

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

І.С. Творошенко

ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

РЕКОМЕНДОВАНО

Вченою радою університету.

Протокол № 9/7 від 30.10.2020

Харків 2021

УДК 004.91

Творошенко І.С. Технології прийняття рішень в інформаційних системах: навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 120 с.

ISBN 978-966-659-294-4

DOI: 10.30837/978-966-659-294-4

У навчальному посібнику викладено основні технології прийняття рішень в інформаційних системах та надано приклади їх практичного застосування. Детально описано основні визначення і поняття процесу прийняття рішень, методологічні основи технологій прийняття рішень, технології оцінювання та аналізу багатокритеріальних альтернатив, технології прийняття колективних рішень у малих та великих групах. Проаналізовано сучасний стан розвитку технологій прийняття рішень в інформаційних системах.

Рекомендовано для здобувачів першого та другого рівнів вищої освіти усіх форм навчання за спеціальністю «Комп'ютерні науки», а також для дослідників, які працюють у галузі «Інформаційні технології».

Рецензенти:

І.В. Гребеннік, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки;

О.А. Винокурова, д-р техн. наук, проф., головний науковий співробітник проблемної науково-дослідної лабораторії Харківського національного університету радіоелектроніки.

ISBN 978-966-659-294-4

DOI: 10.30837/978-966-659-294-4

© І.С. Творошенко, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.....	8
1.1 Основні визначення і поняття процесу прийняття рішень.....	8
1.2 Ролі людей у процесі прийняття рішень.....	8
1.3 Етапи процесу прийняття рішень.....	11
1.4 Типи альтернатив у задачах прийняття рішень.....	12
1.5 Типи критеріїв у задачах прийняття рішень.....	13
1.6 Шкали оцінок за критеріями у задачах прийняття рішень.....	14
1.6.1 Шкала найменувань.....	15
1.6.2 Шкала порядку (рангова шкала).....	15
1.6.3 Шкала інтервалів (рівних інтервалів).....	16
1.6.4 Шкала відношень (пропорціональних оцінок).....	16
1.6.5 Абсолютна шкала.....	16
1.6.6 Психометрична шкала Томаса Сааті (шкала експертного оцінювання пріоритетів або переваг).....	17
1.7 Формальна модель задачі прийняття рішення.....	17
1.8 Множина Еджворта-Парето.....	18
1.9 Типові задачі прийняття рішень.....	19
1.10 Приклади технології інформаційної підготовки до прийняття рішень.....	20
1.11 Завдання для самостійного опрацювання розділу 1.....	28
1.12 Теоретичні завдання до розділу 1.....	30
2 ВИДИ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.....	31
2.1 Процес прийняття рішень.....	31
2.2 Моделі прийняття рішень.....	31
2.2.1 Нормативна (класична) модель.....	32
2.2.2 Дескриптивна (описова) модель.....	32
2.2.3 Політична модель прийняття рішень (модель Карнегі).....	34
2.2.4 Модель інкрементального процесу прийняття рішень.....	34
2.2.5 Модель «сміттєвого ящика».....	34
2.3 Роль нечітких множин у прийнятті рішень.....	35
2.4 Методи прийняття рішень в умовах багатокритеріальності.....	36
2.5 Модель прийняття рішень в умовах багатокритеріальності.....	38

2.6	Технологія упорядкування багатокритеріальних альтернатив.....	41
2.7	Приклад технології впорядкування багатокритеріальних альтернатив.....	42
2.8	Завдання для самостійного опрацювання розділу 2.....	45
2.9	Теоретичні завдання до розділу 2.....	46
3	ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.....	47
3.1	Прийняття рішень в управлінських інформаційних системах.....	47
3.2	Класифікація управлінських рішень і вимоги до їх прийняття.....	49
3.3	Групи задач прийняття управлінських рішень.....	51
3.4	Технологія прийняття управлінських рішень.....	53
3.5	Приклад технології порядкової класифікації альтернатив.....	53
3.6	Приклад технології вибору найкращої альтернативи.....	59
3.7	Завдання для самостійного опрацювання матеріалу розділу 3.....	62
3.8	Теоретичні запитання до розділу 3.....	64
4	ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ АЛЬТЕРНАТИВ.....	65
4.1	Типи задач прийняття рішень при багатьох критеріях.....	65
4.2	Технології оцінювання ступеню корисного ефекту багатокритеріальних альтернатив.....	66
4.3	Технології побудови функції корисності багатокритеріальних альтернатив.....	69
4.4	Технологія аналізу ієрархій у задачах прийняття рішень.....	70
4.5	Технологія аналітично-ієрархічного прийняття та обґрунтування рішень.....	73
4.6	Приклад технології аналітично-ієрархічного прийняття та обґрунтування рішень.....	77
4.7	Завдання для самостійного опрацювання матеріалу розділу 4.....	79
4.8	Теоретичні запитання до розділу 4.....	79
5	ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ КОЛЕКТИВНИХ РІШЕНЬ У МАЛИХ ТА ВЕЛИКИХ ГРУПАХ.....	80
5.1	Процедури прийняття колективних рішень.....	80
5.2	Технології прийняття колективних рішень у малих та великих групах.....	82
5.2.1	Правило відносної більшості.....	82
5.2.2	Правило абсолютної більшості.....	82
5.2.3	Правило Борда.....	82

5.2.4 Правило Кондорсе.....	83
5.2.5 Правило Копленда.....	83
5.2.6 Правило Сімпсона.....	83
5.3 Парадокси колективних голосувань.....	84
5.4 Функція колективної переваги.....	84
5.5 Теорема Ерроу (парадокс Ерроу, теорема про неможливість).....	85
5.6 Прийняття колективних рішень у малих групах.....	86
5.7 Приклад технологій прийняття колективних рішень.....	87
5.8 Завдання для самостійного опрацювання матеріалу розділу 5.....	88
5.9 Теоретичні запитання до розділу 5.....	89
6 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИЙНЯТТЯ	
РІШЕНЬ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ.....	90
6.1 Системи підтримки прийняття рішень.....	90
6.2 Методологія побудови інтелектуальних систем прийняття рішень.....	92
6.3 Системна парадигма як підґрунтя прийняття рішень.....	94
6.4 Сучасний стан вирішення проблем та прийняття рішень.....	97
6.5 Сучасний стан розвитку технологій прийняття рішень.....	107
6.6 Нечітка багатокритеріальна ієрархічна модель прийняття рішень.....	108
6.7 Використання генетичних алгоритмів та штучних нейронних мереж у прийнятті рішень.....	109
6.8 Геоінформаційні системи прийняття управлінських рішень.....	111
6.9 Приклад геоінформаційної підготовки до прийняття рішень.....	115
6.10 Теоретичні запитання до розділу 6.....	116
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	117

ВСТУП

Розвиток інформаційних технологій дозволив створити інформаційні системи – складні програмні продукти, які реалізують інформаційні технології, призначені для комп’ютерного моделювання різноманітних процесів з метою вирішення широкого кола задач.

Технології прийняття рішень в інформаційних системах мають широкі можливості інтеграції і сумісного аналізу різнорідних даних та є незамінним інструментом для вирішення задач управління.

Інформаційні системи та технології прийняття рішень застосовуються під час автоматизації обробки інформації про об’єкти будь-якого походження.

Навчальний посібник «Технології прийняття рішень в інформаційних системах» рекомендовано для здобувачів першого та другого рівнів вищої освіти усіх форм навчання за спеціальністю «Комп’ютерні науки».

Метою навчального посібника є сформулювати у студентів комплекс теоретичних знань та методологічних основ в області технологій прийняття рішень, а також практичних навичок щодо їх застосування в інформаційних системах.

Завданням навчального посібника є надати технології прийняття рішень на основі прикладного штучного інтелекту та сформувати навички використання сучасних інформаційних технологій і програмних засобів для вирішення проблемних ситуацій.

У результаті детального опрацювання навчального посібника здобувач отримає компетентності пов’язані із здатністю:

- до логічного мислення, побудови логічних висновків, використання формальних мов і моделей алгоритмічних обчислень, проєктування, розроблення й аналізу алгоритмів, оцінювання їх ефективності та складності, розв’язності та нерозв’язності алгоритмічних проблем для адекватного моделювання предметних областей і створення програмних та інформаційних систем;

- здійснювати формалізований опис задач дослідження операцій в організаційно-технічних і соціально-економічних системах різного призначення, визначати їх оптимальні рішення, будувати моделі оптимального вибору управління з урахуванням змін параметрів економічної ситуації, оптимізувати процеси управління в системах різного призначення та рівня ієрархії;

– розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у галузі комп’ютерних наук або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів інформаційних технологій і характеризується комплексністю та невизначеністю умов;

– до системного мислення, застосування методології системного аналізу для дослідження складних проблем різної природи, методів формалізації та розв’язування системних задач, що мають суперечливі цілі, невизначеності та ризики;

– застосовувати теоретичні та практичні основи методології та технології моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об’єктів і систем, проводити обчислювальні експерименти з обробкою й аналізом результатів;

– застосовувати методології, технології та інструментальні засоби для управління процесами життєвого циклу інформаційних і програмних систем, продуктів і сервісів інформаційних технологій відповідно до вимог замовника;

– до інтелектуального аналізу даних на основі методів обчислювального інтелекту включно з великими та погано структурованими даними, їхньої оперативної обробки та візуалізації результатів аналізу в процесі розв’язування прикладних задач.

Здобувачі повинні продемонструвати знання щодо основних положень сучасних теорій прийняття рішень, методів і шкал вимірювання значень критеріїв вибору рішень, багатокритеріальних методів зіставлення варіантів рішень, основних моделей подання знань; методів побудови функцій корисності; основних етапів і умов прийняття рішень, принципів класифікації задач прийняття рішень, методів прийняття колективних рішень та методів прийняття рішень в умовах невизначеності; методів експертних оцінок; методів вирішення задач порядкової класифікації, упорядкування багатокритеріальних альтернатив та вибору найкращої альтернативи; особливостей аналітично-ієрархічного процесу прийняття та обґрунтування рішень.

Здобувачі повинні продемонструвати вміння використовувати сучасні методи прийняття рішень, здійснювати постановку конкретних задач прийняття рішень, правильно визначати шкали та набори критеріїв, застосовувати теорію корисності і теорію перспектив, застосовувати багатокритеріальні методи оцінки рішень, виконувати обробку експертних даних із застосуванням методів експертних оцінок, розробляти алгоритми прийняття рішення у конкретній ситуації, вибирати математичні, алгоритмічні та програмні засоби підтримки прийняття рішень.

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

1.1 Основні визначення і поняття процесу прийняття рішень

Прийняття рішень – це надзвичайно складний процес, який супроводжується психологічними, організаційними і технічними труднощами.

Прийняття рішень – процедура вибору найкращої альтернативи із заданої множини на підставі певного критерію або множини критеріїв [1].

Вибір – дія, що дозволяє організувати цілеспрямовану діяльність людини.

Альтернатива – необхідність вибору між двома чи кількома можливостями, які взаємно виключають одна одну [1].

Критерій – ознака, на підставі якої проводиться оцінка, визначення або класифікація чого-небудь (мірило оцінки) [1].

Завдання прийняття рішень рідко формулюються у «чистому» вигляді, коли чітко задано множину альтернатив, що мають певні оцінки за відомими показниками. Виникає необхідність порівняти альтернативи між собою за допомогою будь-якого методу і вибрати серед них найкращу або задовільну.

Рішення – результат вибору з кількох альтернатив, який фіксується у певній формі [1].

1.2 Ролі людей у процесі прийняття рішень

У реальному житті все не так просто. Перед тим, як зробити вибір, необхідно провести величезну роботу – виконати аналіз вирішуваної проблеми, зібрати інформацію про альтернативи і фактори, що впливають на результати рішень, оцінити наслідки кожної альтернативи, організувати (якщо це необхідно) їх колективне обговорення та вирішити багато інших завдань.

Виконати весь обсяг цієї роботи одній людині не під силу, тому в прийнятті рішень, зазвичай, беруть участь різні люди або групи людей, які виконують в цьому процесі певні ролі.

Виділяють п'ять основних ролей людей у процесі прийняття рішень [2]:

- власник проблеми;
- особа, яка приймає рішення (ОПР);
- активна група;
- експерт;
- аналітик.

У будь-якій реальній задачі вибору існує людина, яка відповідає за вирішення виниклої проблеми та має назву – власник проблеми.

Власник проблеми – це людина, яка, на думку оточуючих або за своїм службовим становищем, повинна вирішувати проблему і нести відповідальність за прийняті рішення. Ці рішення зазвичай безпосередньо впливають на стан і добробут власника проблеми.

Наприклад, власники всіх проблем в організаціях – це керівники організацій, які, однак, можуть доручити вирішення цих проблем іншим людям, делегуючи їм частину своїх повноважень.

Ключову роль у процесі прийняття рішень займає особа, яка приймає рішення, але вона не завжди є власником проблеми.

Особа, яка приймає рішення – це людина або група людей, які реально здійснюють вибір найкращої альтернативи і несуть відповідальність за прийняті рішення відповідно до своїх повноважень.

Якщо рішення приймається групою людей, то в цьому випадку можна використовувати термін «група, яка приймає рішення» (ГПР).

На практиці можливі три різні ситуації, виходячи зі співвідношення ролей власника проблеми та ОПР [3]:

- власник проблеми і ОПР – одна і та ж сама людина.

У цьому випадку власник проблеми нікому не довіряє її рішення, крім себе самого, він збирає інформацію, спілкуючись зі своїми підлеглими, радиться з ними, вдається до послуг експертів і аналітиків, але остаточне рішення власник проблеми завжди приймає самостійно;

- власник проблеми входить до складу групи, яка приймає рішення.

У цій ситуації власник проблеми є лише одним з кількох людей, які беруть участь в її вирішенні. Причому, незважаючи на більш високий статус і положення всередині групи, власник проблеми має рівні права з іншими учасниками обговорення. У цьому випадку він не може прийняти рішення одноосібно і погоджується з будь-яким рішенням, прийнятим усією групою;

- власник проблеми і ОПР – різні люди.

Такі ситуації виникають, якщо власник проблеми, наприклад керівник організації, «перекладає» прийняття рішень на інших людей (своїх підлеглих, консультантів, експертів) і дає їм для цього необхідні повноваження. У цьому випадку власник проблеми не знімає з себе відповідальності, але заздалегідь погоджується з будь-яким рішенням, яке буде прийнято іншою людиною або групою.

На прийняття рішень може сильно впливати позиція активних груп.

Активна група – це група людей, що мають спільні інтереси по відношенню до розв’язуваної проблеми.

Керівник активної групи – керівник групи фахівців, що мають загальні інтереси і прагнуть зробити вплив на процес вибору.

Як правило, роль активної групи виконують інші організації, які так чи інакше зацікавлені у вирішенні виниклої проблеми.

Наприклад, активною групою можна вважати громадську організацію по захисту прав пацієнтів, протестуючу проти рішення обов’язкового переходу на автоматизоване дистанційне медичне консультування пацієнтів лікарями.

Активною групою може бути конкуруюча організація, яка намагається перешкодити здійсненню ваших планів і пропонує «домовитися», тобто знайти компромісне вирішення проблеми. Теоретично ОПР може виходити тільки зі своїх інтересів і не зобов’язана враховувати думку активних груп, але практично така позиція може призвести до загострення конфлікту і небажаних наслідків у майбутньому. Тому ОПР завжди бере до уваги інтереси активних груп, враховуючи їх позиції і критерії вибору в процесі прийняття рішень.

У процесі прийняття рішень важливу роль відіграють експерти – люди, які професійно краще, ніж ОПР, знають окремі аспекти проблеми і виступають в ролі джерела інформації, необхідної для прийняття рішення.

Експерт – професіонал у своїй проблемній області.

До експертів, зазвичай, звертаються, щоб з’ясувати причини виниклої проблеми, розробити варіанти її вирішення, оцінити кожен альтернативу та зробити прогноз розвитку подій.

Надаючи необхідну інформацію, експерти висловлюють свою суб’єктивну думку. Однак, якщо експерт, будучи професіоналом у своїй справі, неупереджено оцінює ситуацію, то його оцінки близькі до об’єктивних.

Слід пам’ятати, що експертна інформація – це не рішення, а лише корисна інформація, яка допомагає прийняти рішення. Приймати рішення на основі своїх уподобань може тільки ОПР. Експерти відповідають тільки за свої рекомендації. Думки експертів і ОПР можуть не збігатися.

У підготовці складних рішень, що мають, зазвичай, стратегічний характер, беруть участь аналітики (або консультанти по прийняттю рішень), їх роль полягає в раціональній організації процесу прийняття рішень.

Консультант щодо ухвалення рішень – координатор процесу прийняття рішень [4].

Аналітики виконують такі основні функції [4]:

- надання допомоги ОПР і власнику проблеми в правильній постановці завдання;
- виявлення ролей і позицій активних груп;
- організація роботи з експертами;
- виявлення переваг ОПР;
- розробка та застосування технологій прийняття рішень.

Аналітик, на відміну від експерта, зазвичай, не дає ніяких особистих оцінок, а тільки допомагає ОПР усвідомити свої переваги, зважити всі «за» і «проти» і прийти до розумного компромісу.

Найважливіше завдання і специфіка роботи аналітика полягає у вивченні і виявленні системи переваг ОПР.

Досвідчений керівник, як правило, чітко уявляє свої цілі, відразу усвідомлює суть проблеми і виробляє основні варіанти її вирішення.

Результати багатьох досліджень показують, що ОПР без додаткової аналітичної підтримки часто використовують спрощені або суперечливі правила і критерії вибору. Причини такої поведінки полягають не тільки в індивідуальних особливостях ОПР, а й в тому, що існують об'єктивні обмеження людської системи переробки інформації. Виникає багато помилок і протиріч людини в процесі прийняття рішень, щоб їх уникнути, можна звернутися до послуг аналітика, який повинен допомогти ОПР послідовно і логічно висловити свої переваги і прийняти остаточне рішення.

Головний інструмент аналітика – технології прийняття рішень, які «механізують» мислення ОПР і визначають порядок отримання і обробки всієї необхідної інформації.

Правильно побудовані технології прийняття рішень дозволяють виявити переваги ОПР, порівняти між собою всі альтернативи і служать своєрідним підсилювачем людських можливостей.

ОПР організує всі процедури прийняття рішень із залученням вказаних фахівців і ухвалює рішення.

1.3 Етапи процесу прийняття рішень

Герберт Саймон виділяє у процесі прийняття рішень три етапи [5]:

- пошук інформації;
- пошук і знаходження альтернатив;
- вибір кращої альтернативи.

На першому етапі збирається вся доступна на момент прийняття рішення інформація: фактичні дані, думки експертів, будуються математичні моделі, проводяться соціологічні опитування, визначаються погляди на проблему з боку активних груп, що впливають на її рішення.

Другий етап пов'язаний з визначенням того, що можна, а чого не можна робити в даній ситуації, тобто з визначенням варіантів рішень (альтернатив).

Третій етап включає в себе порівняння альтернатив і вибір найкращого варіанта (або варіантів) рішення.

Прийняття рішення полягає у виконанні послідовності таких процедур:

- аналіз проблеми та вибір мети, задля якої проводиться вибір;
- оцінка ступеня узгодженості мети;
- формулювання множини альтернатив, з яких здійснюється вибір;
- аналіз і оцінка наслідків реалізації кожної з альтернатив;
- формулювання критерію порівняння, тобто правила, за допомогою якого визначається перевага альтернатив;
- визначення режиму вибору: однократний або багатократний;
- оцінка ситуації, в якій проводиться вибір;
- визначення типу відповідальності: індивідуальна або групова;
- реалізація вибраного варіанта дій.

1.4 Типи альтернатив у задачах прийняття рішень

Варіанти дій прийнято називати альтернативами.

Альтернативи – невід'ємна частина проблеми прийняття рішень: якщо нема з чого вибирати, то немає і вибору. Отже, для постановки задачі прийняття рішень необхідно мати хоча б дві альтернативи.

Альтернативи бувають [4]:

- незалежними;
- залежними.

Незалежними є ті альтернативи, будь-які дії з якими (виділення як єдиної кращої, видалення з розгляду) не впливають на якість інших альтернатив.

При залежних альтернативах оцінки одних з них впливають на якість інших. Є різні типи залежності альтернатив. Найбільш простою і очевидною є безпосередня групова залежність: якщо вирішено розглядати хоча б одну альтернативу з групи, то потрібно розглядати і всю групу. Наприклад, проектування інформаційної системи із заздалегідь вказаними обмеженнями та припущеннями тягне за собою розгляд усіх можливих варіантів реалізації.

Задачі прийняття рішень істотно розрізняються також у залежності від наявності альтернатив на момент вироблення політики та прийняття рішень.

Зустрічаються задачі, коли всі альтернативи вже задані, вже визначені, необхідно лише вибрати кращі з цієї множини.

Наприклад, ми можемо знайти найпопулярнішу ІТ-фірму з уже наявних, визначати найкращий університет, вибрати найкращу кафедру.

Особливістю цих задач є замкнута множина альтернатив. Але існують задачі іншого типу, де всі альтернативи або їх значна частина з'являються після прийняття основних рішень.

Коли альтернатив багато (сотні і тисячі), увага ОПР не може зосередитися на кожній з них. У таких ситуаціях зростає необхідність в чітких правилах вибору, в процедурах використання експертів, у розробці сукупності правил, що дозволяють застосувати несуперечливу і послідовну політику.

У таких завданнях, як, наприклад, вибір певної інформаційної технології для вирішення прикладної задачі, вибір методів розробки інформаційної системи, основних альтернатив, з розгляду яких починається вибір, порівняно небагато, але вони не є єдино можливими. Часто на їх основі в процесі вибору виникають нові альтернативи. Первинні, основні альтернативи не завжди задовольняють учасників процесу вибору. Однак, вони допомагають їм зрозуміти, чого конкретно не вистачає, що піддається реалізації при даній ситуації, а що – ні. Цей клас задач можна назвати задачами з альтернативами, що конструюються.

1.5 Типи критеріїв у задачах прийняття рішень

У сучасній науці про прийняття рішень вважається, що варіанти рішень характеризуються різними показниками їх привабливості для ОПР.

Ці показники називають ознаками, факторами, атрибутами або критеріями. У подальшому використаємо термін «критерій».

Будемо називати *критеріями оцінки альтернатив* показники їх привабливості (або непривабливості) для учасників процесу вибору.

У професійній діяльності вибір критеріїв часто визначається багаторічною практикою, досвідом. У переважній більшості задач є досить багато критеріїв оцінок варіантів рішень, ці критерії можуть бути незалежними або залежними.

Нехай дві порівнювані альтернативи мають різні оцінки по першій групі критеріїв і однакові – по другій групі.

У теорії прийняття рішень прийнято вважати критерії залежними, якщо переваги ОПР при порівнянні альтернатив змінюються в залежності від значень однакових оцінок по другій групі критеріїв.

Припустимо, що ІТ-спеціалісту необхідно автоматизувати процес вибору місця для будівництва будівлі, який враховує три критерії [6]:

- площу території (чим більша, тим краще);
- ціну одного квадратного метра (чим менше, тим краще);
- рельєф (рівнинний краще горбистого).

Нехай по третьому критерію порівнювані території мають однакову оцінку. ОПР вибирає велику і порівняно дешеву територію, а не малу і дорогу територію при рівнинному рельєфі. У даному прикладі критерії є залежними.

На складність задач прийняття рішень впливає також кількість критеріїв. При невеликому числі критеріїв (два чи три) задача порівняння двох альтернатив досить проста та прозора, якості за критеріями можуть бути безпосередньо зіставлені, може бути вироблений компроміс.

При великому числі критеріїв задача стає малоосязною.

При великій кількості критеріїв вони, зазвичай, можуть бути об'єднані в групи, що мають конкретне смислове значення і назву. Підставою для природнього угруповання критеріїв є можливість виділити плюси і мінуси альтернатив, їх переваги та недоліки. Такі групи, як правило, незалежні. Виявлення структури на множині критеріїв робить процес прийняття рішень більш осмисленим та ефективним.

1.6 Шкали оцінок за критеріями у задачах прийняття рішень

Використання критеріїв для оцінки альтернатив вимагає визначення градацій якості: кращих, гірших і проміжних оцінок. Інакше кажучи, існують шкали оцінок за критеріями.

Шкала – це інструмент (прийнята система правил) оцінки (вимірювання) якості яких-небудь об'єктів або явищ.

Кваліметрія – наука про оцінку якості об'єктів. Вимірювання – акт привласнення чисел об'єктам згідно з деякою системою правил. Для виконання вимірювань використовують три властивості чисел: тотожність, ранговий порядок, адитивність.

Якість є найповнішою характеристикою будь-якого об'єкта. Якість виражає визначеність об'єкта у вигляді сукупності різних властивостей, що виявляються у взаємодії об'єкта із зовнішнім середовищем.

ОПР виконує порівняння альтернатив на основі певної системи переваг, яка залежить від шкали переваг. Залежно від того, по якій шкалі задані ці переваги, оцінки якості альтернатив мають великий або малий обсяг інформації і володіють різною здібністю до математичної формалізації.

У прийнятті рішень прийнято розрізняти шкали безперервних і дискретних оцінок, шкали кількісних і якісних оцінок. Для критерію «вартість» використовують безперервну кількісну шкалу оцінок (в грошових одиницях). Для критерію «наявність відношення» – якісну двійкову шкалу: є або немає.

