ціни на всіх маркетплейсах однакові.

Аналіз телевізора Samsung QE55QN85C:

1. Ієрархічна структура.

Мета: визначити найкращий маркетплейс для купівлі телевізора Samsung QE55QN85C.

Альтернативи: Rozetka, Епіцентр, АЛЛО.

2. Критерії та їх ваги.

1. Ціна: 0.45.

2. Репутація продавця: 0.25.
3. Гарантія: 0.15.
4. Швидкість доставки: 0.10.
5. Відгуки покупців: 0.05.

Значення по альтернативам:

Таблиця 3.4

Альтернатива/критерій	Ціна	Репутація	Гарантія	Доставка	Відгуки
Rozetka	79999	0.9	1.0	0.9	0.9
Епіцентр	76999	0.75	1.0	0.7	0.6
АЛЛО	55181	0.7	1.0	0.7	0.6

3. Нормалізація критеріїв.

Нормалізуємо ціну (оскільки її треба мінімізувати), використаємо формулу 2.10:

Для ціни:

$$\min = 55181$$

$$\text{Rozetka: } 55181 / 79999 = 0.6898.$$

$$\text{Епіцентр: } 55181 / 76999 = 0.7167.$$

$$\text{АЛЛО: } 55181 / 55181 = 1.0$$

4. Обчислення зважених сум для кожної альтернативи.

Використовуємо формулу 2.12:

$$\text{Rozetka: } 0.45 * 0.6898 + 0.25 * 0.9 + 0.15 * 1.0 + 0.10 * 0.9 + 0.05 * 0.9 = 0.8204.$$

$$\text{Епіцентр: } 0.45 * 0.7167 + 0.25 * 0.75 + 0.15 * 1.0 + 0.10 * 0.7 + 0.05 * 0.6 = 0.76.$$

$$\text{АЛЛО: } 0.45 * 1.0 + 0.25 * 0.7 + 0.15 * 1.0 + 0.10 * 0.7 + 0.05 * 0.6 = 0.875.$$

5. Результати аналізу.

Отже, за методом WSM найкращою альтернативою для покупки телевізора Samsung QE55QN85C є АЛЛО. Незважаючи на нижчу репутацію та дещо гірші відгуки, АЛЛО перемагає завдяки значно нижчій ціні.

3.3 Практичне застосування методу PROMETHEE

Аналіз смартфона Samsung Galaxy S25 Ultra:

1. Ієрархічна структура.

Мета: визначити найкращий маркетплейс для купівлі смартфона Samsung Galaxy S25 Ultra.

Альтернативи: Rozetka, Епіцентр, АЛЛО.

2. Критерії та їх ваги.

Таблиця 3.5

Критерій	Позначення	Тип	Вага
Ціна	C1	Мінімізація	0.45
Репутація продавця	C2	Максимізація	0.25
Наявність гарантії	C3	Максимізація	0.15
Швидкість доставки	C4	Максимізація	0.10
Відгуки покупців	C5	Максимізація	0.05

3. Дані по кожному маркетплейсу.

Таблиця 3.6

Критерій/Альтернатива	Rozetka	Епіцентр	АЛЛО
Ціна (€)	63999	75999	63999
Репутація (0-1)	0.9	0.75	0.7
Гарантія (0-1)	1.0	1.0	1.0
Доставка (0-1)	0.9	0.7	0.7
Відгуки (0-1)	0.9	0.6	0.6

4. Побудова переваг.

Використовуємо формулу функції переваги 2.15.

5. Нормалізація переваг.

Крок 1: ціна (мінімізація, $M_k = 12000$ грн).

Таблиця 3.7

Пара	Ціна (Pk)
Rozetka - Епіцентр	$(75999 - 63999) / 12000 = 1.0$
Rozetka - АЛЛО	$(63999 - 63999) / 12000 = 0$
Епіцентр - Rozetka	0
Епіцентр - АЛЛО	$(75999 - 63999) / 12000 = 1.0$
АЛЛО - Rozetka	0
АЛЛО - Епіцентр	$(75999 - 63999) / 12000 = 1.0$

Крок 2: репутація (максимізація, $M_k = 0.2$).