Крім категорій «якісні – кількісні», «безперервні – дискретні», у прийнятті рішень розрізняють типи шкал.

Існує чотири основні рівні вимірювання (типи шкал) [7]:

- шкала найменувань;
- шкала порядку (рангова шкала);
- шкала інтервалів (рівних інтервалів);
- шкала відношень (пропорціональних оцінок).

1.6.1 Шкала найменувань

У шкалі найменувань числа використовуються як найменування об'єктів.

Наприклад, шкалою найменувань є номери документів у проєктній документації, номери кроків розробки інформаційних систем, ідентифікаційні номери користувачів бази даних. Шкала не допускає ніяких операцій з числами, по суті це якісна шкала, яка допускає деякі статистичні операції з даними.

1.6.2 Шкала порядку (рангова шкала)

Шкала порядку утворюється у результаті розташування об'єктів у порядку зростання або спадання міри певної властивості (переваг ОПР).

Ця шкала є «поширеною» порівняно зі шкалою найменувань через порівняння об'єктів за однією ознакою за принципом «Що більше (менше)?» або «Що гірше (краще)?».

Розрізняють шкали: простого, слабкого, сильного порядку.

У шкалі простого порядку немає проблеми з порівнянням об'єктів.

У шкалі слабкого порядку можуть мати місце випадки, коли «Об'єкт А такий самий, як об'єкт В». Кожному елементу ряду в цих шкалах приписують числове значення і виконують статистичні операції отримання частот або мод. Обчислюються медіани, процентилі, коефіцієнти рангової кореляції.

У шкалі сильного порядку експерт не тільки упорядковує об'єкти за якою-небудь ознакою або властивістю, а і вказує силу цієї переваги, наприклад, в межах $[0,1]$.

Прикладом є шкала частоти використання інформаційних технологій:

- дуже часто використовується;
- часто використовується;
- використовується в окремих, специфічних випадках.

1.6.3 Шкала інтервалів (рівних інтервалів)

Шкала інтервалів побудована з рівномірних інтервалів і є кращою порівняно зі шкалою порядку. Для інтервальної шкали характерно, що початок відліку вибирається довільно так само, як і крок (відстань між оцінками) шкали.

Наприклад, шкала знаходження екстремуму розбивається на кроки, шкала певного нахилу розбивається на інтервали нахилу в градусах. На будь-якій ділянці шкали однаковий інтервал означає однакову міру ознаки.

Прикладом інтервальної шкали є оцінювання знань студентів під час проведення екзамену. Експерт-викладач, оцінюючи рівень знань студентів, повинен не тільки вирішити, що один студент знає матеріал краще за інших, але сказати, на скільки краще. Вимірювання фактично проводиться по шкалі зі ста балів. Рівень знань, який відповідає одному балу (нульова точка) – не відомий.

1.6.4 Шкала відношень (пропорціональних оцінок)

Якщо початок відліку (нульова точка) співпадає з нульовою мірою даної ознаки, то це шкала відношень. Для двох величин, вимірюваних за шкалою відношень, можна визначити, у скільки разів значення однієї величини більше за значення іншої. Для цього необхідно знайти відношення числових значень величин у цій шкалі. Прикладом є шкала термодинамічних температур.

Це найсильніша зі всіх наведених шкал.

1.6.5 Абсолютна шкала

Абсолютною є шкала, у якій є абсолютний нуль і абсолютна одиниця. Такою шкалою є послідовність натуральних чисел. Особливістю цієї шкали є її безрозмірність, що дозволяє виконувати над даними цієї шкали такі операції, які недопустимі для даних інших шкал.

1.6.6 Психометрична шкала Томаса Сааті (шкала експертного оцінювання пріоритетів або переваг)

Відомий американський фахівець із системного аналізу Томас Сааті запропонував шкалу відносної важливості або переваги одного об'єкта над іншим. Оцінка виконується експертом або ОПР, тому шкалу називають психометричною. Шкала дозволяє порівнювати дані з різною кваліметричною основою. Одні дані вимірюються в таких шкалах як шкала найменувань або рангова шкала, інші – в таких шкалах як шкала інтервалів або відношень.

Крім того, різні дані, що вимірюються в сильних шкалах, можуть мати різну розмірність (метри, кілограми, секунди, гривні). Шкала Сааті дозволяє отримати раціональні співвідношення між даними різної природи.

У прийнятті рішень найчастіше використовуються порядкові шкали і шкали пропорційних оцінок.

1.7 Формальна модель задачі прийняття рішення

Традиційний підхід до класифікації задач прийняття рішень заснований на множині ознак, що характеризують кількість і якість доступної інформації.

Задачі прийняття рішень подають таким кортежем [7]:

$$\langle T, A, K, X, F, G, D \rangle, \quad (1.1)$$

де T – постановка задачі (наприклад, вибрати найкращий ІТ-проект із множини ІТ-проектів для подальшого виконання);

A – множина допустимих альтернатив для реалізації певних функцій;

K – множина критеріїв вибору (множина може включати один критерій або може містити декілька критеріїв). Задачі прийняття рішень поділяють на задачі зі скалярним критерієм, задачі з векторним критерієм або багатокритеріальні задачі;

X – множина методів вимірювання переваг альтернатив (використання номінальної (класифікаційної шкали), рангової шкали, кількісної шкали, експертної оцінки за допомогою коментарів, експериментальної оцінки, оцінки на основі продукційних правил);

F – відображення множини допустимих альтернатив, що реалізують функції, в множині критеріальних оцінок. Відображення A в K може бути детермінованим, вірогіднісним або невизначеним.

Відповідно до цього задачі прийняття рішень поділяють на задачі в умовах визначеності, в умовах ризику або в умовах невизначеності;

G – система переваг вирішального елемента (формування переваг однією особою або колективом). Відповідно до цього задачі прийняття рішень поділяють на задачі індивідуального і задачі колективного прийняття рішень;

D – вирішальне правило, що відображає систему переваг вирішального елемента.

1.8 Множина Еджворта-Парето

Вільфредо Парето (роки життя з 1848 року по 1923 рік) – італійський економіст-соціолог, який першим звернув увагу на те, що починати впорядкування багатокритеріальних альтернатив потрібно, починаючи з видалення гірших.

Принцип Парето полягає в тому, що оптимальний результат слід шукати тільки серед елементів множини невідоміючих рішень [4].

Серед альтернатив можуть виявитися і такі, у яких оцінки за всіма критеріями гірші, ніж у інших, такі альтернативи не є конкурентоздатними, їх викреслюють з таблиці. Залишаються альтернативи, які хоча б по одному критерію не гірші, ніж інші або невідоміючі альтернативи. Множину Парето ще називають множиною непокращуваних рішень.

Френсіс Еджворт (роки життя з 1845 року по 1926 рік) – англійський вчений, спеціалізувався в питаннях математичної економіки. Поняття «Парето-оптимальне рішення» у випадку двох критеріїв, ввів до того, як в загальному вигляді його було сформульовано Вільфредо Парето.

Парето-оптимальність рішення означає, що воно не може бути поліпшено по жодному з критеріїв без погіршення по якомусь іншому критерію.

Під час пошуку однієї домінуючої альтернативи, необхідно ввести додаткові відомості про критерії, які змогли б зменшити множину Парето.

Вирішення багатокритеріальної задачі зводиться до таких етапів [7]:

Етап 1. Визначення множини непокращуваних рішень за Парето.

Етап 2. Отримання додаткової інформації про критерії.

Етап 3. Використання додаткової інформації про критерії доти, поки множина Парето не міститиме тільки одну альтернативу або групу альтернатив.

Припустимо, що задана група альтернатив. Порівняємо всі альтернативи попарно і виключимо ті з них, які домінуються хоча б однією з альтернатив. Решта (недомінуючі) альтернативи належать множині Еджворта-Парето.

Альтернативи, що належать множині Еджворта-Парето, неможливо порівняти безпосередньо на основі критеріальних оцінок, але, якщо рішення повинно бути прийнято, то порівняння альтернатив, що належать множині Еджворта-Парето, можливо на основі додаткової інформації. Таке порівняння є основним для згаданого вище третього етапу процесу прийняття рішень.

Неважко переконатися, що множина Еджворта-Парето включає в себе найбільш «контрастні» альтернативи, складні для порівняння. Якщо стоїть задача вибору однієї кращої альтернативи, то вона обов'язково належить множині Еджворта-Парето. Тому в багатьох технологіях прийняття рішень дуже важливий етап виділення множини Еджворта-Парето зі всієї множини заданих альтернатив.

Одним із можливих способів вирішення цієї задачі є попарне порівняння альтернатив і виключення домінованих. Задача виділення множини Еджворта-Парето, зазвичай, розглядається як попередня, за нею йде найбільш істотний етап прийняття рішень.

1.9 Типові задачі прийняття рішень

З трьох наведених вище етапів процесу прийняття рішень найбільша увага, традиційно, приділяється третьому етапу. За визнанням важливості пошуку інформації та виділенням альтернатив слідує розуміння того, що ці етапи надзвичайно неформалізовані.

Способи проходження етапів залежать не тільки від змісту задачі прийняття рішень, але і від досвіду, звичок, особистого стилю ОПР і його оточення. Науковий аналіз проблем прийняття рішень починається з моменту, коли хоча б частина альтернатив і/або критеріїв відома.

У сучасній науці про прийняття рішень центральне місце займають багатокритеріальні задачі вибору. Вважається, що облік багатьох критеріїв наближає постановку задачі до реального життя.

Традиційно прийнято розрізняти три основні задачі прийняття рішень [4]:

– впорядкування альтернатив. Для ряду задач висувається обґрунтована вимога визначити порядок на множині альтернатив. Наприклад, менеджер проєкту впорядковує за ступенем рентабельності множину запропонованих проєктів, керівники ІТ-фірм впорядковують рейтингові списки програмістів за ступенем їх універсальності. У загальному випадку вимога упорядкувати альтернативи означає визначити відносну цінність кожної з альтернатив;

– розподіл альтернатив за класами рішень. Ці задачі часто зустрічаються у повсякденному житті. Наприклад, під час розробки інформаційних систем, під час створення програмних застосунків ІТ-спеціалісти, зазвичай, ділять альтернативи на дві групи: що заслуговують і не заслуговують більш докладного вивчення, бо вимагають значних витрат ресурсів. Наприклад, групи товарів розрізняються за якістю, абітурієнт формує групу закладів вищої освіти, в які він прагне вступити, книголюби виділяють за привабливістю для читання групи книг, мандрівники вибирають туристські маршрути;

– виділення кращої альтернативи. Ця задача вважається однією із основних у прийнятті рішень, вона часто зустрічається на практиці. Наприклад, вибір найбільш вдалого стандарту під час проєктування інформаційної системи, вибір програмного забезпечення, вибір проєкту складного технічного завдання, вибір мови програмування – добре відомі завдання для усіх ІТ-спеціалістів.

Крім того, такі задачі поширені серед прийняття політичних рішень, де альтернатив порівняно небагато, але вони досить складні для вивчення і порівняння. Особливістю багатьох задач прийняття політичних рішень є конструювання нових альтернатив у процесі вирішення проблем.

1.10 Приклади технології інформаційної підготовки до прийняття рішень

Задача 1.1: Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв. $K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}\}$ – шкала другого критерію.

Побудувати граф домінування альтернатив на множині $K_1 \times K_2$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу. Розглянути альтернативу (k_{12}, k_{22}) , які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею?

Розв’язання. Двовимірний граф домінування показано на рисунку 1.1.

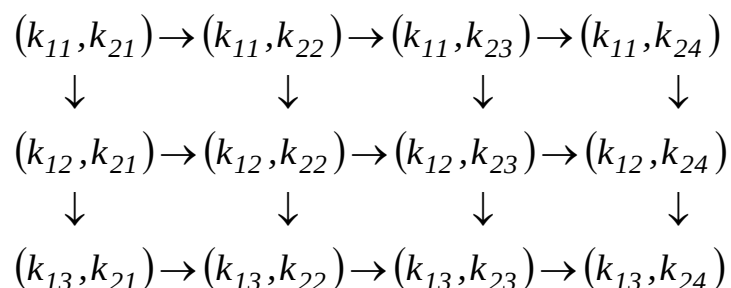


Рисунок 1.1 – Двовимірний граф домінування

Кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив: $3 \times 4 = 12$.

(k_{11}, k_{21}) – найкраща альтернатива, (k_{13}, k_{24}) – найгірша альтернатива.

Щоб відповісти на інші запитання, побудуємо таблицю 1.1. У цій таблиці всі альтернативи вказані в лексикографічному порядку від найкращої до найгіршої.

Відмітимо напівжирним курсивом рядок, що відповідає заданій альтернативі (k_{12}, k_{22}) .

Таблиця 1.1 – Всі альтернативи для двох критеріїв

Критерій K_1	Критерій K_2
k_{11}	k_{21}
k_{11}	k_{22}
k_{11}	k_{23}
k_{11}	k_{24}
k_{12}	k_{21}
k_{12}	k_{22}
k_{12}	k_{23}
k_{12}	k_{24}
k_{13}	k_{21}
k_{13}	k_{22}
k_{13}	k_{23}
k_{13}	k_{24}

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{12} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{22} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Нарешті, розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, кращі, ніж (k_{12}, k_{22}) .

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{21}), (k_{11}, k_{22}), (k_{12}, k_{21})\}$ – множина альтернатив, кращих, ніж (k_{12}, k_{22}) .

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{12} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{22} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Нарешті, розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, гірші, ніж (k_{12}, k_{22}) .

Таким чином, $\{(k_{12}, k_{23}), (k_{12}, k_{24}), (k_{13}, k_{22}), (k_{13}, k_{23}), (k_{13}, k_{24})\}$ – множина альтернатив, гірших, ніж (k_{12}, k_{22}) .

Решта рядків, в яких одне поле не відзначено курсивом, представляють всі альтернативи, не порівняні з (k_{12}, k_{22}) .

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{23}), (k_{11}, k_{24}), (k_{13}, k_{21})\}$ – множина альтернатив, не порівняних з (k_{12}, k_{22}) .

Задача 1.2: Нехай $K = \{K_1, K_2, K_3\}$ – множина критеріїв.

$K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}\}$ – шкала другого критерію, $K_3 = \{k_{31}, k_{32}\}$ – шкала третього критерію.

Побудувати граф домінування альтернатив на множині $K_1 \times K_2 \times K_3$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу (k_{12}, k_{22}, k_{31}) , які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею?

Розв'язання. Тривимірний граф домінування показано на рисунку 1.2.

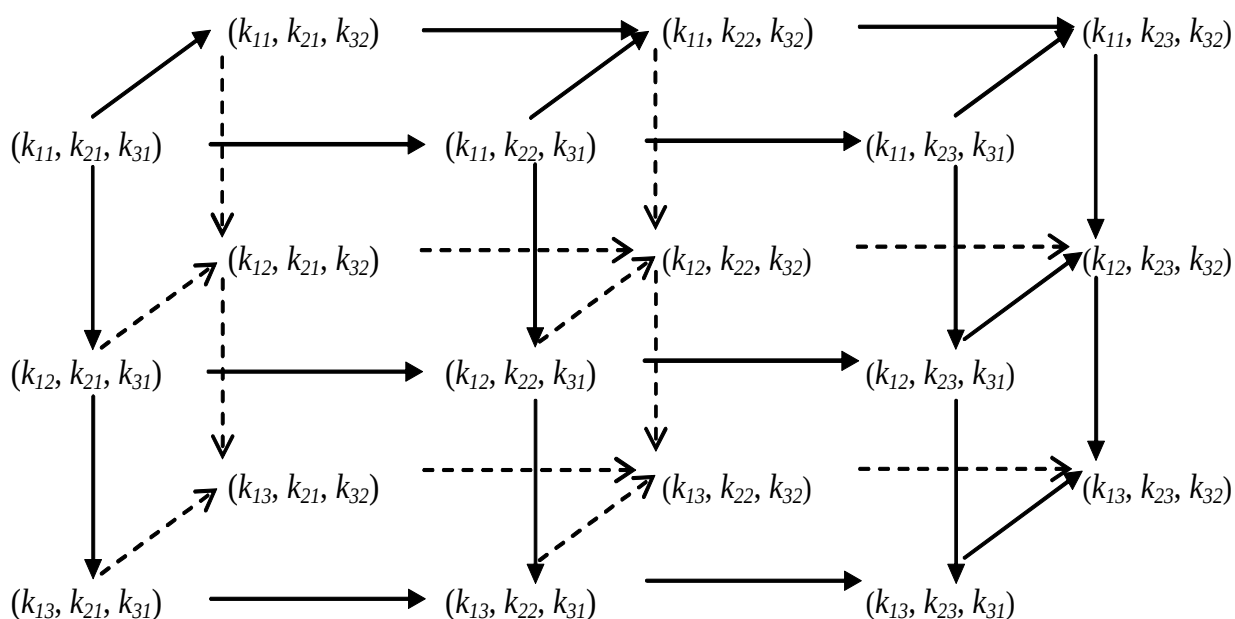


Рисунок 1.2 – Тривимірний граф домінування

«Розгортку» на площину тривимірного графа домінування, поданого на рисунку 1.2, показано на рисунку 1.3.

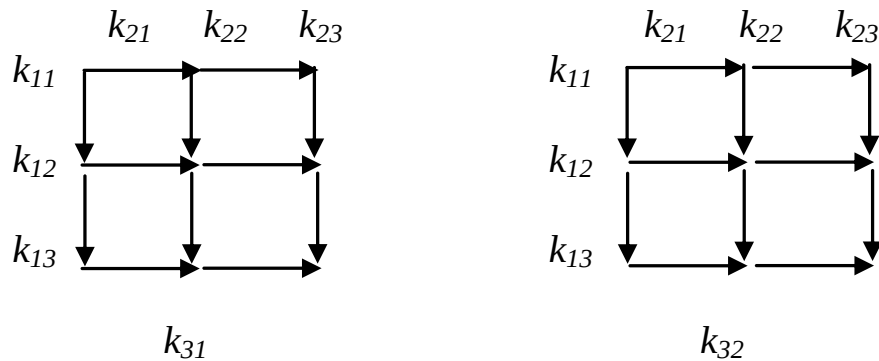


Рисунок 1.3 – «Розгортка» тривимірного графа домінування

Кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив: $3 \times 3 \times 2 = 18$.

(k_{11}, k_{21}, k_{31}) – найкраща альтернатива, (k_{13}, k_{23}, k_{32}) – найгірша альтернатива.

Щоб відповісти на інші запитання, побудуємо таблицю 1.2. У цій таблиці всі альтернативи вказані в лексикографічному порядку від найкращої до найгіршої.

Відмітимо напівжирним курсивом рядок, що представляє розглянуту альтернативу (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{12} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{22} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в третьому стовпці тільки ті значення критерію K_3 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{31} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Тепер розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, кращі, ніж (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{21}, k_{31}), (k_{11}, k_{22}, k_{31}), (k_{12}, k_{21}, k_{31})\}$ – множина альтернатив, кращих, ніж (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Таблиця 1.2 – Всі альтернативи для трьох критеріїв

Критерій K_1	Критерій K_2	Критерій K_3
k_{11}	k_{21}	k_{31}
k_{11}	k_{21}	k_{32}
k_{11}	k_{22}	k_{31}
k_{11}	k_{22}	k_{32}
k_{11}	k_{23}	k_{31}
k_{11}	k_{23}	k_{32}
k_{12}	k_{21}	k_{31}
k_{12}	k_{21}	k_{32}
k_{12}	k_{22}	k_{31}
k_{12}	k_{22}	k_{32}
k_{12}	k_{23}	k_{31}
k_{12}	k_{23}	k_{32}
k_{13}	k_{21}	k_{31}
k_{13}	k_{21}	k_{32}
k_{13}	k_{22}	k_{31}
k_{13}	k_{22}	k_{32}
k_{13}	k_{23}	k_{31}
k_{13}	k_{23}	k_{32}

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{12} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{22} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в третьому стовпці тільки ті значення критерію K_3 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{31} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Тепер розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, гірші, ніж (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Таким чином, $\{(k_{12}, k_{22}, k_{32}), (k_{12}, k_{23}, k_{31}), (k_{12}, k_{23}, k_{32}), (k_{13}, k_{22}, k_{31}), (k_{13}, k_{22}, k_{32}), (k_{13}, k_{23}, k_{31}), (k_{13}, k_{23}, k_{32})\}$ – множина альтернатив, гірших, ніж (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Решта рядків, в яких хоча б одне поле не відзначено курсивом, представляють всі альтернативи, не порівняні з (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{21}, k_{32}), (k_{11}, k_{22}, k_{32}), (k_{11}, k_{23}, k_{31}), (k_{11}, k_{23}, k_{32}), (k_{12}, k_{21}, k_{32}), (k_{13}, k_{21}, k_{31}), (k_{13}, k_{21}, k_{32})\}$ – множина альтернатив, не порівняних з (k_{12}, k_{22}, k_{31}) .

Задача 1.3: Нехай $K = \{K_1, K_2, K_3, K_4\}$ – множина критеріїв. $K_1 = \{k_{11}, k_{12}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}\}$ – шкала другого критерію, $K_3 = \{k_{31}, k_{32}\}$ – шкала третього критерію, $K_4 = \{k_{41}, k_{42}\}$ – шкала четвертого критерію.

Побудувати граф домінування альтернатив на множині $K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$, які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею?

Розв'язання. Чотиривимірний граф домінування показано на рисунку 1.4.

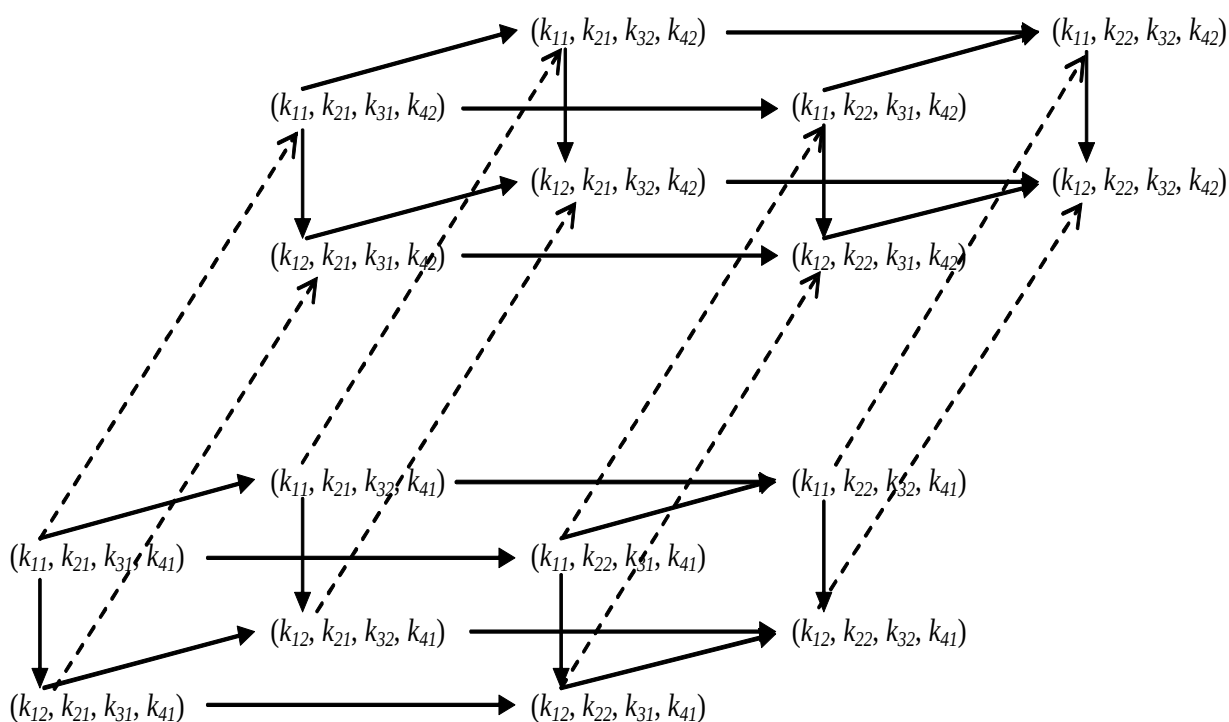


Рисунок 1.4 – Чотиривимірний граф домінування

«Розгортку» на площину чотиривимірного графа домінування, поданого на рисунку 1.4, показано на рисунку 1.5.

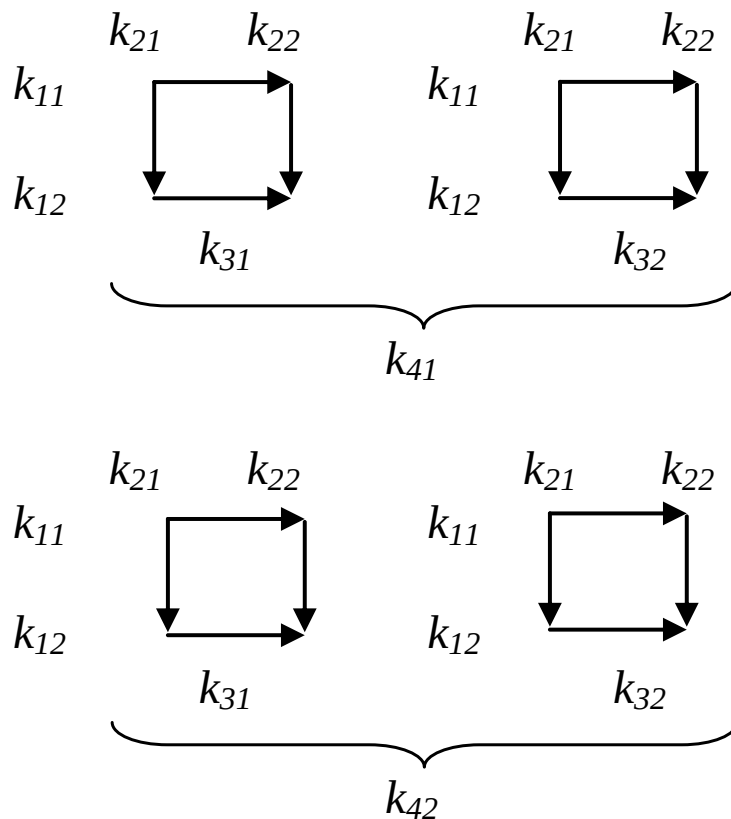


Рисунок 1.5 – «Розгортка» чотиривимірного графа домінування

Кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив: $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$.

$(k_{11}, k_{21}, k_{31}, k_{41})$ – найкраща альтернатива, $(k_{12}, k_{22}, k_{32}, k_{42})$ – найгірша альтернатива.

Щоб відповісти на інші запитання, побудуємо таблицю 1.3. У цій таблиці всі альтернативи вказані в лексикографічному порядку від найкращої до найгіршої.

Відмітимо напівжирним курсивом рядок, що представляє розглянуту альтернативу $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{11} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{22} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Таблиця 1.3 – Всі альтернативи для чотирьох критеріїв

Критерій K_1	Критерій K_2	Критерій K_3	Критерій K_4
k_{11}	k_{21}	k_{31}	k_{41}
k_{11}	k_{21}	k_{31}	k_{42}
k_{11}	k_{21}	k_{32}	k_{41}
k_{11}	k_{21}	k_{32}	k_{42}
k_{11}	k_{22}	k_{31}	k_{41}
k_{11}	k_{22}	k_{31}	k_{42}
k_{11}	k_{22}	k_{32}	k_{41}
k_{11}	k_{22}	k_{32}	k_{42}
k_{12}	k_{21}	k_{31}	k_{41}
k_{12}	k_{21}	k_{31}	k_{42}
k_{12}	k_{21}	k_{32}	k_{41}
k_{12}	k_{21}	k_{32}	k_{42}
k_{12}	k_{22}	k_{31}	k_{41}
k_{12}	k_{22}	k_{31}	k_{42}
k_{12}	k_{22}	k_{32}	k_{41}
k_{12}	k_{22}	k_{32}	k_{42}

Розглянемо в третьому стовпці тільки ті значення критерію K_3 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{31} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в четвертому стовпці тільки ті значення критерію K_4 , що розміщені над напівжирним курсивним значенням k_{42} . Вище цього значення знайдемо всі значення, які не гірші заданого, відзначимо їх курсивом.

Тепер розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, кращі, ніж $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{21}, k_{31}, k_{41}), (k_{11}, k_{21}, k_{31}, k_{42}), (k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{41})\}$ – множина альтернатив, кращих, ніж $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Розглянемо в першому стовпці тільки ті значення критерію K_1 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{11} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в другому стовпці тільки ті значення критерію K_2 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{22} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в третьому стовпці тільки ті значення критерію K_3 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{31} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Розглянемо в четвертому стовпці тільки ті значення критерію K_4 , що розміщені під напівжирним курсивним значенням k_{42} . Нижче цього значення знайдемо всі значення, які не кращі заданого, відзначимо їх курсивом.

Тепер розглянемо всі рядки, повністю відмічені курсивом, вони і представляють всі альтернативи, гірші, ніж $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{22}, k_{32}, k_{42}), (k_{12}, k_{22}, k_{31}, k_{42}), (k_{12}, k_{22}, k_{32}, k_{42})\}$ – множина альтернатив, гірших, ніж $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Решта рядків, в яких хоча б одне поле не відзначено курсивом, представляють всі альтернативи, не порівняні з $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

Таким чином, $\{(k_{11}, k_{21}, k_{32}, k_{41}), (k_{11}, k_{21}, k_{32}, k_{42}), (k_{11}, k_{22}, k_{32}, k_{41}), (k_{12}, k_{21}, k_{31}, k_{41}), (k_{12}, k_{21}, k_{31}, k_{42}), (k_{12}, k_{21}, k_{32}, k_{41}), (k_{12}, k_{21}, k_{32}, k_{42}), (k_{12}, k_{22}, k_{31}, k_{41}), (k_{12}, k_{22}, k_{32}, k_{41})\}$ – множина альтернатив, не порівняних з $(k_{11}, k_{22}, k_{31}, k_{42})$.

1.11 Завдання для самостійного опрацювання розділу 1

Задача 1.4: Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв, $K_1 = \{k_{11}, \dots, k_{1m}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, \dots, k_{2n}\}$ – шкала другого критерію.

Побудувати граф домінування на множині $K_1 \times K_2$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу (k_{1x}, k_{2y}) , які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею:

- $m = 6, n = 8, x = 3, y = 4$;
- $m = 7, n = 7, x = 3, y = 3$;
- $m = 5, n = 10, x = 2, y = 4$.

Задача 1.5: Нехай $K = \{K_1, K_2, K_3\}$ – множина критеріїв.

$K_1 = \{k_{11}, \dots, k_{1w}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, \dots, k_{2r}\}$ – шкала другого критерію, $K_3 = \{k_{31}, \dots, k_{3l}\}$ – шкала третього критерію.

Побудувати граф домінування на множині $K_1 \times K_2 \times K_3$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу (k_{1x}, k_{2y}, k_{3z}) , які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею:

- $w = 3, r = 3, l = 7, x = 2, y = 2, z = 3$;
- $w = 4, r = 4, l = 4, x = 2, y = 2, z = 2$;
- $w = 2, r = 4, l = 8, x = 2, y = 2, z = 4$.

Задача 1.6: Нехай $K = \{K_1, K_2, K_3, K_4\}$ – множина критеріїв.

$K_1 = \{k_{11}, \dots, k_{1p}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, \dots, k_{2q}\}$ – шкала другого критерію, $K_3 = \{k_{31}, \dots, k_{3r}\}$ – шкала третього критерію, $K_4 = \{k_{41}, \dots, k_{4s}\}$ – шкала четвертого критерію.

Побудувати граф домінування на множині $K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу $(k_{1w}, k_{2x}, k_{3y}, k_{4z})$, які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею:

- $p = 2, q = 2, r = 3, s = 4, w = 1, x = 1, y = 2, z = 3$;
- $p = 2, q = 3, r = 2, s = 4, w = 1, x = 1, y = 2, z = 3$;
- $p = 4, q = 3, r = 2, s = 2, w = 1, x = 1, y = 2, z = 2$.

Задача 1.7: Нехай $K = \{K_1, K_2, K_3, K_4, K_5\}$ – множина критеріїв.

$K_1 = \{k_{11}, \dots, k_{1p}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, \dots, k_{2q}\}$ – шкала другого критерію, $K_3 = \{k_{31}, \dots, k_{3r}\}$ – шкала третього критерію, $K_4 = \{k_{41}, \dots, k_{4s}\}$ – шкала четвертого критерію, $K_5 = \{k_{51}, \dots, k_{5t}\}$ – шкала п'ятого критерію.

Побудувати граф домінування на множині $K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$, вказати кількість всіх гіпотетично можливих альтернатив, найкращу та найгіршу альтернативу.

Розглянути альтернативу $(k_{1v}, k_{2w}, k_{3x}, k_{4y}, k_{5z})$, які альтернативи кращі, гірші та не порівняні з нею:

- $p = 1, q = 2, r = 3, s = 2, t = 3, v = 1, w = 2, x = 1, y = 2, z = 1$;
- $p = 2, q = 1, r = 3, s = 3, t = 2, v = 1, w = 1, x = 2, y = 2, z = 1$;
- $p = 2, q = 2, r = 1, s = 3, t = 3, v = 2, w = 1, x = 1, y = 1, z = 3$.

1.12 Теоретичні завдання до розділу 1

1. Дайте визначення поняттю «прийняття рішень».
2. Дайте визначення поняттю «вибір».
3. Дайте визначення поняттю «альтернатива».
4. Дайте визначення поняттю «критерій».
5. Дайте визначення поняттю «рішення».
6. Дайте визначення ролі людей в процесах прийняття рішень.
7. Дайте визначення поняттю «власник проблеми».
8. Дайте визначення поняттю «особа, що приймає рішення».
9. Дайте визначення поняттю «активні групи».
10. Дайте визначення поняттю «експерт».
11. Дайте визначення поняттю «аналітик».
12. Дайте характеристику усім етапам процесу прийняття рішень.
13. Дайте характеристику типам альтернатив у задачах прийняття рішень.
14. Дайте характеристику типам критеріїв у задачах прийняття рішень.
15. Дайте визначення поняттю «індивідуальний вибір».
16. Дайте визначення поняттю «шкала критерію».
17. Дайте визначення поняттю «кваліметрія».
18. Дайте характеристику типам шкал оцінок за критеріями у задачах прийняття рішень.
19. Дайте характеристику формальної моделі задачі прийняття рішення.
20. Дайте визначення поняттю «множина Еджворта-Парето».
21. Дайте визначення поняттям «домінуючі альтернативи» та «доміновані альтернативи».
22. Дайте визначення типовим задачам прийняття рішень.

2 ВИДИ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

2.1 Процес прийняття рішень

Під прийняттям рішень розуміється особливий процес людської діяльності, спрямований на вибір найкращого варіанта дій.

Специфіка прийняття рішень людиною полягає в тому, що для переважної більшості рішень не можна точно розрахувати і оцінити наслідки, можна лише припускати, що певний варіант рішення призведе до найкращого результату. Однак, таке припущення може виявитися і помилковим, оскільки людина приймає рішення в умовах неповноти і неточності, причому неповнота і неточність характерні не тільки для майбутнього часу, але і для теперішнього і минулого [8].

Життя кожної людини заповнене альтернативами, коли вона опиняється перед необхідністю приймати ті або інші рішення. Дана необхідність обумовлена тим, що кожна ситуація може мати декілька альтернатив, з яких потрібно вибрати найкращу [8].

Вибір найкращої альтернативи і є *прийняття рішення*.

Часто альтернативи пов'язані зі складними ситуаціями, які характеризуються багатьма критеріями і обмеженнями. У такій ситуації вибір виконується інтуїтивно, без врахування всіх критеріїв і обмежень, що мають відношення до справи.

2.2 Моделі прийняття рішень

У теорії прийняття рішень виділяють кілька підходів [9], запропонованих основоположниками теорії прийняття рішень: Гербертом Саймоном, Джеймсом Марчем, Річардом Кайертом, Генрі Мінцбергом, Віктором Врумом, Чарльзом Едвардом Лінбломом, Мішелем Круаз'є та іншими.

Дані підходи називають *моделями прийняття рішень*, до них відносять такі основні види моделей [7]:

- нормативна (класична);
- дескриптивна (описова);
- політична (модель Карнегі);
- інкрементального процесу прийняття рішень;
- «сміттєвого ящика».

2.2.1 Нормативна (класична) модель

Модель запропонована Гербертом Саймоном, вона дозволяє ОПР виявити найбільш ефективні шляхи досягнення поставленої мети. Шляхи виражені через функціональні рівняння, у яких відображено зв'язки між залежними і незалежними змінними.

Незалежні змінні в таких моделях є параметрами дій, а залежні – очікуваними змінними, що одержують в результаті впливу незалежних змінних. Рівняння доповнюються системою обмежень, що лімітують свободу дій ОПР.

Нормативна модель прийняття рішень ґрунтується на таких припущеннях:

- особа, яка приймає рішення, прагне до досягнення відомих і узгоджених цілей, проблеми визначені і точно сформульовані;
- особа, яка приймає рішення, прагне до визначеності, отриманню всієї інформації, прораховуються всі допустимі варіанти і можливі наслідки;
- відомі критерії оцінки альтернатив, ОПР вибирає варіант, який несе найбільшу економічну вигоду;
- особа, яка приймає рішення, діє раціонально і логічно підходить до оцінки варіантів, розстановки пріоритетів, його вибір найкращим чином відповідає досягненню цілей.

Цінність моделі полягає в тому, що вона спонукає до раціональних рішень. Поширеність нормативних моделей багато в чому пов'язана з появою різних кількісних методів прийняття рішень за допомогою комп'ютерної техніки. Кількісні методи включають в себе побудову дерева рішень, платіжні матриці, аналіз точок беззбитковості, лінійне програмування, прогнозування та моделі операційної діяльності. Розвитку нормативної моделі сприяють корпоративні інформаційні системи. Нормативна модель найбільш адекватна запрограмованим рішенням, ситуаціям впевненості або ризику, коли є доступ до всієї необхідної інформації, що дозволяє розрахувати ймовірності фіналів.

2.2.2 Дескриптивна (описова) модель

Дана модель ґрунтується на емпіричних спостереженнях, які містять невелику кількість елементів і пояснюють співвідношення так, як вони існують в реальному світі, але в спрощеній формі. Дескриптивна модель описує реальний процес прийняття рішень у важких ситуаціях (незапрограмовані рішення, ситуації невпевненості і невизначеності [8]), коли ОПР, якщо вона навіть захоче, не може прийняти раціональне рішення.

Дескриптивна модель прийняття рішень базується на роботах Герберта Саймона, який запропонував поняття нормативної і дескриптивної моделей та довів: обмежена раціональність означає, що діяльність індивідів лежить в межах або границях допустимої раціональності (обмеженої раціональності та прийнятності). У таких випадках ОПР не має ні часу, ні можливостей для обробки всієї необхідної для усвідомленого вибору інформації, тому прийняті ними рішення є не стільки раціональними, скільки прийнятними.

Прийнятність означає, що ОПР вибирає перший варіант, що задовольняє мінімальним критеріям допустимості.

Дескриптивна модель ґрунтується на таких припущеннях:

- цілі рішення, як правило, не відрізняються визначеністю, знаходяться в конфлікті один з одним;
- раціональні процедури використовуються далеко не завжди, а якщо і застосовуються, то обмежуються спрощеним поглядом на проблему, що не відображає складності реальних подій;
- межі пошуку ОПР різних варіантів визначаються людськими, інформаційними та ресурсними обмеженнями;
- більшість ОПР задовольняється прийнятними рішеннями, це відбувається через обмеженість наявної у них інформації або через нечіткість критеріїв максимізації [9, 10].

Дескриптивна модель носить описовий характер, відображає реальний процес прийняття рішень у складних ситуаціях, а не диктує, як слід приймати їх відповідно до теоретичного ідеалу.

Дескриптивна модель прийняття рішень ґрунтується на інтуїції ОПР, під час інтуїтивного прийняття рішень використовується особистий досвід, а не послідовна логіка або чіткі правила. Інтуїція не є ірраціональною, оскільки вона базується на багаторічній практиці і здоровому глузді.

Звертаючись до своєї інтуїції, заснованій на багаторічному досвіді вирішення проблем, ОПР набагато швидше усвідомлюють, що виникла проблема, у них з'являється інтуїтивне передчуття, що підказує їм вибір необхідного варіанту, що значно прискорює процес прийняття рішень.

У дескриптивній моделі взаємозв'язки між елементами можуть бути описані у вигляді простих математичних рівнянь.

Недоліком дескриптивної моделі є те, що вона не відображає функціональні взаємозв'язки і обмеження, натомість вона створює основу для побудови більш складних моделей.

Дескриптивні моделі використовують певні технології та процедури, за якими ОПР може вибрати оптимальне рішення з урахуванням заданих обмежень і критеріїв. Описова (дескриптивна) модель є основою для побудови оптимізаційних моделей.

2.2.3 Політична модель прийняття рішень (модель Карнегі)

Політична модель прийняття рішень використовується, як правило, для прийняття незапрограмованих рішень в умовах невпевненості, обмеженості інформації та відсутності єдиної думки про те, яку мету переслідувати або яку лінію поведінки вибрати, оскільки такі рішення вимагають дискусії та вирішення конфліктів.

Модель Карнегі найбільш близька до реальних умов: рішення складні та вимагають участі багатьох людей, інформація найчастіше не дозволяє знайти однозначні висновки, а незгода, і навіть конфлікт, щодо вирішення проблеми є звичним явищем. Дескриптивна модель, модель Карнегі, а також інтуїція більшою мірою відповідають зовнішньому середовищу, коли рішення приймаються швидко в умовах високої невизначеності.

2.2.4 Модель інкрементального процесу прийняття рішень

Модель інкрементального процесу прийняття рішень запропонована Генрі Мінцбергом. Дана модель може бути використана для прийняття незапрограмованих рішень. Основна увага під час вирішення проблем зосереджена на структурній послідовності дій, що відбуваються протягом усього процесу прийняття рішень.

Генрі Мінцберг здійснив поділ процесу прийняття рішень на три фази:

- ідентифікація проблеми;
- розробка варіантів рішень;
- оцінка, вибір і прийняття рішення.

2.2.5 Модель «смітєвого ящика»

Модель «смітєвого ящика» була розроблена з метою пояснити схему прийняття рішень в умовах крайньої невизначеності.

Використання моделі «смітєвого ящика» має такі наслідки:

- рішення можуть бути запропоновані навіть тоді, коли проблема не виявлена і навіть не існує;

- вибір може бути зроблений без вирішення проблем;
- проблеми можуть залишатися невирішеними;
- деякі проблеми вирішуються.

Під час комп'ютерного моделювання моделі «сміттевого ящика» нерідко вирішувалися найважливіші проблеми, оскільки з'являлася можливість пов'язати проблеми з відповідними рішеннями та учасниками таким чином, що робився вдалий вибір рішення.

2.3 Роль нечітких множин у прийнятті рішень

Прийняття рішень в умовах повної невизначеності має істотний аспект, пов'язаний з таким [10]:

- нечітким баченням мети вибору;
- нечіткими оцінками альтернатив;
- нечіткими оцінками критеріїв;
- нечіткими оцінками відношення переваги альтернатив.

За таких умов, говорять про «невизначеність бажань і мети», коли ОПР не в змозі вибрати єдиний критерій та коли мета невідома.

У 1965 році, в рамках теорії нечітких множин, Лотфі Заде передбачив широке прикладне значення даної теорії до задач прийняття рішень [11].

В основі теорії Лотфі Заде лежить очевидний факт – суб'єктивні уявлення про мету завжди нечіткі, всі оцінки суб'єкта та обмеження нечіткі, навіть часто позбавлені кількісних характеристик.

З'явилася *лінгвістична змінна* – змінна, що описує об'єкт дослідження в словесній формі [12]. Наприклад, процес управління описується змінними: «ефективний», «неефективний», «малоефективний», «дуже ефективний», які не мають аналогів у мові традиційної математики. Основна ідея апарату, розробленого Лотфі Заде, по можливості зв'язати множину допустимих альтернатив, звівши їх до множини невідоміючих Парето-альтернатив.

Апарат теорії нечітких множин знайшов розвиток у роботах багатьох дослідників і сьогодні містить різноманіття підходів до технологій прийняття рішень на основі нечіткої інформації [9, 10].

Задачі прийняття рішень в умовах визначеності передбачають достатню і достовірну кількісну інформацію.

Методи математичного програмування застосовують коли [2]:

- задача добре формалізована, тобто існує адекватна математична модель реального світу;

- існує єдина цільова функція (критерій оптимізації), що дозволяє говорити про якість порівнюваних альтернативних варіантів;
- існує можливість кількісної оцінки значень цільової функції;
- задача має певні ступені свободи (ресурси оптимізації) – параметри функціонування системи, які можна змінювати в деяких межах у цілях поліпшення значення цільової функції.

Задачі прийняття рішень в умовах ризику мають місце, коли існує можливість описати отримання результату з певною вірогідністю.

Для побудови розподілу вірогідності отримання результату необхідно мати статистику результатів спостережень або знання експертів. Ці задачі займають місце між задачами в умовах визначеності і невизначеності.

Задачі прийняття рішень в умовах невизначеності мають місце, коли інформація, що необхідна для прийняття рішень, є неточною, неповною, не кількісною, багатокритеріальною, а формальні моделі досліджуваної системи дуже складні або відсутні.

2.4 Методи прийняття рішень в умовах багатокритеріальності

У середині минулого століття для вирішення задач прийняття рішень широкого розвитку набули методи дослідження операцій.

Основними етапами вирішення будь-якої задачі в дослідженні операцій є:

- побудова моделі;
- вибір критерію оптимальності;
- знаходження оптимального рішення.

Для цього підходу характерні такі особливості:

– передбачається, що модель правильно відображає дійсність, а критерії оптимальності призводять до єдиного рішення;

– на замовлення керівника аналітики досліджують проблему, зовнішнє середовище і будують адекватну модель, у даному випадку ОПР найчастіше не потрібна, аналітики самостійно знаходять вдале рішення;

– існує об'єктивний і єдиний критерій успіху в застосуванні методів дослідження операцій. Якщо проблема і критерій визначені, то аналітичний метод однозначно показує наскільки нове рішення краще старого.

Методи дослідження операцій добре працюють, коли є єдиний критерій, коли критеріїв декілька, ситуація істотно змінюється. Наприклад, нехай якась ІТ-компанія хоче мінімізувати час виконання проєкту, без збільшення на цей період заробітної плати програмістам, за умови надання максимуму функцій програмного застосунку для замовника та отримання компанією максимального прибутку.

Для уточнення співвідношень між критеріями необхідна додаткова інформація про можливі співвідношення цих критеріїв, дана інформація може бути отриманою тільки від ОПР в цій компанії.

Взагалі багатокритеріальні задачі, що виникли в ідеології методів дослідження операцій, мають одну загальну особливість: модель, що описує множину допустимих рішень – об'єктивна, але якість рішення оцінюється за багатьма критеріями. Для вибору найкращого варіанту вирішення необхідний компроміс між оцінками за різними критеріями. В умовах задачі відсутня інформація, що дозволяє знайти такий компроміс, тобто, неможливо аналітичним шляхом знайти співвідношення між критеріями.

Розглянемо постановку вирішення класичної задачі при двох умовах, коли, як критерії, використовуються «вартість» і «ефективність» будь-якого проєкту, наприклад, транспортної інформаційної системи міста. Моделі такого типу складаються з двох частин: моделі вартості та моделі ефективності.

Обидві моделі можна розглядати як об'єктивні: вони будуються на базі фактичних даних та надійного статистичного матеріалу. Однак, вихідні параметри цих моделей не можуть бути об'єднані аналітично, для цього необхідна думка керівника, який визначає значення вартості та ефективності.

Існує декілька евристичних прийомів, що дозволяють зробити обґрунтований висновок у такій ситуації.

У першому випадку ОПР задає гранично допустимі значення для всіх критеріїв, крім одного, по якому і проводиться оптимізація.

Наприклад, у випадку пари критеріїв «вартість-ефективність» ОПР задає граничне значення вартості, тому вартість з розряду критеріїв переходить в розряд обмежень. Рішення шукається для ефективності при обліку обмежень на вартість. Як правило, такий метод (перенесення частини критеріїв в обмеження) можливий лише при невеликій кількості критеріїв, що чітко і однозначно описують ситуацію. У складних випадках (при великій кількості критеріїв, невідомих наслідках) на початковому кроці для вибору співвідношення критеріїв використовується метод побудови множини Еджворта-Парето (множини Парето). Дана множина є областю максимально можливих значень параметрів, включаючи різні співвідношення між параметрами.

Наприклад, для завдання «вартість-ефективність» множина Еджворта-Парето може бути поданою у вигляді лінії на графіку, що є, по суті, різними варіантами співвідношень між критеріями оптимальності задачі.

Будь-яке з переліку оптимальних рішень лежить на цій лінії і завдання ОПР полягає в тому, щоб вибрати деяку точку на цій лінії.

При великій кількості критеріїв лінія перетворюється в багатовимірну область Парето, але і в цьому випадку зберігається її основна властивість – виділити область найбільш ефективних рішень.

Таким чином, класичні методи дослідження операцій можуть надати механізм знаходження області Парето, а вже у межах цієї області ОПР повинна вибрати рішення.

Розроблено методи узгодження критеріїв у багатокритеріальних задачах, їх можна розділити на декілька великих груп [4]:

– метод вагових коефіцієнтів важливості критеріїв, який заснований на отриманні додаткової інформації від ОПР та присвоєнні чисельних значень важливості критеріїв на основі цієї інформації. Задача зводиться до об'єднання багатьох критеріїв в один глобальний критерій, який визначається за формулою:

$$C_n = \sum_{i=1}^n w_i C_i, \quad (2.1)$$

де C_i – окремі критерії ($i = 1, \dots, N$);

w_i – ваги (коефіцієнти важливості критеріїв, їх сума дорівнює одиниці);

– метод подання рішення багатокритеріальної задачі у вигляді векторів. В основі цього методу лежить припущення, що ОПР може безпосередньо порівнювати рішення, що подаються йому у вигляді векторів через критеріальний простір, та систематично шукати в цьому просторі найкращий вектор. Одним із найбільш відомих різновидів цього методу є комп'ютерне подання на екрані дисплея у вигляді різних попарних сполучень критеріїв та вибору найкращого поєднання критеріїв шляхом їх послідовного попарного порівняння;

– методи подальшого дослідження переваг ОПР та вибір одного або декількох із існуючих методів, що найкращим чином вирішує поставлену задачу, наприклад, метод аналізу ієрархій.