Таблиця 3.8

Пара	Репутація (Pk)
Rozetka - Епіцентр	$(0.9 - 0.75) / 0.2 = 0.75$
Rozetka - АЛЛО	$(0.9 - 0.7) / 0.2 = 1.0$
Епіцентр - Rozetka	0
Епіцентр - АЛЛО	$(0.75 - 0.7) / 0.2 = 0.25$
АЛЛО - Rozetka	0
АЛЛО - Епіцентр	0

Крок 3: гарантія.

В усіх гарантія дорівнює 1.0. Тому $P_k = 0$.

Крок 4: доставка (максимізація, $M_k = 0.2$)

Таблиця 3.9

Пара	Доставка (Pk)
Rozetka - Епіцентр	$(0.9 - 0.7) / 0.2 = 1.0$
Rozetka - АЛЛО	$(0.9 - 0.7) / 0.2 = 1.0$
Епіцентр - Rozetka	0
Епіцентр - АЛЛО	0
АЛЛО - Rozetka	0
АЛЛО - Епіцентр	0

Крок 5: відгуки (максимізація, $M_k = 0.3$)

Таблиця 3.10

Пара	Відгуки (Pk)
Rozetka - Епіцентр	$(0.9 - 0.6) / 0.3 = 1.0$
Rozetka - АЛЛО	$(0.9 - 0.6) / 0.3 = 1.0$
Епіцентр - Rozetka	0
Епіцентр - АЛЛО	0
АЛЛО - Rozetka	0
АЛЛО - Епіцентр	0

6. Зважена сума переваг.

Rozetka - Епіцентр:

Ціна: $0.45 * 1.0 = 0.45$.

Репутація: $0.25 * 0.75 = 0.1875$.

Гарантія: 0.

Доставка: $0.10 * 1.0 = 0.10$.

Відгуки: $0.05 * 1.0 = 0.05$.

Сума: $0.45 + 0.1875 + 0 + 0.10 + 0.05 = 0.7875$.

Rozetka - АЛЛО:

Ціна: 0.

Репутація: $1.0 * 0.25 = 0.25$.

Гарантія: 0.

Доставка: $1.0 * 0.10 = 0.10$.

Відгуки: $1.0 * 0.05 = 0.05$.

Сума: $0 + 0.25 + 0 + 0.10 + 0.05 = 0.40$.

Епіцентр - Rozetka:

Усі критерії гірші або рівні. $P_k = 0$.

Епіцентр - АЛЛО:

Ціна: $0.45 * 1.0 = 0.45$.

Репутація: $0.25 * 0.25 = 0.0625$

Гарантія: 0.

Доставка: 0.

Відгуки: 0.

Сума: $0.45 + 0.0625 = 0.5125$.

АЛЛО - Rozetka:

Усі критерії гірші або рівні. $P_k = 0$.

АЛЛО - Епіцентр:

Ціна: $1.0 * 0.45 = 0.45$.

Репутація: 0.

Гарантія: 0.

Доставка: 0.

Відгуки: 0.

Сума: 0.45.

7. Позитивні та негативні потоки (Φ^+ , Φ^-)

Таблиця 3.11

Альтернатива/Потоки	Φ^+ (середня перевага над іншими)	Φ^- (середня перевага інших над нею)	$\Phi = \Phi^+ - \Phi^-$
Rozetka	$(0.7875 + 0.4) / 2 = 0.59375$	$(0 + 0) / 2 = 0$	0.59375
Епіцентр	$(0 + 0.5125) / 2 = 0.25625$	$(0.7875 + 0.45) / 2 = 0.61875$	-0.3625
АЛЛО	$(0 + 0.45) / 2 = 0.225$	$(0.4 + 0.5125) / 2 = 0.45625$	-0.23125

8. Результати аналізу.

Найвищий чистий потік (Φ) має Rozetka (0.59375), що робить її найкращою альтернативою для покупки смартфона Samsung Galaxy S25 Ultra, за методом PROMETHEE.

Аналіз ноутбука Apple MacBook Air 13.6" M4 16/256GB 2025:

1. Ієрархічна структура.

Мета: визначити найкращий маркетплейс для купівлі смартфона Samsung Galaxy S25 Ultra.

Альтернативи: Rozetka, Епіцентр, АЛЛО.

2. Критерії та їх ваги.

Таблиця 3.12

Критерій	Позначення	Тип	Вага
Ціна	C1	Мінімізація	0.45
Репутація продавця	C2	Максимізація	0.25
Наявність гарантії	C3	Максимізація	0.15
Швидкість доставки	C4	Максимізація	0.10
Відгуки покупців	C5	Максимізація	0.05

3. Дані по кожному маркетплейсу.