2.5 Модель прийняття рішень в умовах багатокритеріальності

Моделювання як метод дослідження застосовується під час розробки достатньо складних управлінських рішень і є побудовою моделей або системи моделей досліджуваного об'єкта для його вивчення.

Дослідження моделей об'єктів дозволяє уточнити особливості та характеристики явищ, що вивчаються. Використання моделей об'єктів дозволяє проводити активні експерименти, які неможливо провести з самим об'єктом.

Дуже часто під час прийняття рішень в умовах невизначеності стає неможливим розрахунок конкретних показників (наявність відсутності даних), тому складно оцінити який з варіантів дій є найкращим.

При розробці моделей прийняття рішень враховують їх структуру [13]:

- мету (цілі);
- альтернативні стратегії;
- стан зовнішнього середовища;
- фактор часу.

Будь-яке рішення визначається поставленою метою, критерієм оптимальності або системою цілей, а вони, у свою чергу, повинні містити пріоритетні співвідношення, що показують відносну інтенсивність досягнення цільових функцій.

Альтернативні стратегії або очікувані варіанти дій дають можливість вибору оптимального рішення серед всіх можливих. Частковим випадком є вибір одного рішення при порівнянні дій лише з однією альтернативою.

Стан зовнішнього середовища – це сукупність зовнішніх факторів та їх майбутній розвиток, що характеризуються невизначеністю. Часто зазначена невизначеність пов'язана не з свідомими діями, а з непроінформованістю про середовище, в якому потрібно приймати рішення. Фактор часу є невід'ємним атрибутом моделі прийняття рішень, оскільки важливими є не лише терміни вибору оптимального варіанту, а й кількість кроків та ітерацій цього процесу.

Таким чином, враховуючи вищесказане, формалізована модель процесу прийняття рішення в умовах невизначеності має такий вигляд [4]:

$$\{F, B, Z, T, X, W, Q\}, \quad (2.2)$$

де F – моделювання та діагностика проблемної ситуації;

B – система обмежень (умови, в яких необхідно прийняти рішення);

Z – мета або множина цілей, яких треба досягти;

T – фактор часу;

X – множина допустимих рішень;

W – система переваг оцінювача;

Q – критерій вибору прийнятого рішення.

У реальних ситуаціях доводиться приймати рішення на підставі множини критеріїв [10].

Наприклад, під час вибору нового проєкту розглядаються такі критерії: тривалість виконання, доступність технологій, наявність спеціалістів. Декілька критеріїв роблять задачу прийняття рішень багатокритеріальною.

Задача багатокритеріального прийняття рішень визначається множиною можливих рішень A , векторним критерієм K і відношеннями переваг на множині A .

Для порівняння альтернатив на підставі критеріїв використовується критеріальна таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Критеріальна таблиця

	k_1	k_2	...	k_n
a_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
a_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
...	...	...	...	...
a_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}

У рядках знаходяться альтернативи, у стовпцях – критерії, на перетині рядків і стовпців – оцінка альтернатив по відповідним критеріям.

У теорії багатокритеріального аналізу метод структуризації альтернатив називають *вирішальним правилом*.

Пошук вирішення багатокритеріальної задачі не є проблемою, якщо перевага по одному критерію спричиняє за собою таку ж перевагу по іншому критерію, тобто критерії кооперуються.

Наприклад, під час покупки комп'ютера покупець прагне придбати сучасний та дорогий пристрій або, навпаки, скромний та недорогий пристрій.

Вирішення багатокритеріальної задачі також не є складним, якщо критерії нейтральні один відносно одного. У загальному випадку критерії конкурують один з одним. Наприклад, невисока вартість і престижність комп'ютера.

Аналіз таких ситуацій здійснюють за допомогою визначення множини Парето [5].

2.6 Технологія упорядкування багатокритеріальних альтернатив

Більшість задач під час прийняття рішень передбачають аналіз не однієї, а багатьох альтернатив, причому кожна альтернатива описується множиною значень критеріїв. Такі задачі, коли рішення приймається не за одним, а за кількома критеріями, називаються *багатокритеріальними*.

Багатокритеріальні задачі вирішуються як в умовах визначеності, так і невизначеності. Множина недомінуючих альтернатив підлягає структуризації. Поширеним методом впорядкування альтернатив є парне порівняння на основі якісної інформації з використанням «єдиної порядкової шкали».

Наприклад, необхідно упорядкувати студентів певної групи за балами, отриманими з дисциплін «Теорія прийняття рішень» та «Проектування інформаційних систем», виходячи із стобальної системи оцінок (бали менше 60 не беруться до уваги).

Припустимо, що дисципліна «Теорія прийняття рішень» важливіша, тоді виконаємо впорядкування поєднання балів так, як показано у таблиці 2.2.

Порівняння будь-якої пари студентів зводиться до пошуку в таблиці поєднань значень критеріїв і відповідних їм рангів. У таблиці 2.3 наведені результати ранжування студентів за результатами здачі екзаменів з дисциплін «Теорія прийняття рішень» та «Проектування інформаційних систем» на підставі даних таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Єдина порядкова шкала для ранжирування студентів

Ранг	Теорія прийняття рішень	Проектування інформаційних систем
1	90	90
2	90	75
3	90	60
4	75	90
5	75	75
6	75	60
7	60	90
8	60	75
9	60	60

Таблиця 2.3 – Ранжування студентів за результатами здачі двох екзаменів

№	ІБ студента	Оцінка з дисципліни «Теорія прийняття рішень»	Оцінка з дисципліни «Проектування інформаційних систем»	Ранг
1	Дорошенко Д.Д.	90	60	3
2	Іванов І.І.	90	90	1
3	Кондратенко К.К.	60	75	8
4	Петренко П.П.	75	75	5
5	Петров П.П.	90	75	2
6	Сидоров С.С.	60	60	9
7	Титаренко Т.Т.	60	90	7
8	Ушаков В.В.	75	90	4
9	Яровий Я.Я.	75	60	6

Недоліком методу впорядкування альтернатив є громіздкість побудови шкали при великій кількості критеріїв.

2.7 Приклад технології впорядкування багатокритеріальних альтернатив

Задача 2.1: Припустимо, що випускнику зі спеціальності «Комп'ютерні науки» необхідно вибрати ІТ-компанію для працевлаштування.

Особі, що приймає рішення, (випускнику) надано три альтернативних варіанти ІТ-компаній. Необхідно вибрати одну із трьох компаній, але ОПР не знає, якій дати перевагу.

Випускник вирішив, що головними критеріями для нього є:

- відстань до ІТ-компанії;
- заробітна плата;
- термін відпустки.

За цими критеріями ІТ-компанії *A*, *B* та *V* були оцінені так, як показано у таблиці 2.4.

Визначивши градації якості кращих, гірших і проміжних оцінок, побудуємо критеріальні шкали значень для оцінки усіх альтернатив.

Виходячи з цих даних необхідно порівняти вектори (123), (231) та (312), які відповідають ІТ-компаніям *A*, *B* та *V*.

Таблиця 2.4 – Критеріальний опис альтернативних місць роботи

ІТ-компанія	Відстань до ІТ-компанії	Заробітна плата	Термін відпустки
<i>А</i>	Мала	Середня	Короткотривала
<i>Б</i>	Середня	Мала	Довготривала
<i>В</i>	Велика	Велика	Середньотривала

Простежимо процес побудови *єдиної порядкової шкали*.

Спочатку сформуємо множину альтернатив *першої опорної ситуації*: {211, 311, 121, 131, 112, 113}, вона складається з шести векторних оцінок, які необхідно порівняти між собою та скласти відповідну матрицю попарних порівнянь (будемо вказувати в матриці тільки наддіагональні елементи).

Використовуватимуться такі позначення:

- 1 – елемент у рядку краще елемента у стовпці;
- 2 – елементи у рядку та стовпці рівнозначні;
- 3 – елемент у стовпці краще елемента у рядку;
- 0 – елементи у рядку та стовпці неможливо порівняти.

Вихідну матрицю з порівняннями на основі відношень домінування подано у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вихідна матриця порівнянь

	211	311	121	131	112	113
211		2	1	0	0	0
311			2	0	0	0
121				2	1	0
131					2	0
112						2
113						

Далі наведемо таку ж матрицю (табл. 2.6), але після того як ОПР провела перше порівняння та вказала, що векторна оцінка 211 переважніше векторної оцінки 121.

Виділена напівжирним шрифтом «1» (табл. 2.6) відображає висновок зроблений на основі *відношення транзитивності*: якщо відношення (211, 121) та відношення (121, 131) на думку ОПР відноситься до категорії «елемент у рядку краще елемента у стовпці», то відповідно до відношення домінування слідує, що на думку ОПР відношення (211, 131) також відноситься до категорії «елемент у рядку краще елемента у стовпці».

Таблиця 2.6 – Перше порівняння ОНР

	211	311	121	131	112	113
211	2	1	1	1	0	0
311		2	0	0	0	0
121			2	1	0	0
131				2	0	0
112					2	1
113						2

Потім ОНР пропонуються для порівняння векторні оцінки 211 та 112.

Повністю заповнена матриця порівнянь першої опорної ситуації, в якій виділені напівжирним шрифтом цифри вказують на елементи, що заповнені за транзитивним замиканням, подана у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати опитування ОНР

	211	311	121	131	112	113
211	2	1	1	1	1	1
311		2	3	3	3	1
121			2	1	3	1
131				2	3	1
112					2	1
113						2

Відповідно до отриманих результатів можна впорядкувати множину альтернатив першої опорної ситуації таким чином:

$$211 > 112 > 121 > 131 > 311 > 113.$$

Використовуючи дану шкалу, спробуємо впорядкувати вихідні три альтернативи за таким принципом: перше значення за будь-яким критерієм має ранг 1, друге значення за першим критерієм (211) має ранг 2, друге значення за третім критерієм (112) має ранг 3 і так далі.

Замінімо у кожній векторній оцінці, яка описує реальні альтернативи, число, що відображає оцінку за критерієм, на ранг цієї оцінки за єдиною порядковою шкалою. Результат подано в третьому стовпці таблиці 2.8.

Перепишемо знову отримані векторні оцінки в порядку зростання, результат подано у четвертому стовпці таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Векторні оцінки альтернативних місць роботи

ІТ-компанія	Векторна оцінка (вихідна)	Векторна оцінка за єдиною порядковою шкалою	Векторна оцінка за зростанням рангів
<i>А</i>	123	147	147
<i>Б</i>	231	251	125
<i>В</i>	312	613	136

Векторні оцінки можуть бути впорядковані на основі *відношення домінування*: векторна оцінка, яка описує ІТ-компанію *Б*, краще векторних оцінок, що описують ІТ-компанії *А* та *В*, векторна оцінка, яка описує ІТ-компанію *В*, краще векторної оцінки, яка описує ІТ-компанію *А*.

Таким чином, вдалося упорядкувати ІТ-компанії та визначити, що найкращою є ІТ-компанія *Б*.

2.8 Завдання для самостійного опрацювання розділу 2

Задача 2.2: Припустимо, що група приватних осіб вирішила організувати фонд для вкладення коштів у науково-технічні проекти прикладного характеру. Політика організатора фонду у вигляді переліку основних, важливих для нього критеріїв оцінки проєктів зі шкалою можливих значень по ним виглядає так:

- а) ступінь перевіреності задуму:
 - 1) є одиничні вироби;
 - 2) розроблено технологію;
 - 3) є ідея;
- б) окупність проєкту:
 - 1) менше півроку після початку виробництва;
 - 2) рік після початку виробництва;
 - 3) два роки і більше після початку виробництва;
- в) труднощі організації виробництва при наявності грошових ресурсів:
 - 1) малі;
 - 2) середні;
 - 3) великі;
- г) наявність попиту на продукт (виріб):
 - 1) великий попит;
 - 2) достатній попит;
 - 3) невизначений попит.

Необхідно описати процес побудови єдиної порядкової шкали.

2.9 Теоретичні завдання до розділу 2

1. Дайте визначення поняттю «процес прийняття рішень».
2. Дайте характеристику моделям прийняття рішень.
3. Дайте визначення поняттю «сміттєвий ящик».
4. Дайте характеристику ролі нечітких множин у прийнятті рішень.
5. Дайте визначення поняттю «лінгвістична змінна».
6. Дайте характеристику прийняттю рішень в умовах визначеності.
7. Дайте характеристику прийняттю рішень в умовах ризику.
8. Дайте характеристику прийняттю рішень в умовах невизначеності.
9. Дайте характеристику методам прийняття рішень в умовах багатокритеріальності.
10. Дайте характеристику моделям прийняття рішень в умовах багатокритеріальності.
11. Дайте визначення поняттю «багатокритеріальність».
12. Дайте визначення поняттю «єдина порядкова шкала».
13. Дайте визначення поняттю «перша опорна ситуація».
14. Дайте визначення поняттю «матриця попарних порівнянь».
15. Дайте визначення поняттю «відношення домінування».
16. Дайте визначення поняттю «транзитивне замикання».
17. Дайте визначення поняттю «друга опорна ситуація».
18. Дайте визначення поняттю «ранг».

3 ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

3.1 Прийняття рішень в управлінських інформаційних системах

Рішення – свідомий вибір того, як себе вести або мислити визначеним чином у даних обставинах [4].

Управлінське рішення – це результат конкретної діяльності, яка може істотно вплинути на ступінь досягнення цілей і завдань [7].

Управлінське рішення – це вибір альтернативи, що здійснює керівник у межах його посадових повноважень і компетенцій, цей вибір спрямований на досягнення цілей організації [7].

У ширшому розумінні *управлінське рішення* розглядають як основний вид управлінської праці, сукупність взаємопов'язаних, цілеспрямованих і логічно послідовних управлінських дій, які забезпечують реалізацію управлінських задач.

Успішні рішення є результатом процесу, що складається з таких етапів:

- ідентифікація проблеми;
- визначення мети і критеріїв для вибору рішення;
- розробка альтернатив;
- аналіз і порівняння альтернатив;
- вибір кращої альтернативи;
- застосування обраної альтернативи;
- контроль результатів для досягнення бажаних результатів.

Успіх чи невдача в прийнятті рішення часто залежать від того, наскільки добре здійснено кожний з етапів цього процесу.

Ідентифікація проблеми – центральна частина процесу, якщо не виконати її ретельно, то інші етапи процесу можуть одержати неправильний напрям.

Головна небезпека полягає у тому, що зусилля з вирішення проблеми можуть бути спрямовані скоріше на усунення факторів прояву проблеми, а не на саму проблему. Отже, проблема залишиться і може проявитися пізніше.

Особа, що приймає рішення, повинна визначити критерії оцінки можливих вирішень проблеми. Здатність до успішного вирішення проблеми часто залежить від того, наскільки успішно розроблені можливі альтернативи. У пошуку альтернатив завжди існує небезпека того, що одна або декілька потенційно кращих альтернатив не будуть взяті до уваги.

Слід зазначити, що обране оптимальне рішення може бути гіршим за дійсний оптимум, крім того, існує межа кількості можливих альтернатив.

Багато чого залежить від досвіду і творчих здібностей особи, що приймає рішення, та від характеру самої ситуації. Як правило, зусилля, витрачені на ретельне виявлення можливих альтернатив, приносять велику користь для загального вирішення проблеми. Для аналізу і порівняння альтернатив часто застосовують математичні або статистичні методи. Вибір найкращої альтернативи залежить від цілей, що стоять перед особою, яка приймає рішення, і від критеріїв, що використовувалися для оцінювання альтернатив.

«Застосування рішення» означає здійснення дій, визначених в обраній альтернативі. Ефективне прийняття рішення потребує перевірки результатів реалізації рішення, щоб переконатися у досягненні бажаного результату. Якщо бажаних результатів не отримано, то необхідно повторити весь процес заново. Якщо аналіз ситуації виявить помилку у виконанні, помилку у розрахунках або неправильне вихідне припущення, то в цьому випадку потрібно швидко виправити становище.

Процес прийняття рішення не завжди відбувається послідовно. Часто доводиться повертатися назад і починати все спочатку, особливо під час розробки та аналізу альтернатив. Будь-якому вчинку індивіда чи дії колективу передують прийняте рішення. Рішення є універсальною формою поведінки як окремої особи, так і соціальних груп, ця універсальність пояснюється свідомим та цілеспрямованим характером людської діяльності.

Вирішення проблем: великих і малих, складних і простих, важливих і другорядних – становить сутність процесу управління. Наслідки певних рішень можуть зачепити інтереси однієї людини, декількох персон, колективів, регіонів, суспільства у цілому.

Важливою рисою управлінського рішення є те, що воно приймається при наявності назрілої проблеми. У зв'язку з тим, що проблеми виникають при управлінні будь-яким об'єктом, функція прийняття рішень полягає в постійному вирішенні задач у цьому процесі.

Дана задача спрямована на визначення найкращого способу ефективного досягнення поставлених цілей, під якими розуміють ідеальне подання бажаного стану об'єкта управління і результату діяльності. Сутність задачі ухвалення рішення полягає у розробці плану дій з вирішення проблем.

Проблеми найчастіше виникають, якщо функціонування систем об'єкта та управління ним на даний час не відповідає досягненню намічених цілей, функціонування системи не зможе забезпечити це в майбутньому.

Проблема завжди залежить від певних умов, які ще називають *ситуацією*. Сукупність проблеми та умов її виникнення створюють проблемну ситуацію. Отже, проблемою, що потребує ухвалення рішення, прийнято називати ситуацію, яка характеризується розбіжністю між необхідним і фактичним станом системи, що перешкоджає її розвитку та нормальному функціонуванню. Проблема може бути критичною, якщо дана ситуація загрожує самому існуванню об'єкта або системі управління ним.

3.2 Класифікація управлінських рішень і вимоги до їх прийняття

Під час класифікації управлінських рішень їхній вид визначається, виходячи з характеру задач для прийняття рішень.

Застосовують такі елементи для класифікації [12]:

- визначеність інформації;
- особа, що приймає рішення;
- ступінь охоплення об'єкта управління;
- термін дії і характер цілей;
- задачі прийняття рішень;
- кількість цілей;
- частота прийняття рішень.

Визначеність інформації характеризується вірогідністю даних, що використовуються під час ухвалення управлінського рішення, за цією ознакою виділяються групи рішень, прийнятих в умовах [8, 10]:

- визначеності;
- ймовірної визначеності;
- невизначеності;
- ризику конфлікту.

Рішення, прийняті в умовах визначеності, характеризуються наявністю повної та достовірної інформації щодо проблемної ситуації, мети, обмежень і наслідків реалізації рішень. У цій ситуації цілі та обмеження формально визначаються у вигляді цільових функцій і рівнянь.

Функція переваги у випадку однієї мети збігається з цільовою функцією при множині цілей з функціональною залежністю цільових функцій. Рішення визначаються максимумом або мінімумом цільової функції, така ситуація дозволяє змодельовати формальну математичну модель задачі прийняття рішень.

Прийняття рішень за допомогою ймовірної визначеності формується на підставі теорії статистичних рішень. У цьому випадку неповнота та невірогідність інформації доповнюється розглядом випадкових подій і процесів. Закономірності поведінки випадкових об'єктів описуються за допомогою ймовірних характеристик.

Невизначеність пов'язана з неповнотою та вірогідністю інформації, яка не дозволяє побудувати математичну модель задачі з визначення оптимального рішення, у цьому випадку основна роль у вирішенні задач з інформаційної невизначеності належить особам, що приймають рішення стосовно об'єкта управління.

Управлінські рішення залежать від визначених вимог, що забезпечують виконання поставлених задач.

До найважливіших вимог відносяться [3, 4]:

- наукова обґрунтованість;
- повноважність;
- директивність;
- гнучкість;
- точність;
- своєчасність;
- ефективність;
- економічність.

Наукова обґрунтованість. Рішення повинне формулювати об'єктивні закономірності розвитку об'єкта і системи його управління. Кожне рішення необхідно приймати на основі достовірної інформації.

Повноважність. Рішення повинне прийматися відповідним органом чи особою, що має право приймати дане рішення.

Директивність означає регламентовану націленість рішення.

Гнучкість. Рішення повинне передбачати можливість змін у розвитку об'єкта і системи його управління.

Точність. Рішення повинне бути точним, щоб було краще виконавцям засвоїти його характер.

Своєчасність. Несвоєчасно прийняте рішення не тільки недостатньо ефективне, але й шкідливе.

Ефективність полягає в тому, щоб забезпечити досягнення намічених у рішенні цілей при оптимальних витратах усіх видів ресурсів (природних, трудових, матеріальних, фінансових).

Економічність. Рішення повинне бути економічно виправданим.

3.3 Групи задач прийняття управлінських рішень

Задачі прийняття рішень *першої* групи.

Дано: n альтернатив (варіантів вирішення проблеми) і N критеріїв, призначених для оцінки альтернатив. Припустимо, що кожна з альтернатив має оцінку по кожному з критеріїв, яка отримана або від експертів, або на підставі об'єктивних розрахунків.

Потрібно: побудувати вирішальні правила на основі переваг ОПР, що дозволяють [4]:

- виділити кращу альтернативу;
- упорядкувати альтернативи за якістю;
- віднести альтернативи до впорядкованих за якістю класами рішень.

Прикладом задач першої групи є багатокритеріальна оцінка наявних ІТ-компаній, наприклад, для розробки муніципальної інформаційної системи. У даному випадку всі можливі альтернативи задані, критерії визначені ОПР, оцінки реальних альтернатив за критеріями дають, як правило, експерти. Від ОПР потрібно побудувати правило порівняння об'єктів, що мають оцінки за багатьма критеріями.

Задачі прийняття рішень *другої* групи.

Дано: N критеріїв, призначених для оцінки будь-яких можливих n альтернатив, альтернативи або задані частково, або з'являються після побудови вирішального правила.

Потрібно: на підставі переваг ОПР побудувати вирішальні правила, що дозволяють:

- упорядкувати за якістю всі можливі альтернативи;
- віднести всі можливі альтернативи до одного з декількох класів рішень.

Прикладом задач другої групи є побудова правила прийняття рішень для відповідного департаменту міської ради, що займається пошуком ІТ-компанії для розробки муніципальної інформаційної системи. Процес вибору можливих варіантів ІТ-компаній для розробки інформаційної системи ще не розпочався, але критерії оцінки і вирішальне правило повинні бути визначені заздалегідь.

Зазвичай, альтернативних варіантів виявляється багато, і можна припустити, що вони будуть досить різноманітними за оцінками. Критерії і вирішальне правило визначає ОПР, а після цього знаходять множину альтернативних варіантів ІТ-компаній, які оцінюються експертами за заданими критеріями. Вирішальне правило дозволяє відразу отримати цілісну оцінку щодо визначеної проблеми та прийняти правильне рішення.

Представлені вище дві групи задач прийняття рішень стають дуже близькими під час розгляду в рамках першої задачі великого числа досить різноманітних (за своїми оцінками) альтернатив, але при малому числі заданих альтернатив методи вирішення задач прийняття рішень першої та другої груп істотно розрізняються.

Розглянемо приклад. У силу сприятливих обставин жителі одного із міст якоїсь країни стали частіше виїжджати за кордон. Існуючі аеропорти, що були розташовані біля міста *M*, не відповідали за своїми можливостями новому потоку пасажирів. Виникла необхідність автоматизувати процес пошуку для будівництва ще одного аеропорту біля міста *M*.

Уряд цієї країни призначив комісію для вибору місця під будівництво аеропорту. Комісія обстежила різні ділянки територій біля міста, де будівництво аеропорту потрібного розміру було б можливим.

Після численних дискусій вдалося визначити три основні критерії для оцінки варіантів розташування аеропорту:

- вартість будівництва (бажано побудувати аеропорт із заданою пропускнуою спроможністю за найменшу ціну);
- відстань від міста (бажано, щоб поїздка пасажирів від аеропорту до міста та від міста до аеропорту займала найкоротший час);
- мінімальний вплив шуму (кількість людей, що піддаються небажаному шумовому впливу, повинна бути, по можливості, мінімальною).

Слід зазначити, що всі ці критерії суперечливі. Будівництво аеропорту на великій відстані від міста потребує, звісно, менших витрат, хоча час поїздки до аеропорту від міста буде більшим. Суперечливі також критерії відстані від міста та числа людей, що піддаються шумовому впливу.

Виникає складна задача знаходження компромісу між критеріями для вибору найкращої ділянки території під будівництво аеропорту, дана задача відноситься до неструктурованих задач.

Усі критерії мають цілком відомий об'єктивний зміст, а оцінки за критеріями – кількісне вираження, але немає єдиної кількісної моделі, яка описує проблему в цілому, є лише множина, що складається з трьох суб'єктивних критеріїв.

Необхідно вибрати одну із заданих альтернатив (місце для будівництва аеропорту), де досягається найкращий, з точки зору комісії, компроміс між критеріями. Для вирішення таких задач будуються моделі, що описують переваги ОПР (у даному випадку комісії), застосування яких дозволяє зробити кращий вибір.