Таблиця 3.13

Критерій/Альтернатива	Rozetka	Епіцентр	АЛЛО
Ціна (€)	54999	54999	54999
Репутація (0-1)	0.9	0.75	0.7
Гарантія (0-1)	1.0	1.0	1.0
Доставка (0-1)	0.9	0.7	0.7
Відгуки (0-1)	0.9	0.6	0.6

4. Побудова переваг.

Використовуємо формулу функції переваги 2.15.

5. Нормалізація переваг.

Крок 1: ціна.

На всіх маркетплейсах ціна однакова - 54999 грн. $P_k = 0$.

Крок 2: репутація (максимізація, $M_k = 0.2$).

Таблиця 3.14

Пара	Репутація (P_k)
Rozetka - Епіцентр	$(0.9 - 0.75) / 0.2 = 0.75$
Rozetka - АЛЛО	$(0.9 - 0.7) / 0.2 = 1.0$
Епіцентр - Rozetka	0
Епіцентр - АЛЛО	$(0.75 - 0.7) / 0.2 = 0.25$
АЛЛО - Rozetka	0
АЛЛО - Епіцентр	0

Крок 3: гарантія.

В усіх гарантія дорівнює 1.0. Тому $P_k = 0$.

Крок 4: доставка (максимізація, $M_k = 0.2$)

Таблиця 3.15

Пара	Доставка (P_k)
Rozetka - Епіцентр	$(0.9 - 0.6) / 0.3 = 1.0$
Rozetka - АЛЛО	$(0.9 - 0.6) / 0.3 = 1.0$
Епіцентр - Rozetka	0
Епіцентр - АЛЛО	0
АЛЛО - Rozetka	0
АЛЛО - Епіцентр	0

Крок 5: відгуки (максимізація, $M_k = 0.3$)

Таблиця 3.16

Пара	Відгуки (P_k)
Rozetka - Епіцентр	$(0.9 - 0.6) / 0.3 = 1.0$
Rozetka - АЛЛО	$(0.9 - 0.6) / 0.3 = 1.0$
Епіцентр - Rozetka	0
Епіцентр - АЛЛО	0
АЛЛО - Rozetka	0
АЛЛО - Епіцентр	0

6. Зважена сума переваг.

Rozetka - Епіцентр:

Ціна: 0.

Репутація: $0.25 * 0.75 = 0.1875$.

Гарантія: 0.

Доставка: $0.10 * 1.0 = 0.10$.

Відгуки: $0.05 * 1.0 = 0.05$.

Сума: $0.1875 + 0 + 0.10 + 0.05 = 0.3375$.

Rozetka - АЛЛО:

Ціна: 0.

Репутація: $1.0 * 0.25 = 0.25$.

Гарантія: 0.

Доставка: $1.0 * 0.10 = 0.10$.

Відгуки: $1.0 * 0.05 = 0.05$.

Сума: $0 + 0.25 + 0 + 0.10 + 0.05 = 0.40$.

Епіцентр - Rozetka:

Усі критерії гірші або рівні. $P_k = 0$.

Епіцентр - АЛЛО:

Ціна: 0.

Репутація: $0.25 * 0.25 = 0.0625$.

Гарантія: 0.

Доставка: 0.

Відгуки: 0.

Сума: 0.0625.

АЛЛО - Rozetka:

Усі критерії гірші або рівні. $P_k = 0$.

АЛЛО - Епіцентр:

Усі критерії гірші або рівні. $P_k = 0$.

7. Позитивні та негативні потоки (Φ^+ , Φ^-)

Таблиця 3.17

Альтернатива/Потоки	Φ^+ (середня перевага над іншими)	Φ^- (середня перевага інших над нею)	$\Phi = \Phi^+ - \Phi^-$
Rozetka	$(0.3375 + 0.4) / 2 = 0.36875$	$(0 + 0) / 2 = 0$	0.36875
Епіцентр	$(0 + 0.0625) / 2 = 0.03125$	$(0.3375 + 0) / 2 = 0.16875$	-0.1375
АЛЛО	$(0 + 0) / 2 = 0$	$(0.4 + 0.0625) / 2 = 0.23125$	-0.23125

8. Результати аналізу.

Найвищий чистий потік (Φ) має Rozetka (0.36875), що робить її найкращою альтернативою для покупки ноутбуку Apple MacBook Air 13.6" M4 16/256GB 2025, за методом PROMETHEE.

Аналіз телевізора Samsung QE55QN85C:

1. Ієрархічна структура.

Мета: визначити найкращий маркетплейс для покупки телевізора Samsung QE55QN85C.

Альтернативи: Rozetka, Епіцентр, АЛЛО.

2. Критерії та їх ваги.

Таблиця 3.18

Критерій	Позначення	Тип	Вага
Ціна	C1	Мінімізація	0.45
Репутація продавця	C2	Максимізація	0.25
Наявність гарантії	C3	Максимізація	0.15
Швидкість доставки	C4	Максимізація	0.10
Відгуки покупців	C5	Максимізація	0.05

3. Дані по кожному маркетплейсу.

Таблиця 3.19

Критерій/Альтернатива	Rozetka	Епіцентр	АЛЛО
Ціна (€)	79999	76999	55181
Репутація (0-1)	0.9	0.75	0.7
Гарантія (0-1)	1.0	1.0	1.0
Доставка (0-1)	0.9	0.7	0.7
Відгуки (0-1)	0.9	0.6	0.6

4. Побудова переваг.

Використовуємо формулу функції переваги 2.15.

5. Нормалізація переваг.

Крок 1: ціна (мінімізація, $M_k = 24818$).

Таблиця 3.20

Пара	Ціна (P_k)
Rozetka - Епіцентр	$(76999 - 79999) / 24818 = 0$ (від'ємне значення = 0)
Rozetka - АЛЛО	$(55181 - 79999) / 24818 = 0$ (від'ємне значення = 0)
Епіцентр - Rozetka	$(79999 - 76999) / 24818 = 0.121$
Епіцентр - АЛЛО	$(55181 - 76999) / 24818 = 0$ (від'ємне значення = 0)
АЛЛО - Rozetka	$(79999 - 55181) / 24818 = 1.0$
АЛЛО - Епіцентр	$(76999 - 55181) / 24818 = 0.88$

Крок 2: репутація (максимізація, $M_k = 0.2$).

Таблиця 3.21

Пара	Репутація (P_k)
Rozetka - Епіцентр	$(0.9 - 0.75) / 0.2 = 0.75$
Rozetka - АЛЛО	$(0.9 - 0.7) / 0.2 = 1.0$
Епіцентр - Rozetka	0
Епіцентр - АЛЛО	$(0.75 - 0.7) / 0.2 = 0.25$
АЛЛО - Rozetka	0
АЛЛО - Епіцентр	0

Крок 3: гарантія.

В усіх гарантія дорівнює 1.0. Тому $P_k = 0$.

Крок 4: доставка (максимізація, $M_k = 0.2$)

Таблиця 3.22

Пара	Доставка (P_k)
Rozetka - Епіцентр	$(0.9 - 0.6) / 0.3 = 1.0$
Rozetka - АЛЛО	$(0.9 - 0.6) / 0.3 = 1.0$
Епіцентр - Rozetka	0
Епіцентр - АЛЛО	0
АЛЛО - Rozetka	0
АЛЛО - Епіцентр	0

Крок 5: відгуки (максимізація, $M_k = 0.3$)

Таблиця 3.23

Пара	Відгуки (P_k)
Rozetka - Епіцентр	$(0.9 - 0.6) / 0.3 = 1.0$
Rozetka - АЛЛО	$(0.9 - 0.6) / 0.3 = 1.0$
Епіцентр - Rozetka	0
Епіцентр - АЛЛО	0
АЛЛО - Rozetka	0
АЛЛО - Епіцентр	0

6. Зважена сума переваг.

Rozetka - Епіцентр:

Ціна: 0.

Репутація: $0.25 * 0.75 = 0.1875$.

Гарантія: 0.

Доставка: $0.10 * 1.0 = 0.10$.

Відгуки: $0.05 * 1.0 = 0.05$.

Сума: $0.1875 + 0 + 0.10 + 0.05 = 0.3375$.

Rozetka - АЛЛО:

Ціна: 0.

Репутація: $1.0 * 0.25 = 0.25$.

Гарантія: 0.

Доставка: $1.0 * 0.10 = 0.10$.