3.4 Технологія прийняття управлінських рішень

Одним із найскладніших етапів раціональної технології прийняття рішень є етап опрацювання альтернативних варіантів вирішення конкретної проблеми. Недостатня їх кількість спричиняє велику ймовірність прийняття неоптимального рішення. У той же час генерування альтернатив вимагає значних інтелектуальних зусиль і витрат часу. Суттєво полегшити цю роботу спроможні методи творчого пошуку альтернатив, які застосовуються в індивідуальному режимі або під час колективного творчого пошуку, або придатні для використання в обох зазначених випадках.

Залежно від інформаційних умов, в яких приймаються рішення, методи їх обґрунтування поділяються на три великі групи [8]:

- методи, що застосовуються в умовах повної визначеності інформації про ситуацію прийняття рішення (математичного програмування та аналітичні);
- методи, що застосовуються в умовах ймовірнісної визначеності інформації про ситуацію прийняття рішення (математичного програмування та статистичні);
- методи, що застосовуються в умовах невизначеності інформації про ситуацію прийняття рішення (теоретико-ігрові).

Щодо останньої групи методів невизначеність ситуації може бути наслідком дії об'єктивних обставин, які невідомі або носять випадковий характер (використання методів теорії статистичних рішень), або вона обумовлена свідомими діями розумного суперника (застосування теорії ігор).

3.5 Приклад технології порядкової класифікації альтернатив

Задача 3.1: Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв, $K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}\}$ – шкала другого критерію.

Необхідно описати процедуру опитування ОПР, якщо вона закінчилася результатом, поданим у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розбиття за двома критеріями на класи Y_1 і Y_2

	k_{21}	k_{22}	k_{23}
k_{11}	Y_1	Y_1	Y_2
k_{12}	Y_1	Y_1	Y_2
k_{13}	Y_1	Y_1	Y_2

Перший крок процедури опитування ОПР подано у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розбиття за двома критеріями на два класи. Крок 1

K_1	K_2	G	d_1	d_2	p_1	p_2	g_1	g_2	F_1	F_2	F
1	1	1	0	4	1	0	0	0	0	0	0
1	2	1, 2	1	3	0,75	0,25	0	4	0	1	1
1	3	1, 2	2	2	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	1
2	1	1, 2	1	3	0,75	0,25	0	4	0	1	1
2	2	1, 2	2	2	0,5	0,5	2	2	1	1	2
2	3	1, 2	3	1	0,25	0,75	4	0	1	0	1
3	1	1, 2	2	2	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	1
3	2	1, 2	3	1	0,25	0,75	4	0	1	0	1
3	3	2	4	0	0	1	0	0	0	0	0

Розглянемо процес створення таблиці 3.2.

У стовпцях K_1 та K_2 описано всі альтернативи в лексикографічному порядку від найкращої до найгіршої (вказується тільки номер значення на шкалі критерію). Наприклад, замість k_{13} у стовпці K_1 вказана «3», а замість k_{21} у стовпці K_2 вказується «1».

У стовпці G міститься множина номерів класів, допустимих для даної альтернативи. Очевидно, що найкраща альтернатива (1, 1) повинна належати першому класу Y_1 , а найгірша (3, 3) – другому класу Y_2 . Для всіх інших альтернатив до початку опитування немає інформації про переваги ОПР, тому для них допустимі всі класи – Y_1 та Y_2 .

Далі буде використовуватися таке поняття, як *центр класу* Y_m .

Y_m – це такий вектор, який є середнім арифметичним векторів, що належать даному класу:

$$C_m = (C_{m1}, C_{m2}). \quad (3.1)$$

До початку опитування в обох класах міститься по одному вектору, тому вектор (1, 1) є центром першого класу Y_1 , а (3, 3) – центром другого класу Y_2 .

У стовпці d_1 міститься відстань від даної альтернативи до центру першого класу Y_1 , вона дорівнює сумі модулів різниць відповідних векторів.

Наприклад, відстань від альтернативи (2, 3) до вектора (1, 1) – центру першого класу Y_1 обчислюється таким чином:

$$|2 - 1| + |3 - 1| = 1 + 2 = 3.$$

Аналогічним чином обчислюється відстань від даної альтернативи до центру другого класу Y_2 , результати заносяться у стовпець d_2 .

Наприклад, відстань від альтернативи (2, 1) до вектора (3, 3) – центру другого класу Y_2 обчислюється таким чином:

$$|2 - 3| + |1 - 3| = 1 + 2 = 3.$$

Очевидно, що серед усіх пар альтернатив найбільша відстань $D = 4$ (між найкращою альтернативою і найгіршою альтернативою).

У стовпці p_1 міститься міра близькості альтернативи до першого класу Y_1 . Міра близькості альтернативи, що належить до цього класу, повинна дорівнювати «1», а якщо не належить – «0». Для всіх інших альтернатив ця міра обчислюється за такою формулою:

$$p_1 = (D - d_1) / (D - d_1 + D - d_2), \quad (3.2)$$

$$p_1 = (4 - d_1) / (8 - d_1 - d_2).$$

Наприклад, міра близькості альтернативи (2, 3) до першого класу Y_1 обчислюється таким чином:

$$p_1 = (4 - 3) / (8 - 3 - 1) = 1/4 = 0,25.$$

Аналогічним чином обчислюється міра близькості альтернативи до другого класу Y_2 , результати заносяться у стовпець p_2 :

$$p_2 = (D - d_2) / (D - d_1 + D - d_2), \quad (3.3)$$

$$p_2 = (4 - d_2) / (8 - d_1 - d_2).$$

Наприклад, міра близькості альтернативи (2, 3) до другого класу Y_2 обчислюється таким чином:

$$p_2 = (4 - 1) / (8 - 3 - 1) = 3/4 = 0,75.$$

Очевидно, що:

$$0 \leq p_1 \leq 1, \quad (3.4)$$

$$0 \leq p_2 \leq 1, \quad (3.5)$$

$$p_1 + p_2 = 1. \quad (3.6)$$

Міра близькості альтернативи до певного класу тим більша, чим менша відстань між альтернативою і відповідним класом (тобто вважається, що в цьому випадку більша ймовірність того, що альтернатива буде віднесена до цього класу).

У стовпці g_1 міститься кількість додаткової інформації, яка стає відомою, якщо ОПР віднесе альтернативу до першого класу Y_1 . Наприклад, якщо ОПР віднесе альтернативу (2, 2) до першого класу Y_1 , то всі кращі від неї альтернативи, очевидно, що не потраплять в гірший другий клас Y_2 .

Так як у нас всього два класи, то з цього випливає, що кращі альтернативи, потраплять в перший клас Y_1 . Кращими, ніж альтернатива (2, 2), є альтернативи (1, 1), (1, 2) і (2, 1).

Те, що альтернатива (1, 1) належить першому класу Y_1 , було відомо і раніше, тому новою ця інформація буде тільки для альтернатив (1, 2) і (2, 1).

Таким чином, кількість додаткової інформації, яка стає відомою, якщо ОПР віднесе альтернативу (2, 2) до першого класу Y_1 , дорівнює «2».

У стовпці g_2 міститься кількість додаткової інформації, яка стає відомою, якщо ОПР віднесе альтернативу до другого класу Y_2 . Наприклад, якщо ОПР віднесе альтернативу (2, 2) до другого класу Y_2 , то всі гірші альтернативи, очевидно, що не потраплять в кращий перший клас Y_1 . Найгіршими, ніж альтернатива (2, 2), є альтернативи (2, 3), (3, 2) та (3, 3).

Те, що альтернатива (3, 3) належить другому класу Y_2 , було відомо і раніше, тому новою ця інформація буде тільки для альтернатив (2, 3) та (3, 2).

Таким чином, кількість додаткової інформації, яка стає відомою, якщо ОПР віднесе альтернативу (2, 2) до другого класу Y_2 , дорівнює «2».

У стовпці F_1 міститься інформативність альтернативи щодо першого класу Y_1 . Інформативність F_1 обчислюється за такою формулою:

$$F_1 = p_1 \cdot g_1. \quad (3.7)$$

Аналогічно обчислюється інформативність альтернативи щодо другого класу Y_2 , результати заносяться у стовпець F_2 :

$$F_2 = p_2 \cdot g_2. \quad (3.8)$$

У стовпці F міститься інформативність альтернативи. Інформативність альтернативи F обчислюється за такою формулою:

$$F = F_1 + F_2. \quad (3.9)$$

Таким чином, альтернатива (2, 2) – найінформативніша альтернатива, вона пред’являється ОПР для віднесення до одного із класів.

Згідно таблиці 3.1 ОПР віднесла альтернативу (2, 2) до першого класу Y_1 . Тоді і кращі альтернативи (1, 2) та (2, 1) теж повинні бути віднесені до першого класу Y_1 .

Другий крок процедури опитування ОПР подано у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розбиття за двома критеріями на два класи. Крок 2

K_1	K_2	G	d_1	d_2	p_1	p_2	g_1	g_2	F_1	F_2	F
1	1	1	1	4	1	0	0	0	0	0	0
1	2	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0
1	3	1, 2	2	2	0,5	0,5	0	1	0	0,5	0,5
2	1	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0
2	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0
2	3	1, 2	2	1	0,4	0,6	1	0	0,4	0	0,4
3	1	1, 2	2	2	0,5	0,5	0	1	0	0,5	0,5
3	2	1, 2	2	1	0,4	0,6	1	0	0,4	0	0,4
3	3	2	3	0	0	1	0	0	0	0	0

Так як перший клас Y_1 поповнився трьома новими альтернативами, необхідно перерахувати координати центру $C_1 = (C_{11}, C_{12})$ цього класу.

Відповідно зміниться відстань d_1 , міра p_1 та міра p_2 .

Необхідно також перерахувати і кількість додаткової інформації g_1 та g_2 , для вже прокласифікованих альтернатив ця кількість дорівнює «0». Для всіх інших альтернатив необхідно перерахувати кількість додаткової інформації g_1 .

Відповідно зміняться інформативності F_1 , F_2 та F .

Отже, (1, 3) і (3, 1) – найінформативніші альтернативи. Випадковим чином вибираємо одну з них. Нехай це буде альтернатива (1, 3), вона пред’являється ОПР для віднесення до одного із класів.

Згідно таблиці 3.1 ОПР віднесла альтернативу (1, 3) до другого класу Y_2 , тоді і гірша альтернатива (2, 3) повинна бути віднесена до другого класу Y_2 .

Третій крок процедури опитування ОПР подано у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розбиття за двома критеріями на два класи. Крок 3

K_1	K_2	G	d_1	d_2	p_1	p_2	g_1	g_2	F_1	F_2	F
1	1	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0
1	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0
1	3	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0
2	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0
2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	3	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0
3	1	1, 2	2	3	1	0	0	0	0	0	0
3	2	1, 2	2	2	0,5	0,5	1	0	0,5	0	0,5
3	3	2	3	1	0	1	0	0	0	0	0

Так як другий клас Y_2 поповнився двома новими альтернативами, необхідно перерахувати координати центру $C_2 = (C_{21}, C_{22})$ цього класу.

Відповідно зміниться відстань d_2 , міра p_1 та міра p_2 .

У процесі розрахунків виявилось, що альтернатива (3, 1) повинна бути віднесеною до першого класу Y_1 , так як значення $p_1 = 1$, згідно таблиці 3.1 ОПР також віднесла альтернативу (3, 1) до першого класу Y_1 .

Необхідно також перерахувати і кількість додаткової інформації g_1 та g_2 , для вже прокласифікованих альтернатив ця кількість дорівнює «0». Для всіх інших альтернатив необхідно перерахувати кількість додаткової інформації g_2 .

Відповідно зміняться інформативності F_1 , F_2 та F .

Таким чином, (3, 2) – найінформативніша альтернатива, вона пред’являється ОПР для віднесення до одного із класів.

Згідно таблиці 3.1 ОПР віднесла альтернативу (3, 2) до першого класу Y_1 , тоді краща альтернатива (3, 1) повинна бути віднесена до першого класу Y_1 .

Всі альтернативи прокласифіковані.

3.6 Технологія технології вибору найкращої альтернативи

Задача вибору або прийняття рішень є однією з центральних у будь-якій сфері людської діяльності [1]. Рішення приймаються для досягнення конкретної мети або бажаних результатів, які необхідно отримати в ході планованої операції. ОПР робить раціональний вибір або ухвалює якнайкраще рішення.

Якнайкраще рішення є тією з альтернатив, яка розглядається ОПР як найголовніший претендент на звання «рішення». Вербально «якнайкраще рішення» можна визначити як альтернативу, яку ОПР виділяє серед інших, якій він постійно віддає перевагу порівняно з будь-якою іншою альтернативою. Технології прийняття рішень допускають, що якнайкращих рішень може бути декілька (еквівалентних між собою).

Множинність якнайкращих альтернатив виникає з неможливості їх розрізнити при даному рівні деталізації переваг ОПР, як при множині Парето.

Задача 3.2: Припустимо, що сім'я вирішила зняти дачу на літній сезон, був складений такий список критеріїв:

а) відстань від міста до станції:

- 1) менше півгодини на електричці;
- 2) від півгодини до години на електричці;
- 3) більше години на електричці;

б) відстань від станції до дачі:

- 1) пішки до 15 хвилин;
- 2) автобусом від 10 до 20 хвилин;

в) вартість оренди дачі на літо:

- 1) нижча за встановлену для аналогічних об'єктів;
- 2) відповідає встановленій для аналогічних об'єктів;
- 3) вища за встановлену для аналогічних об'єктів;

г) наявність магазину в селищі:

- 1) є;
- 2) немає або розташований дуже далеко;

д) наявність поруч лісу:

- 1) є;
- 2) немає;

е) наявність поруч з дачею місця для купання:

- 1) є;
- 2) немає;

є) тиша на дачі:

- 1) повна;
- 2) час від часу шумно;
- 3) шумно;

ж) якість ґрунту:

- 1) хороший ґрунт;
- 2) поганий ґрунт.

Потрібно порівняти два варіанти літньої дачі, що подані в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Варіанти літньої дачі

Варіант 1	Варіант 2
менше півгодини на електричці	від півгодини до години на електричці
пішки до 15 хвилин	пішки до 15 хвилин
ціна відповідає встановленій	ціна нижче встановленої
магазину немає	магазину немає
лісу немає	ліс є
немає річки	є річка
час від часу шумно	повна тишина
гарний ґрунт	поганий ґрунт

Спочатку необхідно проранжувати недоліки кожної альтернативи, результати ранжування подані у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Ранжування недоліків

Варіант 1	Ранг	Ранг	Варіант 2
менше півгодини на електричці		1	від півгодини до години на електричці
пішки до 15 хвилин			пішки до 15 хвилин
ціна відповідає встановленій	2		ціна нижче встановленої
магазину немає			магазину немає
лісу немає	4		ліс є
немає річки	3		є річка
час від часу шумно	1		повна тишина
гарний ґрунт		2	поганий ґрунт

З кращих оцінок варіантів за критеріями утворюється *базовий варіант*, який є найкращою альтернативою. Потім в базовий варіант вводяться гірші оцінки реальних варіантів (табл. 3.7) і отримані варіанти пред'являються ОПР.

Таблиця 3.7 – Варіанти для першого порівняння

Варіант 1-1	Варіант 2-1
<i>менше півгодини на електричці</i>	від півгодини до години на електричці
пішки до 15 хвилин	пішки до 15 хвилин
ціна відповідає встановленій	ціна нижче встановленої
магазину немає	магазину немає
лісу немає	ліс є
немає річки	є річка
час від часу шумно	<i>повна тишина</i>
гарний ґрунт	поганий ґрунт

Нехай ОПР вибирає з них варіант 1-1, як більш кращий.

Введемо у варіант 1-1 наступний недолік варіанта 1 (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Варіанти для другого порівняння

Варіант 1-2	Варіант 2-1
<i>менше півгодини на електричці</i>	від півгодини до години на електричці
пішки до 15 хвилин	пішки до 15 хвилин
ціна відповідає встановленій	<i>ціна нижче встановленої</i>
магазину немає	магазину немає
лісу немає	ліс є
немає річки	є річка
час від часу шумно	<i>повна тишина</i>
гарний ґрунт	поганий ґрунт

Нехай ОПР вибирає з них варіант 2-1, як більш кращий.

За відповіддю ОПР можна зробити висновок, що два основних недоліки варіанту 1 більш істотні, ніж один основний недолік варіанту 2.

Потім в базовий варіант вводяться найгірші оцінки реальних варіантів, що залишилися (табл. 3.9) і отримані варіанти пред'являються ОПР.

Нехай ОПР вибирає з них варіант 2-2, як більш кращий.

За відповіддю ОПР можна зробити висновок, що два останніх недоліки варіанту 1 більш істотні, ніж один недолік варіанту 2, що залишився.

На основі відповідей ОПР можна зробити висновок, що варіант 2 краще варіанту 1.

Таблиця 3.9 – Варіанти для третього порівняння

Варіант 1-3	Варіант 2-2
менше півгодини на електричці	від півгодини до години на електричці
пішки до 15 хвилин	пішки до 15 хвилин
ціна відповідає встановленій	ціна нижче встановленої
магазину немає	магазину немає
лісу немає	ліс є
немає річки	є річка
час від часу шумно	повна тишина
гарний ґрунт	поганий ґрунт

Отже, для виділення єдиної якнайкращої альтернативи є тільки один шлях – послідовне уточнення переваг ОПР за додатковими аспектами (принцип вкладених відношень).

Суть концепції раціональних рішень полягає в тому, що вирішальним аргументом при прийнятті рішення, тобто при свідомому виборі якнайкращого варіанта серед інших, є логічно-несуперечлива, повна і кількісно підтверджена система доказів.

Вводиться ряд припущень про поведінку людини, які називаються аксіомами раціональної поведінки [4, 7, 10].

Раціональний вибір означає припущення, що рішення є результатом упорядкованого процесу мислення. Слово «впорядкований» визначається фахівцями в строгій математичній формі.

3.7 Завдання для самостійного опрацювання матеріалу розділу 3

Задача 3.3: Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв, $K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}\}$ – шкала другого критерію.

Необхідно описати процедуру опитування ОПР, якщо вона закінчилася результатом, поданим у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Розбиття за двома критеріями на класи Y_1 та Y_2

	k_{21}	k_{22}	k_{23}
k_{11}	Y_1	Y_1	Y_1
k_{12}	Y_2	Y_2	Y_2
k_{13}	Y_2	Y_2	Y_2

Задача 3.4: Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв, $K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}\}$ – шкала другого критерію.

Необхідно описати процедуру опитування ОПР, якщо вона закінчилася результатом, поданим у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Розбиття за двома критеріями на класи Y_1 та Y_2

	k_{21}	k_{22}	k_{23}
k_{11}	Y_1	Y_1	Y_1
k_{12}	Y_1	Y_2	Y_2
k_{13}	Y_1	Y_2	Y_2

Задача 3.5: Нехай $K = \{K_1, K_2\}$ – множина критеріїв, $K_1 = \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\}$ – шкала першого критерію, $K_2 = \{k_{21}, k_{22}, k_{23}\}$ – шкала другого критерію.

Необхідно описати процедуру опитування ОПР, якщо вона закінчилася результатом, поданим у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Розбиття за двома критеріями на класи Y_1 та Y_2

	k_{21}	k_{22}	k_{23}
k_{11}	Y_1	Y_1	Y_2
k_{12}	Y_1	Y_1	Y_2
k_{13}	Y_2	Y_2	Y_2

Задача 3.6: Припустимо, що необхідно розробити інформаційну систему з прокладання трас газопроводу, експертами надано такий список критеріїв:

а) вартість:

- 1) дешево;
- 2) дорого;

б) можливий вплив на екологію:

- 1) малий;
- 2) великий;

в) ймовірність можливої аварії:

- 1) мала;
- 2) велика;

г) можливі наслідки аварії:

- 1) малі;
- 2) великі;

д) складність відновлення після можливої аварії:

- 1) швидка ліквідація наслідків;
- 2) тривале відновлення;

е) вплив можливого невідомого фактору:

- 1) достатня визначеність;
- 2) невизначена ситуація.

Потрібно порівняти два варіанти траси газопроводу (табл. 3.13).

Таблиця 3.13 – Варіанти газопроводу

Морський	Обхідний
дешево	дорого
малий	великий
велика	мала
малі	великі
тривале відновлення	швидка ліквідація наслідків
невизначена ситуація	достатня визначеність

3.8 Теоретичні запитання до розділу 3

1. Дайте визначення поняттю «рішення».
2. Дайте визначення поняттю «управлінське рішення».
3. Дайте характеристику етапам прийняття управлінського рішення.
4. Дайте визначення поняттю «ідентифікація проблеми».
5. Дайте характеристику класифікації управлінських рішень.
6. Дайте визначення поняттю «наукова обґрунтованість рішень».
7. Дайте визначення поняттю «повноважність рішень».
8. Дайте визначення поняттю «директивність рішень».
9. Дайте визначення поняттю «ефективність рішень».
10. Дайте характеристику групам задач прийняття управлінських рішень.
11. Дайте визначення поняттю «центр непорожнього класу».
12. Дайте визначення поняттю «відстань до центру класу».
13. Дайте визначення поняттю «міра близькості альтернативи до класу».
14. Дайте визначення поняттю «інформативність альтернативи».
15. Дайте визначення поняттю «відносні недоліки альтернатив».
16. Дайте визначення поняттю «базовий варіант».
17. Дайте визначення поняттю «компенсація недоліків».

4 ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ АЛЬТЕРНАТИВ

4.1 Типи задач прийняття рішень при багатьох критеріях

При пошуку рішень в багатокритеріальних задачах основною проблемою є те, що критерії, які описують мету, суперечливі. Максимізуючи рішення за одним критерієм, ми одночасно погіршуємо його за іншими критеріями, тому задача пошуку оптимального рішення зводиться, в першу чергу, до пошуку оптимальних співвідношень між критеріями.

Вихідні дані до задачі не містять інформацію про оптимальні співвідношення, тому необхідно отримати додаткову інформацію. До такої додаткової інформації відносяться переваги ОПР та оцінки експертів (фахівців). Як правило, дана інформація задана в якісному вигляді – у вигляді переваг, співвідношень краще-гірше або системою рангів, тому ключовим моментом у пошуку оптимального рішення є аналіз цієї інформації.

Задачу прийняття рішення в залежності від ступеня формулювання можливих альтернатив можна розділити на два великі класи:

а) задані всі альтернативи і описують їх критерії.

Завдання формулюється так: є група з n альтернатив-варіантів вирішення проблеми і N критеріїв, призначених для оцінки альтернатив, кожна з альтернатив має оцінку (якісну або кількісну) по кожному з критеріїв.

Рішення зводиться до побудови вирішальних правил на основі переваг ОПР, що дозволяють [4]:

- 1) впорядкувати альтернативи за якістю;
- 2) віднести альтернативи до впорядкованих за якістю рішень;
- 3) виділити кращу альтернативу;

б) задана група з N критеріїв, що описують якість рішення, альтернативи або задані частково, або формулюються після побудови вирішальних правил.

Рішення, як і в попередньому випадку, зводиться до побудови вирішальних правил на підставі переваг ОПР, що дозволяють:

- 1) впорядкувати за якістю всі можливі альтернативи;
- 2) віднести всі можливі альтернативи до одного із декількох (зазначених ОПР) класів рішень.

До найбільш відомих підходів для вирішення цих класів задач відносяться:

- багатокритеріальна теорія корисності (Multi-Attribute Utility Theory);
- метод аналітичної ієрархії (Analytic Hierarchy Process);
- відношення переваги за якістю (ELECTRE).

4.2 Технології оцінювання ступеню корисного ефекту багатокритеріальних альтернатив

Вирішення багатокритеріальної задачі за цією технологією ґрунтується на ідеології багатокритеріальної теорії корисності [1, 3, 7]:

- побудова деякої функції корисності, що має аксіоматичне (математичне) обґрунтування;
- діалог з ОПР для перевірки умов застосування функції корисності та, у разі необхідності, переформатування задачі;
- вирішення задачі, зазвичай другого типу, після чого отримані результати використовуються для оцінки заданих альтернатив.

Основні етапи виконання завдання:

- розробити перелік критеріїв;
- побудувати функцію корисності по кожному із критеріїв;
- перевірити умови, що визначають вид загальної функції корисності;
- побудувати залежність між оцінками альтернатив за критеріями та загальною якістю альтернативи (багатокритеріальна функція корисності);
- оцінити всі наявні альтернативи і вибрати найкращу.

Аксіоми щодо функції корисності зводяться до двох основних положень:

Аксіома 1. Може бути встановлено відношення між корисностями будь-яких альтернатив: або одна з них перевершує іншу, або вони рівні.

Аксіома 2 (аксіома транзитивності). З переваги корисності альтернативи A над корисністю альтернативи B і переваги корисності альтернативи B над корисністю альтернативи C слідує перевага корисності альтернативи A над корисністю альтернативи C .

Суть цих аксіом зводиться до того, що існує можливість однозначним чином розташувати в лінійний (одновимірний) ряд всі альтернативи щодо обраної функції корисності.