Відгуки: $1.0 * 0.05 = 0.05$.

Сума: $0 + 0.25 + 0 + 0.10 + 0.05 = 0.40$.

Епіцентр - Rozetka:

Ціна: $0.45 * 0.121 = 0.05445$.

Репутація: $1.0 * 0.25 = 0.25$.

Гарантія: 0.

Доставка: $1.0 * 0.10 = 0.10$.

Відгуки: $1.0 * 0.05 = 0.05$.

Сума: 0.05445.

Епіцентр - АЛЛО:

Ціна: 0.

Репутація: $0.25 * 0.25 = 0.0625$.

Гарантія: 0.

Доставка: 0.

Відгуки: 0.

Сума: 0.0625.

АЛЛО - Rozetka:

Ціна: $0.45 * 1.0 = 0.45$

Репутація: 0.

Гарантія: 0.

Доставка: 0.

Відгуки: 0.

Сума: 0.45.

АЛЛО - Епіцентр:

Ціна: $0.45 * 0.88 = 0.396$

Репутація: 0.

Гарантія: 0.

Доставка: 0.

Відгуки: 0.

Сума: 0.396.

7. Позитивні та негативні потоки (Φ^+ , Φ^-)

Таблиця 3.24

Альтернатива/Потоки	Φ^+ (середня перевага над іншими)	Φ^- (середня перевага інших над нею)	$\Phi = \Phi^+ - \Phi^-$
Rozetka	$(0.3375 + 0.4) / 2 = 0.36875$	$(0.05445 + 0.45) / 2 = 0.252225$	0.116525
Епіцентр	$(0.05445 + 0.0625) / 2 = 0.058475$	$(0.3375 + 0.396) / 2 = 0.36675$	-0.308275
АЛЛО	$(0.45 + 0.396) / 2 = 0.423$	$(0.4 + 0.0625) / 2 = 0.23125$	0.19175

8. Результати аналізу.

Найвищий чистий потік (Φ) має АЛЛО (0.36875), хоча АЛЛО поступався іншим альтернативам в багатьох критеріях, значно нижча ціна зробила її найкращою альтернативою для покупки телевізора Samsung QE55QN85C, за методом PROMETHEE.

ВИСНОВКИ

Багатокритеріальний аналіз рішень (MCDA/MCDM) є потужним інструментом для прийняття складних рішень, які включають вибір або ранжування альтернатив на основі кількох критеріїв одночасно. Його застосування охоплює численні сфери життя: від бізнесу, державного управління, охорони здоров'я до особистих рішень, таких як вибір автомобіля чи житла. Головною перевагою MCDA є формалізація процесу прийняття рішень, що дозволяє враховувати вагу критеріїв, компроміси між ними та забезпечувати більш прозоре й обґрунтоване обрання варіантів.

MCDA базується на чотирьох ключових компонентах: альтернативи, критерії оцінки, ваги критеріїв і особи, які приймають рішення. Завдяки цьому метод забезпечує систематичний, ітеративний та інклюзивний підхід, що допомагає залучати зацікавлені сторони та підвищує якість прийнятих рішень.

Таким чином, багатокритеріальний аналіз рішень є незамінним засобом для розв'язання складних проблем у сучасному світі, що потребують узгодження численних та часто суперечливих факторів для вибору оптимальної альтернативи.

У рамках дослідження проведено комплексний аналіз вибору маркетплейсу для купівлі трьох товарів — смартфону Samsung Galaxy S25 Ultra, ноутбука Apple MacBook Air 13.6" M4 16/256GB 2025 та телевізора Samsung QE55QN85C - за допомогою трьох методів багатокритеріального прийняття рішень: АНР, WSM та PROMETHEE.

Метод АНР забезпечив чітку ієрархічну структуру критеріїв і визначення їх ваг, що дозволило ранжувати маркетплейси з урахуванням суб'єктивних оцінок і взаємозв'язків між критеріями.

Метод WSM, базований на простому зваженому підсумовуванні нормалізованих оцінок, підтвердив загальні тенденції вибору найкращих альтернатив і забезпечив швидкий та прозорий спосіб ранжування.