Зазвичай, також постулюється незалежність критеріїв за корисністю або незалежність критеріїв за перевагою один над одним, що дозволяє відділити функцію корисності в адитивній (у вигляді суми) або мультиплікативній (у вигляді добутку) функції від окремих критеріїв [7, 10]:

$$U(x) = \sum_{i=1}^N w_i U_i(x) \text{ при } \sum_{i=1}^N w_i = 1, \quad (4.1)$$

$$1 + kU(x) = \prod_{i=1}^N 1 + kw_i U_i(x) \text{ при } \sum_{i=1}^N w_i \neq 1, \quad (4.2)$$

де U_i – функції корисності, що змінюються від 0 до 1;

w_i – коефіцієнти важливості (ваги) критеріїв, причому $0 < w_i < 1$;

k – коефіцієнт, $k > 1$.

Таким чином, багатокритеріальну функцію корисності можна визначити, якщо відомі значення коефіцієнтів w_i , k , а також однокритеріальні функції корисності $U_i(x)$.

До недоліків цієї технології слід віднести [4]:

– необхідність отримання від ОПР великої кількості коефіцієнтів його переваг, в той час, коли він їх може просто не знати з прийнятною точністю;

– використання функції корисності, що не відповідає розв’язуваній задачі.

Ще одне джерело помилок – це припущення, що співвідношення альтернатив одні й ті ж самі на всій множині значень аргументів, але дане твердження не завжди виконується, наприклад, при різних значеннях вихідних параметрів можуть бути кращими різні альтернативи.

Ефективність рішення оцінюють ступенем корисного ефекту, який одержує ОПР. Якщо мета вибрана правильно (адекватна проблемі), то отримані у ході операції результати не гірші тих, які були намічені як мета, отже, вирішення є вдалим, тобто – ефективним.

Ефективність рішення – це суб’єктивна оцінка ОПР корисності рішення з метою усунення проблеми, що стоїть перед ним. Дана оцінка і є раціональною основою для осмисленого вибору.

Теорія корисності в прийнятті рішень. Поведінка людини під час вибору і механізм порівняльної оцінки альтернатив є проблематикою теорії корисності. У процесі вибору різні фахівці висувують різну мету і виходять з різних передумов, тому існує декілька визначень поняття «корисність».

Корисність (за теорією корисності) – суб’єктивна оцінка альтернативи – міра, за допомогою якої ОПР цілеспрямовано визначає її якість.

Корисність – цілеспрямована міра, яка застосовується до задачі оцінки та ставиться керівником процесу оцінки. Таким чином, завжди є мета, щодо якої визначається корисність об’єкта оцінки [4].

Корисність – величина, яку в процесі вибору максимізувала відповідальна особа або особа з раціональним мисленням.

Раціональна людина – людина, яка дотримується аксіом раціонального вибору [3].

У будь-якому випадку перед ОПР стоїть задача кількісного оцінювання міри переваги кожної альтернативи над іншими, тому слід використовувати функцію корисності. Побудова функції корисності залежить від інформації про предмет вибору та умови його функціонування.

Основою будь-якого процесу управління є інформація, якої володіє ОПР.

Основні інформаційні проблеми, що виникають під час прийняття рішень, ділять на такі групи:

- початкова інформація про проблему є неповною або недостовірною;
- в момент прийняття рішень необхідна інформація є недоступною;
- прийняття рішення відбувається за умови обмежених інформаційних ресурсів, тому прийняття одного варіанта рішення пов'язано з відмовою від можливо кращого варіанту;
- наявність множини критеріїв;
- отримана інформація є нечіткою;
- досліджувані процеси мають вірогіднісний характер, тому неможливо точно передбачити кінцевий результат.

Проблеми з недоліком інформації створюють умови невизначеності та є перешкодою для отримання узагальненої оцінки відносної ефективності, важливості, цінності або корисності ухвалених рішень.

Вплив невизначеності може позначатися по-різному [7]. Якщо існує множина можливих рішень і щодо кожного з них відомо, що воно призводить до деякого конкретного результату, то вибір здійснюється в умовах визначеності. У таких «детермінованих» ситуаціях усі елементи, що впливають на майбутні результати, мають цілком певне значення (яке відомо або може бути встановлено). Завдання полягає в їх перерахуванні та виборі одного або декількох з них, що дають максимум або мінімум деякого показника.

Вибір рішення в умовах визначеності має місце, якщо стосовно кожної дії відомо, що вона незмінно призводить до деякого конкретного результату.

Концепція оптимальності в математиці і дослідженні операцій є формальним вираженням концепції найкращого рішення з метою отримання корисного ефекту, як критерій використовується єдиний скалярний показник.

У теорії статистичних рішень прийнято розрізняти ситуацію ризику і невизначеності. Вибір рішення в умовах ризику чи несуттєвої невизначеності має місце, якщо кожна дія призводить до одного результату з множини можливих, причому кожен результат має відому імовірність появи.

Вибір рішення в умовах повної невизначеності має місце, якщо та чи інша дія (або всі дії) має (мають) наслідком множину можливих результатів, але імовірності цих результатів невідомі.

Вибір рішення в умовах нечіткої інформації має місце, коли для ОПР нечіткими є такі аспекти: мета вибору, оцінка альтернатив, оцінка критеріїв, оцінка відношення переваги альтернатив.

Неможливість повної формалізації не виключає можливості застосування математичного апарату під час вирішення задач прийняття рішень в умовах ризику, невизначеності та нечіткої інформації.

Таким чином, особливий випадок вирішення задач прийняття рішень пов'язаний з побудовою функції корисності. Оскільки в практиці немає універсальної міри, що має фізичне значення і дозволяє порівняти результати операцій, то необхідно ввести штучну міру, що визначається через корисність альтернатив.

Більшість ОПР використовують порівняно простий підхід до оцінки альтернатив: упорядкування їх за зростанням корисності від найменш корисних до найбільш корисних.

Свою думку щодо альтернатив ОПР можуть висловити і кількісно, приписавши кожному результату деяке число, що визначає його відносну перевагу, використовуючи метод ранжування альтернатив.

Отже, корисність результату операції це дійсне число, яке приписують результату операції, що характеризує його переваги в порівнянні з іншими альтернативами стосовно мети.

4.3 Технології побудови функції корисності багатокритеріальних альтернатив

Методи побудови функції корисності у разі багатокритеріального вибору поділяють на евристичні та аксіоматичні [4, 7].

До евристичних методів відносять:

- метод головного критерію;
- метод узагальненого критерію або згортки критеріїв.

Метод головного критерію зводиться до оптимізації по одному вибраному критерію, за умови, що інші критерії не більше (або не менше) прийнятних значень.

Метод узагальненого критерію полягає в згортці набору критеріїв у числову функцію, яка є функцією корисності.

Розрізняють такі види згорток:

- лінійна або адитивна згортка;
- максимінна згортка;
- мультиплікативна згортки.

Аксиоматичні методи побудови функції корисності – це формальні методи, засновані на тому, що формулюються спеціальні припущення (аксіоми) про властивості переваги альтернатив, виконання яких гарантує існування функції корисності конкретного виду.

Множина методів вирішення багатокритеріальних задач заснована на трьох важливих особливостях.

Перша особливість. Вважається, що не існує рішення, найкращого в незалежному від ОПР сенсі. Завжди рішення може бути найкращим лише для даного ОПР.

Друга особливість. Вважається, що не існує оптимального рішення під час вибору системи для всіх цілей і впливів зовнішнього середовища. Система може бути ефективною тільки для конкретної мети і в конкретних умовах, у інших умовах і для інших цілей система може бути неефективною.

Третя особливість. Методи дослідження операцій не задовольняють вимогам, що пред'являються до завдань оцінювання складних організаційних систем, оскільки вид цільової функції або невідомий, або не заданий аналітично, або для неї відсутні засоби рішення.

Постановка задач прийняття рішень з точки зору корисності та імовірності подій заключається у такому: ОПР вибирає якісь дії в середовищі, де на одержуваний результат дії впливають випадкові події, невідомі йому. Маючи деякі знання про імовірності цих подій, ОПР може розрахувати найбільш вигідну сукупність і черговість своїх дій.

4.4 Технологія аналізу ієрархій у задачах прийняття рішень

Метод аналізу ієрархій – міждисциплінарний розділ науки, створений працями американського ученого Томаса Сааті, його учнів і послідовників [4], їх методологія відповідає природному ходу людського мислення.

Метод аналізу ієрархій в даний час є найпопулярнішим підходом до вирішення багатокритеріальних задач, це пояснюється тим, що багато реальних проблем можна представити у вигляді ієрархічної структури підлеглих варіантів рішень (альтернатив). Крім того, метод аналізу ієрархій використовує матриці парних порівнянь, побудова яких не є складною задачею для експертів.

Задача прийняття рішення зводиться до існування:

- декількох однотипних альтернатив;
- головного критерію (головної мети) порівняння альтернатив;
- декількох груп однотипних факторів, що впливають певним чином на відбір альтернатив;
- множини направлених зв'язків, що вказують на впливи рішень, критеріїв і факторів один на одного.

Необхідно кожній альтернативі поставити відповідно пріоритет (число), тобто отримати рейтинг альтернатив. Результатом цієї процедури є вектор рангів альтернатив, вибір може виконуватися ОПР одним із варіантів:

- вибір (вибрати або відкинути декілька варіантів з групи можливих);
- розподіл ресурсів (кожний із варіантів враховується відповідно до його пріоритету).

Структура моделі прийняття рішень в методі аналізу ієрархій має вигляд схеми (графа), а метод аналізу ієрархій є процедурою для ієрархічного подання компонентів проблеми.

Даний метод полягає у декомпозиції проблеми на прості складові та подальшій обробці послідовності думок ОПР щодо парних порівнянь.

У результаті одержують відносний ступінь впливу компонентів нижнього рівня на компоненти верхнього рівня, оцінки виражаються чисельно.

Метод аналізу ієрархій включає процедури:

- синтезу множинності думок;
- одержання пріоритетності критеріїв;
- знаходження альтернативних рішень.

Отримані значення є жорстким оцінками на шкалі відношень.

Метод аналізу ієрархій включає такі основні етапи [4]:

Етап 1. Декомпозиція проблеми.

Етап 2. Побудова ієрархічної структури моделі проблеми.

Етап 3. Експертне оцінювання переваг.

Етап 4. Побудова локальних пріоритетів.

Етап 5. Оцінка узгодженості думок.

Етап 6. Синтез локальних пріоритетів.

Етап 7. Висновки і пропозиції для прийняття рішень.

У методі аналізу ієрархій немає строгих правил створення моделей прийняття рішення, він дозволяє лише систематизувати процес прийняття рішень, упорядкувати процес отримання знань з даної інформації, тому для створення моделей прийняття рішення потрібні досвідчені фахівці.

Рекомендується така послідовність підготовки прийняття рішення за допомогою технології аналізу ієрархій [1, 4, 7]:

Етап 1. Визначити набір можливих (альтернативних) рішень і мету прийняття рішення (головний критерій, за яким визначається перевага рішення). Мета може бути сформульованою узагальнено (часто під час постановки проблеми немає чіткого усвідомлення мети).

Етап 2. Визначити групи факторів, що роблять вплив на прийняття рішення.

Етап 3. Сформувати рівні: перший рівень (вершина) – головна мета (головний критерій) рейтингування рішень, нижній рівень – можливі рішення, проміжні рівні – групи однотипних факторів, що впливають на рейтинг рішень. Така рівнева структура моделі дає попереднє уявлення про рейтингування рішень, на ній показані вузли (мета, фактори, рішення), згруповані по типах.

Етап 4. З'ясувати структуру впливів між метою, факторами і вирішеннями (виділяють пари рівнів, один з яких робить вплив на інший, потім з'ясовують, між якими саме вузлами виділених рівнів є зв'язки).

Етап 5. Додати до рівневої структури моделі зв'язки між вузлами.

Зв'язок «Мета» – «Фактор рівня X » означає, що важливість обліку фактору « X » у моделі визначається метою рейтингування рішень.

Зв'язок «Фактор» – «Рішення» означає, що перевага (важливість, оптимальність, доцільність) рішення в моделі визначається, зокрема, з погляду дії даного фактору.

Зв'язок «Фактор A » – «Фактор B » означає, що важливість обліку фактору B у моделі визначається наявністю фактору A .

Етап 6. Проаналізувати кластерну структуру моделі прийняття рішення. При необхідності необхідно внести корективи: додати або видалити вузли, додати або видалити зв'язки. На цьому кроці формування структури моделі завершено (проведено аналіз).

Етап 7. Внести дані для кластерів: провести порівняння для вузлів кожного кластера і для кластерів, що мають загальну вершину або ввести відповідні вектори пріоритетів без проведення порівнянь.

Етап 8. Оцінити якість даних (узгодженість та достовірність). Провести коригування даних за необхідності.

Етап 9. Розрахувати рейтинг пріоритетів рішень, а також показники узгодженості та достовірності.

Етап 10. Доцільно розрахувати вектори пріоритетів для рівнів.

Якщо виявиться, що в масштабі моделі дані недостатньо злагоджені або недостатньо достовірні, то доцільно провести вибіркове коригування даних.

Етап 11. Перевірити стійкість рейтингу.

Етап 12. Провести інтерпретацію отриманих результатів для прийняття рішення, тобто здійснити синтез.

Для інтерпретації результатів може бути потрібна інформація:

- про істотні і неістотні фактори, що враховані в моделі;
- про ситуації прийняття рішення, близькі до тієї, що розглядається за структурою або за інформаційним наповненням.

4.5 Технологія аналітично-ієрархічного прийняття та обґрунтування рішень

В основу ієрархічної моделі прийняття багатоцільових та багатокритеріальних рішень покладено принцип гнучкого (одночасного) врахування пріоритету локальних критеріїв якості стратегій, інформаційних ситуацій, у полі яких застосовуються ці критерії, та функціоналів оцінювання, які адекватно відображають цілі, що хоче досягнути ОПР.

Розглянемо задачу знаходження багатоцільового багатокритеріального рішення, коли відокремлено N цілей і кожній з них відповідає свій функціонал оцінювання.

Функціонали оцінювання можуть мати різні складові та різну розмірність. Рішення приймається комплексно, тобто, виходячи з позиції різних інформаційних ситуацій. У полі кожної інформаційної ситуації рішення має враховувати особливості різних критеріїв оцінювання якостей стратегій.

Логічним є подальше узагальнення наведеної моделі. У разі прийняття рішень, процеси опрацювання яких є розпаралеленими і здійснюються декількома командами, доцільно ввести ще один рівень ієрархії (верхній), який скоординує прийняті рішення.

Перспективним є використання запропонованого підходу для побудови ієрархічних моделей, що враховують динаміку розвитку системи.

Під час затвердження рішень та прогнозування ймовірних наслідків особа, яка приймає рішення, як правило, стикається зі складною організацією взаємозалежних елементів, яку потрібно розібрати.

На сьогоднішній день існує багато технологій, що дозволяють максимально допомогти у вирішенні проблем, пов'язаних з процесами прийняття рішень.

Метод аналізу ієрархій (розроблений Томасом Сааті) дозволяє групі людей взаємодіяти по відношенню до певного завдання, видозмінювати свої думки та поєднувати сукупність групових думок відповідно до головного критерію: під час проведення попарних порівнянь об'єктів за певною характеристикою або під час проведення попарних порівнянь характеристик по відношенню до вищої мети.

Ключовою задачею у методі аналізу ієрархій Томаса Сааті є оцінка вищих рівнів, виходячи із результату взаємодії нижніх рівнів ієрархії, таким шляхом:

- структурування проблеми вибору у вигляді ієрархії або мережі;
- встановлення пріоритетів критеріїв і оцінка кожної з альтернатив за критеріями;
- обчислення коефіцієнтів важливості для елементів кожного рівня;
- розрахунок комбінованого вагового коефіцієнту і визначення найкращої альтернативи.

Метод аналізу ієрархій Томаса Сааті припускає такі етапи [4]:

Етап 1. Знаходження проблеми.

Етап 2. Побудова ієрархії: від проблеми до переліку альтернатив.

Етап 3. Оцінка важливості альтернатив за допомогою методу парних порівнянь.

Етап 4. Оцінка локальних пріоритетів порівнюваних елементів.

Етап 5. Визначення узгодженості локальних пріоритетів.

Етап 6. Ієрархічний синтез вирішення проблеми.

Цей метод призначений для вирішення задач першого типу, тобто, коли задані критерії оцінки і самі альтернативи; альтернатив, як правило, небагато, і всі вони чітко визначені.

Вирішення зводиться до пошуку найкращої альтернативи і включає такі етапи [4, 7]:

- структуризація задачі (проблеми) у вигляді ієрархічної структури з декількома рівнями: цілі – критерії – альтернативи;
- ОПР виконує попарні порівняння елементів кожного рівня. Результати порівнянь переводяться в числа або ранги, від першого до дев'ятого;
- обчислюються коефіцієнти важливості для елементів кожного рівня, перевіряється узгодженість суджень ОПР;
- підраховується кількісний індикатор якості кожної з альтернатив і визначається найкраща альтернатива.

Розглянемо ці етапи детальніше.

Результатом першого етапу має бути:

- формулювання мети;
- перелік критеріїв досягнення мети $C_1, C_2, \dots, C_n$;
- перелік можливих альтернатив $A_1, A_2, \dots, A_m$.

На другому етапі особа, що приймає рішення, повинна попарно порівняти критерії досягнення мети у відповідності з шкалою, запропонованою Томасом Сааті (табл. 4.1).

Ранжування – це розташування критеріїв у порядку зростання ступеня їх важливості.

Таблиця 4.1 – Шкала відносної важливості

Рівень важливості	Кількісне значення
Рівна важливість	1
Помірна перевага	3
Значна або сильна перевага	5
Значна (велика) перевага	7
Дуже велика перевага	9

Використовуючи наведену *шкалу відносної важливості критеріїв*, ОПР порівнює між собою критерії, у результаті чого створюється матриця порівнянь критеріїв, що має вигляд, як показано у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Загальний вигляд матриці порівнянь для критеріїв

Критерії	C_1	C_2	C_n	Власний вектор, W_i	Вага критерію, w_i
C_1	$C_1 / C_1 = 1$	C_1 / C_2	C_1 / C_n	W_1	w_1
C_2	C_2 / C_1	$C_2 / C_2 = 1$	C_2 / C_n	W_2	w_2
C_n	C_n / C_1	C_n / C_2	$C_n / C_n = 1$	W_n	w_n

Власний вектор W_1 знаходиться за формулою:

$$W_1 = \sqrt[n]{(C_1/C_1) * (C_1/C_2) * \dots * (C_1/C_n)}. \quad (4.3)$$

Вага критерію знаходиться за формулою:

$$w_1 = W_1 / (W_1 + W_2 + \dots + W_n). \quad (4.4)$$

На наступному етапі аналогічним чином знаходиться відносна важливість альтернатив за окремими критеріями.

Загальний вигляд значень попарних порівнянь наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Загальний вигляд відносної важливості альтернатив за окремими критеріями

За критерієм C_1					
Альтернатива	A_1	A_2	A_n	Власний вектор, V_i	Вага альтернативи, v_{ji}
A_1	$A_1 / A_1 = 1$	A_1 / A_2	A_1 / A_n	V_{11}	v_{11}
A_2	A_2 / A_1	$A_2 / A_2 = 1$	A_2 / A_n	V_{12}	v_{12}
A_n	A_n / A_1	A_n / A_2	$A_n / A_n = 1$	V_{1n}	v_{1n}
За критерієм C_2					
A_1	$A_1 / A_1 = 1$	A_1 / A_2	A_1 / A_n	V_{21}	v_{21}
A_2	A_2 / A_1	$A_2 / A_2 = 1$	A_2 / A_n	V_{22}	v_{22}
A_n	A_n / A_1	A_n / A_2	$A_n / A_n = 1$	V_{2n}	v_{2n}
За критерієм C_n					
A_1	$A_1 / A_1 = 1$	A_1 / A_2	A_1 / A_n	V_{n1}	v_{n1}
A_2	A_2 / A_1	$A_2 / A_2 = 1$	A_2 / A_n	V_{n2}	v_{n2}
A_n	A_n / A_1	A_n / A_2	$A_n / A_n = 1$	V_{nn}	v_{nn}

На заключному етапі розраховується відносна вага кожної альтернативи:

$$C_j = \sum_{i=1}^N w_i v_{ij} . \quad (4.5)$$

Експерт може порівняти дві альтернативи і дати їм оцінки, наприклад, впорядкувати альтернативи за привабливістю.

Відповіді експерта, що виміряні за порядковою шкалою, є ранжованими за результатами попарних порівнянь.

Таким чином, щоб формалізувати оцінки експертів, у метод аналізу ієрархій вводиться спеціальна шкала оцінок – *шкала відносної важливості*, що була розроблена Томасом Сааті для проведення суб'єктивних парних порівнянь.

Крім того, для розрахунку показників важливості на першому етапі проводиться постановка і формалізація задачі (експертами описується множина показників та точок їх перевірки), наступною дією є знаходження набору критеріїв та технології їх оцінювання.

У процесі прийняття рішень щодо складних проблем бере участь множина фахівців – експертів у певній предметній області.

Оцінки експертів дозволяють отримати узагальнену інформацію про досліджуваний об'єкт чи явище, що дозволяє сформулювати рішення, яке задається метою експертизи. Під час обробки індивідуальних оцінок експертів використовують різні кількісні і якісні методи.

Вибір методу залежить від складності вирішуваної проблеми, форми, в якій подані думки експертів, а також мети експертизи. Під час обробки результатів опитування використовуються методи математичної статистики [2].

Залежно від мети експертизи під час обробки оцінок можуть розв'язуватися такі проблеми:

- формування узагальненої оцінки;
- визначення відносної ваги об'єктів;
- встановлення ступеня узгодженості думок експертів.

4.6 Приклад технології аналітично-ієрархічного прийняття та обґрунтування рішень

Задача 4.1: Виберемо, як приклад, розробку інформаційної системи для знаходження місця будівництва певного об'єкту (аеропорту) [6].

Припустимо, що створена з цією метою комісія відібрала з декількох можливих три варіанти A_1 , A_2 та A_3 , а також відібрала критерії для оцінки кожної з альтернатив:

- C_1 – вартість будівництва;
- C_2 – час у дорозі до центру міста;
- C_3 – кількість людей, що піддаються шумовим впливам.

Запишемо матрицю порівнянь для критеріїв, як показано у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Матриця порівнянь для заданих критеріїв

Критерії	C_1	C_2	C_3	Власний вектор	Вага критерію
C_1	1	5	3	2,47	0,65
C_2	1/5	1	3	0,84	0,22
C_3	1/3	1/3	1	0,48	0,13

Чисельні значення критеріїв у наведеній таблиці 4.4 вибираються ОПР, а значення власних векторів і ваг критеріїв розраховуються за формулами (4.3) та (4.4) відповідно.

Далі записуємо таблицю значень альтернатив за кожним критерієм і розраховуємо важливості альтернатив за кожним із критеріїв (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Таблиця значень альтернатив за кожним критерієм та важливість альтернатив за кожним із критеріїв

За критерієм C_1					
Альтернатива	A_1	A_2	A_3	Власний вектор	Вага альтернативи
A_1	1	7	3	2,76	0,69
A_2	1/7	1	3	0,75	0,19
A_3	1/3	1/3	1	0,48	0,12
За критерієм C_2					
A_1	1	1/7	1/5	0,31	0,07
A_2	7	1	3	2,76	0,65
A_3	5	1/3	1	1,19	0,28
За критерієм C_3					
A_1	1	5	5	2,92	0,69
A_2	1/5	1	1/5	0,34	0,08
A_3	1/5	5	1	1	0,23

Для кожної з трьох альтернатив показник якості розраховується за формулою (4.5):

$$C_1 = 0,65 * 0,69 + 0,22 * 0,07 + 0,13 * 0,69 = 0,55;$$

$$C_2 = 0,65 * 0,19 + 0,22 * 0,65 + 0,13 * 0,08 = 0,28;$$

$$C_3 = 0,65 * 0,12 + 0,22 * 0,28 + 0,13 * 0,23 = 0,17.$$

Як показують розрахунки, показник якості для першої альтернативи найбільш високий, тобто ця альтернатива є найкращою.

4.7 Завдання для самостійного опрацювання матеріалу розділу 4

Задача 4.2: Необхідно здійснити вибір мови програмування для розробки медичної інформаційної системи. Припустимо, що створена з цією метою команда ІТ-спеціалістів відібрала з декількох можливих мов програмування шість варіантів A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 та A_6 .

Відібрано критерії для оцінки кожної з альтернатив:

- C_1 – обізнаність команди щодо даної мови програмування;
- C_2 – рівень адаптації розробленої системи під різні операційні системи;
- C_3 – можливість удосконалення у майбутніх версіях;
- C_4 – можливість обробки текстових шаблонів;
- C_5 – мінімальні вимоги до апаратного забезпечення.

4.8 Теоретичні запитання до розділу 4

1. Дайте характеристику типам задач прийняття рішень при багатьох критеріях.
2. Дайте визначення поняттю «функція корисності».
3. Дайте визначення поняттю «ступінь корисного ефекту».
4. Дайте визначення поняттю «коефіцієнт важливості (ваги) критерію».
5. Дайте визначення поняттю «шкала відносної важливості».
6. Дайте визначення поняттю «корисність альтернативи».
7. Дайте визначення поняттю «раціональна людина».
8. Дайте характеристику технологіям побудови функції корисності багатокритеріальних альтернатив.
9. Дайте характеристику методу головного критерію.
10. Дайте характеристику методу узагальненого критерію.
11. Дайте характеристику видам згорток критеріїв.
12. Дайте характеристику методу аналізу ієрархій.
13. Дайте визначення поняттю «шкала відносної важливості».
14. Дайте визначення поняттю «матриця порівнянь для критеріїв».
15. Дайте визначення поняттю «власний вектор».
16. Дайте визначення поняттю «вага критерію».
17. Дайте визначення поняттю «відносна важливість альтернатив».
18. Дайте визначення поняттю «вага альтернативи».
19. Дайте визначення поняттю «індекс узгодженості».
20. Дайте визначення поняттю «синтез коефіцієнтів важливості».

5 ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ КОЛЕКТИВНИХ РІШЕНЬ У МАЛИХ ТА ВЕЛИКИХ ГРУПАХ

5.1 Процедури прийняття колективних рішень

На практиці часто зустрічаються ситуації, коли є кілька осіб, що приймають рішення, кожна з яких має свої переваги на одній множині A порівнюваних варіантів. На основі цих індивідуальних переваг необхідно виробити *групову (колективну) перевагу* (наприклад, журі розподіляє місця між учасниками змагання, громадяни країни обирають президента).

Дані задачі прийняття рішень називаються задачами *групового вибору*, осіб, що приймають рішення, називають *виборцями*, а порівнювані варіанти – *кандидатами*. У таких задачах будемо довільним чином нумерувати виборців числами від 1 до m , а кандидатів позначати буквами $a, b, \dots$ і т. д.

Процес побудови групової переваги називається *процедурою голосування*, а правила, за допомогою яких цей процес реалізується, називаються *правилами голосування* або *принципом узгодження*.

Переваги можуть задаватися різними способами, наприклад, у вигляді бінарних відношень переваги або за допомогою функцій вибору.

Залежно від того, яким чином задані індивідуальні переваги та в якій формі потрібно побудувати групову перевагу, виділяють різні типи задач групового вибору і відповідні їм типи процедур голосування.

Розглянемо три типи процедур голосування [4, 7]:

– заданий набір $\langle R_1, \dots, R_m \rangle$ відношень індивідуальної переваги (так званий профіль індивідуальних переваг), групову перевагу потрібно побудувати у вигляді бінарного відношення R на множині кандидатів.

$R = F(R_1, \dots, R_m)$ – процедура голосування типу «упорядкування – упорядкування»;

– заданий профіль індивідуальних переваг $\langle R_1, \dots, R_m \rangle$, а групову перевагу потрібно побудувати у вигляді вибору $C(A)$.

$C(A) = F(R_1, \dots, R_m)$ – процедура голосування типу «упорядкування – вибір»;

– для кожного i -го виборця задано $C_i(A)$ – його вибір з множини кандидатів A , необхідно побудувати груповий вибір $C(A)$.

$C(A) = F(C_1(A), \dots, C_m(A))$ – процедура голосування типу «вибір – вибір».

Процедура голосування типу «упорядкування – упорядкування»

Будемо вважати, що R_i – це відношення суворого порядку.

Можуть застосовуватися такі принципи узгодження [1, 7, 10]:

- нав'язаний принцип узгодження (яким би не був заданий профіль індивідуальних переваг, формується одне відношення групової переваги);
- диктаторський принцип узгодження ($R = R_j$, тобто групова перевага формується з переваги одного j -го виборця, незалежно від уподобань R_i ($i \neq j$) інших виборців);
- правило простої більшості: нехай $m(a,b)$ – число виборців, для яких a краще, ніж b , а $m(b,a)$ – кількість виборців, для яких b краще, ніж a ; відношення групової переваги задається так: $aRb \Leftrightarrow m(a,b) \geq m(b,a)$;
- правило тотально мажоритарної більшості: $aRb \Leftrightarrow m(a,b) \geq t$, де $t > m/2$.

Одним із найрозповсюдженіших принципів узгодження є правило відносної більшості: прийнятою всіма вважають альтернативу, яка отримала найбільшу кількість голосів. Дане правило приваблює своєю простотою та демократичністю, але має особливості, через які застосовувати його потрібно обережно, насамперед, воно лише узагальнює індивідуальні переваги, а його результат – це не критерій істини.

Подальша практика показує правильним чи помилковим було рішення прийняте більшістю голосів, адже саме голосування – це лише форма узгодження подальших дій. Слід зазначити, що навіть у разі найпростішого вибору однієї з двох альтернатив бувають ситуації, коли правило більшості не спрацьовує: наприклад, розподіл голосів порівну в разі парної кількості тих, хто голосував, така ситуація породжує ряд можливих варіантів вирішення:

- голова має два голоси;
- відносна більшість (більше 51 %);
- переважна більшість (близько 3/4);
- абсолютна більшість (близько 100 %);
- принцип одностайності (консенсус, право вето).

Оскільки у реальному житті відмова від подальших дій після прийняття рішення неприпустима та небажано вважати груповим вибором вибір окремої особи («диктатора»), розроблено різні способи прийняття групового рішення.

Розглянемо основні правила голосування (зазвичай, на практиці застосовують різні їх модифікації).

5.2 Технології прийняття колективних рішень у малих та великих групах

5.2.1 Правило відносної більшості

Правило відносної більшості: кожен виборець віддає свій голос за найкращого кандидата за його думкою, наприклад, обирається кандидат a , який отримав найбільшу кількість голосів $f(a)$.

Зауваження: за правилом відносної більшості може перемогти кандидат, який не є найкращим для більшості виборців.

5.2.2 Правило абсолютної більшості

Перемагає кандидат, який набрав більше половини голосів виборців. Якщо таких немає, то проводиться другий тур голосування, у другий тур виходять тільки два кандидати, що набрали найбільшу кількість голосів (при великому числі виборців рівність голосів за різних кандидатів – малоімовірно).

У другому турі виграє той, хто набрав більше голосів виборців.

5.2.3 Правило Борда

Кожен виборець відповідно до своїх уподобань формує лінійний порядок на множині всіх p кандидатів, на основі якого здійснюється ранжування таким чином: найменш бажаний кандидат отримує 0 очок, наступний за перевагою кандидат отримує 1 очко і так далі, найкращий кандидат отримує $p-1$ очко, перемагає кандидат з найбільшою сумою очок по всіх виборцям (переможець по правилу Борда).

Правило голосування з підрахунком очок (узагальнення правила Борда): аналогічно правилу Борда кожен виборець робить ранжування, ранги кандидатам виставляються з фіксованою неспадаючою послідовністю чисел $s_0 \leq s_1 \leq \dots \leq s_{p-1}$: найгірший кандидат отримує s_0 очок, наступний за перевагою кандидат отримує s_1 очок і так далі, найкращий кандидат отримує s_{p-1} очко, перемагає кандидат з найбільшою сумою очок по всіх виборцям.

Зауваження: правило відносної більшості є окремим випадком правила з підрахунком очок при $s_0 = s_1 = \dots = s_{p-2} < s_{p-1}$.

5.2.4 Правило Кондорсе

Якщо в множині кандидатів, на якій побудовано групове відношення переваги за принципом простої більшості, існує найбільший елемент, то він є переможцем по Кондорсе.

Тобто за правилом Кондорсе перемагає альтернатива (обов'язково єдина), яка переважає будь-яку іншу за правилом відносної більшості. Недоліком цього правила є те, що можлива така конфігурація переваг, за якою не буде переможця (парадокс Кондорсе), така ситуація виникає тоді, коли парні порівняння за правилом відносної більшості утворюють цикл.

Теорема: існують профілі індивідуальних переваг, при яких переможець по Кондорсе не може бути обраний ні при якому способі підрахунку очок.

У деяких випадках парадокса Кондорсе можна уникнути, модифікувавши правило Кондорсе (правило Копленда та правило Сімпсона).

5.2.5 Правило Копленда

На множині кандидатів будується групова перевага R за принципом простої більшості, потім кожному кандидату a виставляється оцінка таким чином: $f(a) = (\text{число пар } \langle a, x \rangle \in R \text{ мінус число пар } \langle x, a \rangle \in R, x \neq a)$, перемагає кандидат з найбільшою оцінкою.

Порівняємо альтернативу a з будь-якою іншою альтернативою x . Додамо до балів альтернативи a одиницю, якщо для більшості a переважає x . Віднімемо одиницю, якщо для більшості x переважає a . Якщо голоси рівні, то нічого не робимо. Підсумовуючи кількість балів для всіх альтернатив, отримаємо оцінку Копленда. Перемагає альтернатива з найбільшою кількістю балів (переможець за правилом Копленда).

5.2.6 Правило Сімпсона

Кожному кандидату a виставляється оцінка $f(a) = \min m(a, x)$ по всім x , де $m(a, x)$ – число виборців, для яких a краще, ніж x , перемагає кандидат з найбільшою оцінкою (переможець за правилом Сімпсона).

На практиці між правилом Кондорсе та правилом Борда існує певна суперечність, дану проблему можна дослідити детальніше, узагальнивши правило Борда (загальне правило підрахунку балів).

Цікаве порівняння правила підрахунку балів і правила Кондорсе зробив Пітер Фішберн.

Теорема Фішберна: існують профілі, для яких альтернативу, найкращу за правилом Кондорсе, не можна обрати ні за яким методом підрахунку балів.

5.3 Парадокси колективних голосувань

Особливість правил голосування – це можливість відмовитися від вибору через недосягнення потрібної більшості. Виключивши таку можливість, можна забезпечити ухвалення рішення в будь-яких випадках.

Наприклад, нехай три експерти більшістю голосів вирішують питання: яка з двох альтернатив краща, до того ж вони не можуть не зробити вибір.

У цьому випадку виникає ще одна особливість правил голосування – нетранзитивність.

Причиною зазначеного парадоксу нетранзитивності групового вибору є циклічність сукупності вихідних індивідуальних переваг.

Це лише окремий приклад *парадоксу Ерроу* (теореми про неможливість).

5.4 Функція колективної переваги

З усіх функцій F індивідуальних виборів $R_1, \dots, R_n$ виділимо ті, що відповідають *вимогам* та виражають вибір, який можна вважати погодженим:

- $n \geq 2$, кількість альтернатив не менша 2. Функція F визначена для будь-яких $\{R_i\}$;

- якщо в результаті групового вибору перевагу віддано альтернативі x , то це рішення не повинне змінюватися, якщо хто-небудь із тих, хто раніше відкидав x , змінив свою перевагу на її користь (умова монотонності);

- якщо зміни індивідуальних переваг не стосуються певних альтернатив, то в новому груповому впорядкуванні їх послідовність має бути незмінною (умова незалежності незв'язаних альтернатив);

- для будь-якої пари альтернатив x та y існує такий вибір індивідуальних переваг, для якого $F(R_1, \dots, R_n) = (x \succ y)$ (умова суверенності) можливо нав'язати альтернативу y незалежно від порядків переваг індивідуумів;

- не має бути такого індивідуума, для якого з його переваги $(x \succ y)$ (для будь-яких x та y) випливає, що $F(R_1, \dots, R_n) = (x \succ y)$ незалежно від переваг інших індивідуумів (умова того, що немає диктаторства).

5.5 Теорема Ерроу (парадокс Ерроу, теорема про неможливість)

Парадокс Ерроу полягає в тому, що перші чотири умови суперечать п'ятій, тобто, не існує правила F , яке задовольняє всім п'ятьом вимогам. Аналіз причин такого несподіваного наслідку з даних припущень показує, що основну роль відіграє можливість існування циклічних множин ранжувань, що характерно для бінарних відношень, які задовольняють умову три.

Однак, часто все ж таки допустимі задачі групового вибору.

По-перше, інколи може не бути циклічних ранжувань або вони не охоплюють найважливіші альтернативи, або вжито заходів для їх виявлення та усунення. По-друге, у багатьох ситуаціях «диктаторський» принцип узгодження цілком прийнятний. По-третє, перехід (коли це можливо) до використання єдиної числової, а не порядкових індивідуальних шкал переваг може взагалі анулювати проблему нетранзитивності. По-четверте, у реальних ситуаціях мажоритарні правила застосовують у комбінації з іншими, тому, утворивши коаліцію, групи суб'єктів можуть блокувати голосування.

Систематичне дослідження всіх можливих систем голосування провів у 1951 році Кеннет Ерроу зі Стенфордського університету.

Ерроу запропонував набір вимог (*аксіоми Ерроу*), яким повинна задовольняти раціональна система голосування.

На основі своїх аксіом він намагався у загальному вигляді довести існування системи голосування, що задовольняє одночасно трьома принципами:

- раціональна (без протиріч),
- демократична (одна людина – один голос),
- вирішальна (дозволяє здійснити вибір).

Перша аксіома Ерроу вимагає, щоб система голосування була досить загальною, це дозволяє враховувати всі можливі розподіли голосів виборців. Необхідно, щоб система була дієвою при будь-яких перевагах виборців. Перша аксіома отримала назву аксіоми *універсальності*.

Відповідно до другої аксіоми *одноголосності* необхідно, щоб колективний вибір повторював у точності загальну думку всіх голосуючих.

Якщо, наприклад, кожен із голосуючих вважає, що кандидат A краще кандидата B , то і система голосування повинна відображати цей результат.

Третя аксіома Ерроу отримала назву *незалежності від незв'язаних альтернатив*. Нехай виборець вважає, що з пари кандидатів A і B кращим є A , ця перевага не повинна залежати від ставлення виборця до інших кандидатів.

Часто третя аксіома Ерроу порушується суддями у фігурному катанні, даючи порівняльні оцінки двом сильним фігуристам в одиночному катанні, вони намагаються врахувати можливість гарного виступу третього сильного кандидата, залишаючи йому шанси стати переможцем.

Відмінний виступ у довільному катанні фігуриста *C*, що мав раніше не надто високий результат в обов'язковій програмі, може вплинути на оцінки фігуристів *A* і *B*. Якщо *A* мав відмінний результат в обов'язковій програмі, судді іноді ставлять його нижче фігуриста *B* при приблизно рівному виступі, щоб підвищити шанси фігуриста *C*.

Четверта аксіома Ерроу – аксіома *повноти системи голосування* повинна порівняти будь-яку пару кандидатів, визначивши кращого. Є можливість оголосити двох кандидатів однаково привабливими.

П'ята аксіома Ерроу є умовою *транзитивності*, якщо відповідно до думки виборців кандидат *B* не кращий кандидата *A*, кандидат *C* не кращий кандидата *A*. Вважається, що система голосування, яка не допускає порушення транзитивності, поводить раціональним чином.

Визначивши п'ять аксіом – бажаних властивостей системи отримання колективного рішення, Ерроу довів, що системи, що задовольняють цим аксіомам, є правилом диктатора (нав'язують прийняти рішення за уподобанням лідера). Зрозуміло, що розробити ідеальну систему голосування дуже складно, жодна з них не буде задовольняти всім аксіомам Ерроу, тому результат досліджень Ерроу називають *теореми неможливості*.

5.6 Прийняття колективних рішень у малих групах

Мала група – це невелика (від двох до семи) сукупність людей, що має таку структуру управління, яка дозволяє визначати міру контролю за поведінкою одних членів групи з боку інших.

Традиційним способом вирішення проблем є організація нарад, на яких члени колективного органу виступають як експерти, оцінюючи різні варіанти рішень і переконуючи інших членів приєднатися до їхньої думки.

У багатьох випадках ці обговорення дозволяють прийти до єдиної думки, яка іноді відображає компроміс між членами колективного органу, що приймає рішення.

Безперечними перевагами такого способу прийняття колективних рішень є можливість для кожного члена групи висловити свою думку і обґрунтувати її, а також можливість для кожного члена групи вислухати думку інших членів.

Поряд із зазначеними перевагами застосування традиційного способу розв'язання задач колективного вибору в ряді випадків виявляються такі негативні явища, як надмірно сильний вплив на групу доводів одного або кількох членів (коаліції), спрямований на усунення позитивних особливостей бажаних ними варіантів рішень, велика та часто неефективна витрата часу членами групи, особливо при сильному розходженні думок у деяких із них, поспішне застосування правила більшості, що не дозволяє врахувати думки всіх членів групи.

Спроби подолати негативні риси традиційних способів прийняття колективних рішень малими групами описані різними напрямками досліджень.

Неантагоністичні ігри: один із напрямків у теорії ігор, орієнтований на розробку математичних моделей, що описують процес вироблення компромісу, тобто пошук точок рівноваги. Роботи у даному напрямку мають в основному теоретичний характер.

Групові системи підтримки прийняття рішень: розробляються локальні мережі для членів групи, а також формальні алгоритми порівняння переваг на заданій множині об'єктів. Такі системи, зазвичай, призначені для ознайомлення кожного члена групи з думками інших. Задача узгодження думок або взагалі не ставиться, або зводиться до усереднення думок. З практичної точки зору даний підхід не відповідає задачам прийняття відповідальних рішень.

Організація роботи групи за допомогою посередника: цей напрямок досліджень з практичної точки зору є найбільш перспективним.

Прийняття рішень у малій групі відрізняється від прийняття індивідуальних рішень. У кожного члена групи, зазвичай, є певна точка зору на спосіб вирішення проблеми. Якщо ці погляди збігаються або в групі є диктатор, що нав'язує власну позицію, то про прийняття колективних рішень немає й мови, але частіше в групі шукається компроміс, прийнятний для всіх членів.

Мета діяльності малої групи – це перехід від індивідуальних переваг до групових.

5.7 Приклад технологій прийняття колективних рішень

Задача 5.1: Для профілю голосування, заданого таблицею 5.1, визначити переможців за різними правилами голосування.

За правилом відносної більшості перемагає кандидат а, за правилом абсолютної більшості – кандидат б, за правилом Борда – кандидат d, за правилом Кондорсе – кандидат с.

Таблиця 5.1 – Профіль голосування

5	3	5	4
a	a	b	c
d	d	c	d
c	b	d	b
b	c	a	a

5.8 Завдання для самостійного опрацювання матеріалу розділу 5

Задача 5.2: Для профілю голосування, заданого таблицею 5.2, визначити переможців за різними правилами голосування.

Таблиця 5.2 – Профіль голосування

3	6	4	4
c	a	b	b
a	b	a	c
b	c	c	a

Задача 5.3: Для профілю голосування, заданого таблицею 5.3, визначити переможців за різними правилами голосування.

Таблиця 5.3 – Профіль голосування

23	17	2	10	8
a	b	b	c	c
b	c	a	a	b
c	a	c	b	a

Задача 5.4: Для профілю голосування, заданого таблицею 5.4, визначити переможців за різними правилами голосування.

Таблиця 5.4 – Профіль голосування

23	19	16	2
a	b	c	c
c	c	b	a
b	a	a	b

Задача 5.5: Для профілю голосування, заданого таблицею 5.5, визначити переможців за різними правилами голосування.

Таблиця 5.5 – Профіль голосування

31	12	17	2
a	b	c	c
c	c	b	a
b	a	a	b

5.9 Теоретичні запитання до розділу 5

1. Дайте визначення поняттю «групова (колективна) перевага».
2. Дайте визначення поняттю «груповий вибір».
3. Дайте визначення поняттю «виборець».
4. Дайте визначення поняттю «кандидат».
5. Дайте визначення поняттю «процедура голосування».
6. Дайте визначення поняттю «принцип узгодження».
7. Дайте характеристику типам процедур голосування.
8. Дайте визначення поняттю «відносна більшість».
9. Дайте визначення поняттю «переважна більшість».
10. Дайте визначення поняттю «абсолютна більшість».
11. Дайте визначення поняттю «принцип одностайності».
12. Дайте визначення поняттю «правило відносної більшості».
13. Дайте визначення поняттю «правило абсолютної більшості».
14. Дайте визначення поняттю «правило Борда».
15. Дайте визначення поняттю «правило Кондорсе».
16. Дайте визначення поняттю «правило Копленда».
17. Дайте визначення поняттю «правило Сімпсона».
18. Дайте характеристику теоремі Фішберна.
19. Дайте характеристику парадоксам колективних голосувань.
20. Дайте визначення поняттю «функція колективної переваги».
21. Дайте характеристику теоремі Ерроу.
22. Дайте характеристику аксіомам Ерроу.
23. Дайте характеристику прийняттю колективних рішень у малих групах.

6 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

6.1 Системи підтримки прийняття рішень

Розвиток інформаційних технологій дозволив задачі прийняття рішень вирішувати з використанням комп'ютерних систем.

Системи підтримки прийняття рішень (СППР) концентрують методи математичного моделювання і є інструментом, покликаним надати допомогу ОПР у прийнятті управлінських рішень [7, 10].

Мета СППР полягає не в автоматизації процесу прийняття рішення, а в здійсненні кооперації, взаємодії між системою і людиною в процесі прийняття рішень, тобто своєчасно забезпечити аналітиків і експертів ефективним інструментом для проведення оперативного аналізу даних.

Еволюція СППР характеризується рівнем допомоги, яка надається ОПР – від пасивної до активної підтримки.

Сучасні СППР на відміну від статичних систем є динамічними та такими, що орієнтовані на обробку нерегламентованих, несподіваних запитів аналітиків до даних та формування звітів довільної форми.

Система підтримки прийняття рішень – це інтерактивна комп'ютерна система, призначенням якої є забезпечення аналітика або ОПР гнучким інструментом для прийняття рішень із слабкоструктурованих або неструктурованих проблем за різними видами діяльності.

Система підтримки прийняття рішень – інтерактивна комп'ютерна система або підсистема, призначена для надання допомоги ОПР у використанні: комунікаційних технологій, даних, документів, знань і моделей для ідентифікації проблеми, формування процесу прийняття рішення і ухвалення його.

Система підтримки прийняття рішень є загальним терміном для будь-якого програмного продукту, вона дозволяє ОПР або групі осіб ухвалити рішення. Системи підтримки прийняття рішень є класом комп'ютеризованих інформаційних систем, що підтримують діяльність ОПР.

Розрізняють п'ять категорій систем підтримки прийняття рішень:

- системи підтримки прийняття рішень, що орієнтовані на комунікації;
- системи підтримки прийняття рішень, що орієнтовані на дані;
- системи підтримки прийняття рішень, що орієнтовані на документи;

- системи підтримки прийняття рішень, що орієнтовані на знання;
- системи підтримки прийняття рішень, що орієнтовані на моделі.

Види систем підтримки прийняття рішень характеризуються чіткою структурою, що включає три головних компонента:

- підсистему інтерфейсу користувача;
- підсистему управління базами даних (СУБД);
- підсистему управління базою моделей.

Інтерфейс користувача системи підтримки прийняття рішень розробляють з урахуванням того, що аналітик формує запити, вивчає їх результати в інтерактивному режимі. Кожен із запитів може породити потребу в новій серії запитів.

Для сучасних СППР характерно наявність таких характеристик.

- надає керівнику допомогу у процесі прийняття рішень і забезпечує підтримку у всьому діапазоні контекстів задач. Думка людини та інформація, що генерується комп'ютером, становлять єдине ціле для прийняття рішень;

- підтримує і посилює (але не змінює і не відмінює) міркування та оцінку керівника. Контроль залишається за людиною;

- підвищує ефективність прийняття рішень;

- виконує інтеграцію моделей і аналітичних методів із стандартним доступом до даних і вибіркою з них. Для надання допомоги під час прийняття рішень активується одна або декілька моделей. Вміст бази даних охоплює історію поточних і попередніх операцій, а також інформацію зовнішнього характеру та інформацію про середовище;

- проста в роботі для осіб, що мають досвід роботи з комп'ютером, такі системи не потребують глибоких знань про обчислювальну техніку і забезпечують просте пересування по системі;

- побудовані за принципом інтерактивного вирішення задач. Користувач має можливість підтримувати діалог із СППР у безперервному режимі;

- орієнтована на гнучкість і адаптивність для пристосування до змін середовища або підходів до вирішення задач, що обирає користувач. Керівник повинен пристосуватися до змін сам і відповідно підготувати систему;

- не повинна нав'язувати користувачу визначеного процесу прийняття рішень.

6.2 Методологія побудови інтелектуальних систем прийняття рішень

Методологія систем прийняття рішень – це вчення, що описує філософію та закономірності процесу прийняття рішень. Вона дає можливість та інструментарій виявити проблему, визначає методи, моделі та технологію підготовки, розробки, ухвалення управлінського вирішення, формує найважливіші практичні рекомендації [14].

Якщо дотримуватися класифікації проблем прийняття рішень, запропонованої американськими вченими Г. Саймоном і А. Ньюелом, то за ступенем складності проблем їх можна розподілити на три групи:

– перша група – проблеми структуровані, в яких співвідношення між елементами можуть набувати числових значень чи символів. У вирішенні структурованих проблем використовують кількісні методи аналізу: лінійного, нелінійного та динамічного програмування, теорії масового обслуговування, а також теорії ігор, тобто методологію та елементи інструментарію, що дістали назву дослідження операцій;

– друга група – проблеми слабкоструктуровані, що характеризуються насамперед якісними (вербальними), а також і кількісними залежностями між елементами досліджуваної системи та зовнішнім середовищем. Зазначимо, що слабкоструктуровані проблеми містять як якісні фактори та зв'язки між елементами, так і кількісні, в яких переважають перші. Це основа застосування системної парадигми, побудови математичних моделей на підґрунті використання інструментарію ризикології, нечіткої логіки, нейронних мереж, генетичних алгоритмів, поєднання кількісних методів дослідження операцій, методології та інструментарію ризикології, евристичних методів, тобто застосування інструментарію штучного інтелекту;

– третя група – проблеми неструктуровані, що містять лише вербальний опис деяких із найважливіших ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими в явному вигляді невідомі. Вирішення неструктурованих проблем розробляються з використанням методів і моделей штучного інтелекту (евристичних методів, які ґрунтуються на інтуїції, логіці, теоретичних міркуваннях, досвіді, професіоналізмі особи чи колегіального органу – суб'єкта управління). До їх складу включаються експертні методи і моделі, а також нейронечіткі моделі, важливу роль відіграють діалогові процедури та системний аналіз.