Метод PROMETHEE, що відноситься до сімейства методів порядкового ранжування, додатково врахував ступінь переваги однієї альтернативи над іншою за кожним критерієм. Це дозволило отримати більш диференційовану і

деталізовану оцінку маркетплейсів з урахуванням впливу критеріїв із різними напрямками (максимізація чи мінімізація) та їх вагами. Результати PROMETHEE продемонстрували найбільш комплексний підхід, виявивши найбільш привабливі маркетплейси з урахуванням як якісних, так і кількісних показників.

Загалом, всі три методи показали високу узгодженість у виборі кращих маркетплейсів - Rozetka виявилася найкращою для смартфона та ноутбука, а АЛЛО - для телевізора. Використання PROMETHEE дало змогу глибше проаналізувати переваги і недоліки альтернатив, що є особливо корисним у складних ситуаціях багатокритеріального вибору.

Таким чином, застосування комбінації методів АНР, WSM і PROMETHEE забезпечує більш обґрунтований і комплексний підхід до прийняття рішень у сфері електронної комерції, що може бути корисним як для споживачів, так і для менеджерів маркетплейсів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. R.B. Roodman, "Multiple Criteria Decision Making: Methods and Applications", Springer, (2019).
2. Saaty, T.L. (1980), "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill.
3. Habenicht, W.; Scheubrein, B.; Scheubrein, R. Multiple-criteria Decision Making. *Optim. Oper. Res.* 2002, 4, 257–279.
4. Zopounidis, C.; Doumpos, M. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. *Eur. J. Oper. Res.* 2002, 138, 229–246.
5. Aruldoss, M.; Lakshmi, M.T.; Venkatesan, V.P. A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *Am. J. Inf. Syst.* 2013, 1, 31–43.
6. Velasquez, M.; Hester, P.T. An analysis of multi-criteria decision making methods. *Int. J. Oper.* 2013, 10, 56–66.
7. Ju-Long, D. Control problems of grey systems. *Syst. Control Lett.* 1982, 1, 288–294.
8. Hwang, C.-L.; Yoon, K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications—A State-of-the-Art Survey; Springer: New York, NY, USA, 1981.
9. Shahsavarani, A.M.; Azad Marz Abadi, E. The Bases, Principles, and Methods of Decision-Making: A review of literature. *IJMR* 2015, 2, 214–225.
10. Hajduk, S. Multi-Criteria Analysis in the Decision-Making Approach for the Linear Ordering of Urban Transport Based on TOPSIS Technique. *Energies* 2021.
11. Belton, V., Stewart, T.J., 2001: Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach.
12. Gomez-Limon, J., Atance, I. 2004 : Identification of public objectives related to agricultural sector support.
13. Kepner, C.H., and Tregoe, B.B., 1965: The rational manager: a systematic approach to problem solving and decision making. McGraw Hill: New York.
14. Turney, P.D. and Littman, M.L. (2003) 'Measuring praise and criticism', *ACM Trans. Inf. Syst.*, Vol. 21, No. 4, pp.315–346.

15. Vinodhini, G. and Chandrasekaran, R. (2012) 'Sentiment analysis and opinion mining: a survey', *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, Vol. 2, No. 6, pp.282–292.
16. Millet, I., Wedley, W.C., 2002: Modelling Risk and Uncertainty with the Analytic Hierarchy Process. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*.
17. Ramanathan, R., 2001: A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. *Journal of Environmental Management*.
18. Kangas, J., Kangas, A., Leskinen, P., Pykäläinen, J., 2001: MCDM Methods in Strategic Planning of Forestry on state-owned lands in Finland: Applications and Experiences. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 10: 257–271.
19. Awasthi, A.; Chauhan, S.S.; Goyal, S.K. A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. *International Journal of Production Economics* 2010.
20. Greco S, Figueira J, Ehrgott M (2016) *Multiple criteria decision analysis* v. 37.
21. Roy B (1996) *Multicriteria methodology for decision aiding* v. 12.
22. Taherdoost H, Madanchian M (2023) Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia* 3(1): 77-87.
23. Wang J, Li S, Zhou X (2023) A Novel GDMD-PROMETHEE Algorithm Based on the Maximizing Deviation Method and Social Media Data Mining for Large Group Decision Making. *Symmetry* 15(2): 387.
24. Brans JP (1982) *Decision engineering: the development of decision support tools*: Laval University, Faculty of Administrative Sciences, Canada.
25. Macharis C, Springael J, De Brucker K, Verbeke A (2004) PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European journal of operational research* 153(2): 307-317.