Аналіз наукових праць стосовно розробки і застосування систем прийняття рішень в управлінні просторовими об'єктами і підходів до їх математичного моделювання показує, що в сучасних умовах складність слабкоструктурованих проблем (задач) зростає. Це, а також динамічність і невизначеність процесів в умовах трансформаційної ситуації потребують розвитку та вдосконалення концептуальних положень, методології та інструментарію моделювання слабкоструктурованих задач (проблем) як ключових складових у проблемах прийняття раціональних управлінських рішень.

Аналіз класичних математичних методів та моделей (дослідження операцій) для прийняття рішень, які досить широко застосовуються в багатьох прикладних задачах та предметних галузях, дозволяє дійти висновку, що їх традиційного інструментарію середини XX століття недостатньо для підтримки прийняття рішень у разі слабкоструктурованих та неструктурованих задач. Тобто існує потреба у розробці та застосуванні методів і моделей штучного інтелекту з урахуванням ступеня ризику.

Під поняттям «інтелектуальна система прийняття рішень» (ІСПР) розуміють людино-машинні інтерактивні системи, що допомагають відповідальній та компетентній особі приймати рішення, у процесі вироблення яких задіяні штучні підсилювачі інтелекту, здатні до набуття знань, навчання в ході аналізу накопичених даних, адаптації стосовно динамічно змінюваних зовнішніх і внутрішніх обставин, а також до перетворень структури і складових досліджуваної системи, що функціонують в умовах невизначеності та зумовленого цим ризику [13].

Надзвичайно актуальними і такими, що мають широке поле використання, є задачі пошуку ефективних управлінських рішень за умов невизначеності, конфлікту і породженого цим ризику.

Такі задачі характеризуються неповнотою, недостовірністю інформації, різноманітністю та складністю дії на процес прийняття рішень великої кількості факторів [10]. Значний вплив на прийняття рішень мають як багатокритеріальність підтримки рішень, так і багатоаспектність наслідків рішень, неповнота даних про можливі результати, необхідність уміти прогнозувати можливі сценарії розвитку подій.

Потрібно також ураховувати неоднозначність і розпливчастість факторів та параметрів ситуації на момент прийняття рішень, високу динамічність та нелінійність соціально-економічних процесів, роль особистості в ході розроблення, обґрунтування і ухвалення рішень.

Невизначеність – фундаментальна характеристика недостатньої інформаційної забезпеченості прийняття рішень, відсутність знань стосовно певного проблемного питання. Невизначеність класифікують і деталізують за допомогою спеціальних способів. Отже, породжений невизначеністю ризик є невід’ємною складовою в оцінюванні ситуації та прийнятті рішень [14].

Ризик – це системна характеристика (категорія), що відображає особливості сприйняття зацікавленими суб’єктами суспільних відношень об’єктивно існуючих невизначеності та конфліктності, іманентних процесам прийняття рішень.

У останніх наукових працях [8–12, 15–20] пропонуються концептуальні положення та інструментальні засоби до створення інтелектуальних систем прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності та породженого цим ризику, з використанням технологій штучного інтелекту.

Проектування та реалізація інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР) у слабкоструктурованих і неструктурованих проблемних ситуаціях має спиратись на методологію, яка [8]:

- здатна здійснити постановку задач;
- використовує інструментарій з таких сфер наукових і прикладних знань, як дослідження операцій, ризикологія, нейронні мережі, генетичні алгоритми, нечітка логіка, математичні методи та моделі прогнозування, математична статистика, економетрика, експертні системи, і дає змогу деталізувати задачі з виявлення структур у слабкоструктурованих проблемах і завданнях;
- має засоби, що дозволяють використовувати відомі постановки задач.

Інтеграція інтелектуальних засобів моделювання знань у прийнятті рішень, таких як штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми, засновані на нечіткій логіці з експертними системами, дозволить створювати достатньо потужні ІСПР.

6.3 Системна парадигма як підґрунтя прийняття рішень

Вважається, що *системна парадигма* – це методологія вирішення проблем і прийняття рішень, яка ґрунтується на структуризації систем, якісному та кількісному порівнянні альтернатив.

Системна парадигма використовує як класичний математичний апарат, так і інші якісні (вербальні та кількісні) методи із логіки, теорії інформації, структурної лінгвістики, теорії нечітких множин, а також моделей та методів штучного інтелекту.

На сучасному етапі розвитку методології та інструментарію системної парадигми у сфері прийняття управлінських рішень основними формами системних досліджень є системний підхід, загальна теорія систем, теорія організації, теорія управління, системний аналіз, кібернетика, синергетика.

Загальну теорію систем, теорію організації та теорію управління відносять до теоретичного розділу системних досліджень, а системний аналіз, математичне моделювання, кібернетику та синергетику – до прикладного.

Головні концептуальні положення системної парадигми в обґрунтуванні управлінських рішень полягають у такому:

- розглядаються як усі теоретично можливі альтернативні методи і засоби досягнення цілі, так і комбінації і поєднання різних наукових підходів;
- альтернативи систем оцінюються з позицій довготривалої перспективи;
- системну парадигму слід застосовувати завжди, без неї не обійтись у разі відсутності стандартних (формалізованих) рішень;
- ураховуються різні альтернативні думки щодо вирішення однієї й тієї самої проблеми;
- розглядаються складні питання, для яких не чітко виділені вимоги щодо вартості та тривалості;
- визнається вплив як об'єктивних, так і суб'єктивних факторів у процесі прийняття рішень та відповідно до цього розробляються процедури узгодження різних поглядів;
- особлива увага приділяється факторам невизначеності та породженого ними ризику, їх урахуванню та оцінюванню у виборі оптимальних або раціональних рішень серед множини варіантів.

Особливість системної парадигми полягає в тому, що проблеми розглядаються в цілому, з акцентом на прозорість аналізу, на кількісні та якісні методи і на виявлення та врахування невизначеності. Суттєвими є також схеми, алгоритми та моделі, в яких зв'язки не можуть бути однозначно вираженими.

Перевага системної парадигми полягає в тому, що вона дозволяє ефективно поєднувати формалізм із судженнями та інтуїцією експертів у відповідних галузях знань, її корисність полягає в такому:

- у глибшому розумінні та проникненні в сутність проблеми: практичні зусилля, що полягають у виявленні взаємозв'язків між якісними та кількісними оцінками, сприяють виявленню латентних (прихованих) залежностей, що пов'язані з тими чи іншими рішеннями;
- у більш точному та чіткому формулюванні цілей і завдань, що дозволяє знизити можливі неясні аспекти багатопланових цілей;

– має перевагу в процесі аналогії та порівняння: аналіз може бути здійснений у такий спосіб, що плани роботи і політика одного підприємства можуть бути з користю узгоджені й порівняні з планами роботи і політикою інших підприємств;

– у більшій корисності та ефективності: розробка нових методів має призвести до раціонального розподілу ресурсів, більш упорядковано здійснити перевірку цінності інтуїтивних суджень.

Однак, разом із перевагами існує певна обмеженість, зумовлена зокрема:

- невідвратною неповнотою аналізу;
- наближеністю до необхідного рівня ефективності;
- відсутністю способів точного прогнозування перспективи.

Методи системної парадигми можуть бути раціонально використані в процесі прийняття рішень за обставин високої невизначеності та в разі слабкоструктурованих проблем (створення нової складної системи, формування комплексних цільових програм, прогнозування витрат).

Таким чином, головних завдань системної парадигми є вирішення проблем щодо прийняття рішень. Як неодноразово зазначалось, проблема прийняття рішення пов'язана з вибором альтернативи в умовах різного роду невизначеності. Невизначеність, зокрема, зумовлена багатокритеріальністю завдань оптимізації, не завжди однозначно зрозумілими цілями розвитку систем, неоднозначністю сценаріїв розвитку системи, недостатністю апріорної інформації про систему, впливом випадкових факторів у процесі динамічного розвитку системи та іншими обставинами.

Головним сенсом застосування методології системної парадигми є складні слабкоструктуровані проблеми прийняття рішень, у вивченні яких слід застосовувати неформальні процедури, здоровий глузд, а способи опису ситуацій відіграють не меншу роль за формальний класичний математичний апарат.

На етапі постановки завдання дослідження формується мета аналізу, яка вважається зовнішнім фактором щодо системи. Отже, мета стає самостійним об'єктом для вивчення, і тому її необхідно якомога більше формалізувати. Завдання системної парадигми полягає у проведенні належного аналізу невизначеностей та обмежень під час формулювання завдань прийняття рішень.

Побудова математичної моделі полягає в наданні установленої, прийнятої форми досліджуваної системи, процесу чи явища – це опис процесу мовою математики. Для побудови математичної моделі складається математичний опис явищ і процесів, які відбуваються в системі.

Оскільки знання завжди відносні, то опис, зроблений будь-якою мовою, відображає лише ключові (головні) прикмети процесів, які відбуваються, і ніколи не буває абсолютно вичерпним. Побудова математичної моделі є підґрунтям для ефективного застосування системної парадигми, а також центральним етапом дослідження і проєктування будь-якої системи.

Слід мати на увазі, що застосування системної парадигми, зокрема системного аналізу, може мати ряд особливостей, які призводять до потреби широкого введення, разом із формальними процедурами, евристичних методів. Причини, через які звертаються до таких підходів, насамперед пов'язані з відсутністю апіорної інформації про процеси, що відбуваються в досліджуваній системі.

Успішне розв'язання задач системного аналізу потребує використання на кожному етапі дослідження неформальних суджень, тому перевірка якості рішення, його відповідність вихідній меті дослідження перетворюються на важливу теоретичну проблему.

Важливим для опису та аналізу системи є поняття «алгоритм функціонування», тобто метод отримання кінцевих (бажаних) характеристик з урахуванням впливів навколишнього середовища.

За своєю суттю алгоритм функціонування розкриває механізм вияву внутрішніх характеристик системи, які визначають поведінку системи згідно з законами та особливостями її функціонування.

6.4 Сучасний стан вирішення проблем та прийняття рішень

Визначення проблемної ситуації. Проблемні ситуації виникають у ході пізнавальної діяльності суб'єкта, спрямованої на деякий об'єкт, коли суб'єкт стикається з невідповідностями і перешкодами.

Перешкода може мати різну природу: це недостатність і невідповідність знань, засобів і способів їх застосування, необхідність виконати певні невідомі дії для досягнення мети чи зробити вибір між кількома альтернативами. У цих випадках виникає ситуація, яку називають *проблемною*.

Проблемна ситуація – це розрив у діяльності, неузгодженість між цілями і можливостями суб'єкта, тобто наявність умов, які породжують проблему [2].

Існують такі типові проблемні ситуації:

- результати діяльності не відповідають бажаним цілям;
- раніше напрацьовані, теоретично обґрунтовані та практично перевірені методи вирішення не дають необхідного ефекту і не можуть бути використані;

– у процесі практичної діяльності виявляються нові факти, які не вкладаються в межі існуючих теоретичних уявлень чи методик;

– одна із декількох часткових теорій суперечить більш загальній теорії чи іншим сферам життя у межах цієї галузі знань.

Сенс «сформулювати проблему» полягає в тому, щоб виразити її сутність у відомих термінах. Успішне формулювання проблеми може вважатись половиною вирішення проблеми. Слід зазначити, що «наполовину вирішена» внаслідок формулювання проблема насправді є не вирішеною проблемою, але виконане формулювання означає, що головні елементи проблеми у потрібний спосіб визначені та синтезовані.

У формулюванні (постановці) проблеми мають бути виконаними такі дії:

- необхідно описати, яким чином проблема була виявлена;
- з'ясувати, чому вона розглядається як проблема;
- відрізнити її від ознак деяких суміжних проблем;
- дати визначення небажаних наслідків проблеми.

Необхідність дослідження історичних аспектів проблеми має суттєве значення, яке дозволяє встановити обставини, що породили проблему, створити умови, класифікувати етапи та опрацювати засоби її усунення.

Формулювання проблеми має на увазі знання обставин її виникнення, що можуть бути прийнятною спільною основою та допомогти у розкритті зацікавленими сторонами сутності проблеми.

Однак, варто зазначити, що кожна із зацікавлених сторін має власне бачення проблеми та своє ставлення до неї.

Потреба – це те, що об'єктивно пов'язує людину з довкіллям (світом), зокрема, і з соціумом, певне забезпечення її життєдіяльності чи існування.

Після того як буде сформульована проблема, яку потрібно вирішити у ході виконання системного аналізу, переходять до визначення мети.

Визначення мети системи. Визначити мету – це означає відповісти на питання, що саме потрібно зробити для усунення проблеми.

Сформулювати мету – це вказати напрям, в якому слід рухатися, щоб вирішити існуючу проблему, показати шляхи, що ведуть від існуючої проблемної ситуації.

Мета – це подання (модель) майбутнього (очікуваного) результату, яке здатне задовольнити вихідну потребу за наявних реальних можливостей, оцінених на основі досвіду.

Мета – це варіант задоволення певної потреби, вибраної із деякої множини альтернатив, сформульованих на підґрунті спеціального знання.

Потреба – категорія об’єктивна, а мета – суб’єктивна категорія.

Результат – це міра досягнення конкретної мети, тобто міра задоволення потреби.

Мета є конкретним виразом потреби, яка сформульована на підґрунті наявного досвіду і є такою, що розкриває конкретне функціонування досліджуваної системи, звідси виникає ланцюжок «причина-наслідок»:

потреба → мета → функціонування системи → результат.

Реалізація потреби пов’язана з можливими альтернативними шляхами її задоволення. Генерація альтернативного варіанта пов’язана з оцінюванням можливостей на даному рівні знань. Тобто вона визначається не лише вибором певної і конкретної сукупності методів та засобів, які забезпечують реалізацію потреби в даних умовах.

Розглянемо властивості мети:

- мета перебуває у безпосередній залежності від потреби і в цьому аспекті є її прямим наслідком;
- вибір мети суто суб’єктивний, тобто ґрунтується на конкретному знанні індивідуума чи співтовариства;
- мета конкретна;
- мета завжди несе елемент невизначеності, що призводить до деякої неузгодженості фактично здобутого результату та сформованої моделі;
- наявність невизначеності у вихідній моделі робить мету лише засобом оцінювання майбутнього результату.

Розглянемо різні варіанти трансформації потреби у мету:

- потреба визначає всі елементи мети (у такому разі проблема вибору для соціального елементу повністю відсутня);
- потреба не обмежує умов реалізації, точно визначаючи лише основні елементи (у цьому разі соціальному елементу потрібно як формувати мету, так і створювати умови, щоб певні способи використання призначених засобів викликали бажаний результат);
- потреба не обмежує умови і методи реалізації, однак, точно розпізнає модель результату і сукупності засобів її реалізації. Свобода вибору в досягненні мети розширюється, оскільки індивідуум може використовувати всі надані у його розпорядження засоби на свій розсуд, за умови одержання необхідного результату;

– потреба визначає лише ключові параметри моделі результату. Спостерігається повна свобода вибору в межах засобів, які наявні у розпорядженні;

– потреба не містить жодних обмежень. Випадок, коли потреба не містить у собі умови до конкретних обмежень щодо всіх компонент мети.

У практичній діяльності створюється деяка інформаційна система щодо визначення компонентів мети, зокрема, і моделі результату.

Мету реальних систем можна звести до трьох головних видів формального їх подання:

- необхідний кінцевий стан системи;
- необхідний порядок зміни станів;
- необхідний напрямок руху системи без фіксації кінцевої точки.

У формуванні мети розвитку системи необхідне виконання таких умов, що є системою обмежень:

– сукупність усіх часткових цілей системи має бути виражена єдиною головною метою та формалізована у вигляді цільової функції, що є критерієм у порівнянні альтернативних варіантів вирішення проблеми;

– головна мета функціонування системи полягає в забезпеченні найбільш ефективного її функціонування, йдеться про компроміс між рівнем досягнення різних підцілей, який визначається на підставі виміру корисності кінцевих результатів і їх зіставлення із витратами ресурсів на отримання результатів;

– мета вирішення окремої проблеми є одиничним вираженням мети функціонування системи, що частково враховує лише ті підцілі, на ступінь досягнення яких може вплинути вирішення даної проблеми;

– мета вирішення проблеми формулюється з урахуванням конкретних умов, в яких обирається та реалізується рішення.

Мета та умови вирішення проблеми мають бути визначені та формалізовані на першому етапі її розробки:

– виявлення і систематизація підцілей системи, вибір показників, які кількісно характеризують досягнення підцілей;

– уточнення умов вирішення проблеми та формування обмежень, з'ясування складу аргументів цільової функції, які варіюються, з урахуванням прийнятих обмежень;

– формування цільової функції, тобто конкретизація її залежності від аргументів на підґрунті співвиміру підцілей.

Дослідження мети зацікавлених у вирішенні проблем осіб має передбачати також можливості її уточнення, розширення чи навіть заміни, ця обставина є головною причиною ітеративності процесу цілепокладання.

У проведенні системного аналізу, зазвичай, будують дерево цілей. Головне завдання, яке вирішується завдяки побудові дерева цілей, – переведення складної і глобальної мети до скінченного набору дещо простіших модулів, для виконання яких можуть бути визначені конкретні завдання та проекти. Під терміном «дерево цілей» розуміють використання ієрархічної структури, здобутої через розподіл загальної мети на підцілі з подальшою декомпозицією на детальніші складові. Цей метод застосовується для структур, що дотримуються строгого порядку, але він може використовуватись і щодо слабких ієрархій, в яких одна й та сама вершина нижчого рівня може бути підлеглою одночасно двом чи кільком структурам вищого рівня.

Побудова і вибір критеріїв. Критерій – це спосіб порівняння альтернатив. Необхідно розрізняти поняття «критерій» і «критеріальна функція». Критерієм якості альтернативи може бути будь-яка її характеристика, значення якої можна зафіксувати в порядковій чи більш сильній шкалі [4].

Після того як критерій сформовано, тобто знайдена характеристика, яка може бути покладена в підґрунтя порівняння альтернатив, з'являється можливість ставити завдання вибору та оптимізації.

Завдання формування критеріїв вирішується безпосередньо після того, як сформульована мета на основі положень системного аналізу. Ситуація стає зрозумілою, якщо критерії сприймати як кількісні моделі якісних цілей. Завдання системного аналітика полягає в тому, щоб адекватно формалізувати проблемну ситуацію. Реалізації цього завдання є етапом формування критеріїв.

Часто у прийнятті рішень з використанням інструментарію системного аналізу виникає ситуація, коли неможливо запропонувати один критерій, який адекватно відображає мету дослідження: навіть одну мету рідко вдається виразити одним критерієм, хоча до цього необхідно прагнути.

Критерій, як і будь-яка модель, тільки наближено відображає мету, адекватність лише одного критерію може виявитись недостатньою. Тому необов'язково шукати найбільш адекватний критерій, можна використати декілька критеріїв, які описують одну мету, доповнюючи один одного.

Однак, у постановці та розв'язанні задач прийняття рішень з використанням методології системного аналізу слід урахувувати не тільки цілі, на розв'язання яких вона спрямована, а й можливості, які надаються сторонам для розв'язання поставлених задач і які дозволяють зняти виявлені проблеми.

У формулюванні задачі з використанням інструментарію системного аналізу необхідно урахувати аспекти збереження навколишнього середовища. Хоча довкілля й відіграє пасивну роль, слід брати до уваги, що будь-яка система існує всередині нього, взаємодіє з ним. Тому в постановці задачі системного аналізу потрібно керуватись принципом «не нашкодь», не робити нічого, що суперечило б законам природи. Щоб задовольнити умовам не перевищення кількості наявних ресурсів, у постановку відповідних завдань вводять обмеження. Між цільовими критеріями та обмеженнями існує як подібність, так і відмінності. Спільне полягає в тому, що і критерій, і обмеження – це математичні формулювання деяких умов. В окремих оптимізаційних задачах вони можуть бути рівноважними.

Однак, на етапі формування альтернатив цільовий критерій відкриває можливості як для генерування нових альтернатив, так і в пошуках кращої з них, а обмеження апріорі зменшує їх кількість, забороняючи деякі із них.

Ефективним засобом, що дозволяє відшукати найкращі співвідношення між критеріями та обмеженнями, є використання ітераційних процедур. Після проведення певних обчислень і встановлення факту завищення вимог, які сформульовані в обмеженнях, можна дані вимоги знизити і спробувати розв'язати задачу заново.

Вироблення альтернатив досягнення мети. Даний етап системної парадигми є дуже важливим, оскільки необхідно згенерувати множину альтернатив, з яких потім буде здійснюватись вибір найкращого шляху розвитку аналізованої системи.

Альтернативами прийнято називати варіанти дій щодо досягнення мети, вирішення проблеми. Альтернативи – невід'ємна складова проблеми прийняття рішень: якщо немає з чого обирати, то немає вибору, немає ризику обрати не те.

Отже, для постановки задачі прийняття рішень необхідно мати хоча б дві альтернативи. Альтернативи розподіляють на допустимі та недопустимі. Допустимі альтернативи задовольняють обов'язкові обмеження і підлягають подальшому оцінюванню. Недопустимими вважаються такі альтернативи, що не задовольняють обов'язкових вимог та обмежень.

Як зазначалося раніше, альтернативи бувають незалежними і залежними. Незалежними вважають ті альтернативи, будь-які дії з якими не впливають на якість та параметри інших альтернатив. Для залежних альтернатив оцінки одних впливають на якість інших [7]. Найпростішою та очевидною є безпосередня групова залежність: якщо прийнято рішення розглядати хоча б одну альтернативу з деякої групи, то необхідно розглядати й усю групу.

Так, плануючи удосконалення проєкту, прийняття рішення щодо збереження основної структури інформаційної системи тягне за собою розгляд усіх варіантів його реалізації.

Задачі прийняття рішень суттєво різняться залежно від наявності альтернатив на момент вироблення стратегій прийняття рішень. Існують задачі, коли всі альтернативи вже задані, визначені та потрібно лише обрати кращу з цієї множини. Особливістю цих задач є наявність замкненої, що не розширюється, множини альтернатив.

Водночас існує багато задач іншого типу, коли всі альтернативи чи значна їх частка з'являються після прийняття основних рішень.

Коли альтернатив багато (сотні й тисячі), то увага ОПР не може детально зосередитись на кожній із них. У таких ситуаціях виникає необхідність щодо вироблення чітких правил вибору у процедурах використання альтернатив, у розробці системи правил, що дозволяє втілювати в життя несуперечливу та послідовну політику. Потреба в такому комплексі заходів існує й тоді, коли множина альтернатив відносно невелика (до 20).

Як зазначалося раніше, у таких задачах як вибір технології прийняття рішень, вибір проєкту, вибір мови програмування основних альтернатив, з розгляду яких починається вибір, небагато. Але вони не є єдино можливими. Нерідко на їх підґрунті в процесі вибору виникають нові альтернативи. Первинні, основні альтернативи, не завжди задовольняють учасників процесу вибору. Однак, вони допомагають їм зрозуміти, чого конкретно не вистачає, що можна реалізувати в даній ситуації, а чого ні. Цей клас задач можна назвати задачами з конструйованими альтернативами.

Якщо до сформованої множини альтернатив не ввійшла найкраща, то жодні найдосконаліші методи аналізу не допоможуть її обрати. Трудність етапу зумовлена необхідністю генерації достатньо повної множини альтернатив, які містять з першого погляду такі, що не завжди реалізуються.

Існують такі способи генерації:

- пошук альтернатив у патентній та науковій літературі;
- залучення кількох експертів, які мають різну підготовку та досвід;
- збільшення кількості альтернатив за рахунок їх комбінацій, утворення проміжних варіантів між запропонованими раніше;
- модифікація наявної альтернативи, тобто формування альтернатив, що лише частково відрізняються від відомої;
- включення альтернатив, протилежних запропонованим, зокрема, і нульової альтернативи (не робити нічого);

- інтерв'ю зацікавлених осіб та ширші анкетні опитування;
- включення до розгляду навіть тих альтернатив, які з першого погляду здаються надуманими;
- генерування альтернатив, розрахованих на різні інтервали часу (довготривалі, короткотривалі, екстрені).

Виконуючи роботу щодо генерації альтернатив, важливо створити сприятливі умови для співробітників, які виконують цей вид діяльності. Велике значення мають і психологічні фактори, що впливають на інтенсивність творчої діяльності, тому необхідно прагнути до створення сприятливого клімату на робочому місці співробітникам.

Ще однією проблемою, що виникає під час виконання робіт з формування множини альтернатив, є отримання на початковій стадії великої кількості альтернатив. Для докладного вивчення кожної із них знадобляться неприйнятно великі затрати часу та засобів. Тому в даному випадку бажано провести попередній аналіз альтернатив та спробувати звужити їх множину на ранніх етапах аналізу. На цьому етапі аналізу застосовують, загалом, якісні методи порівняння альтернатив.

Реалізація вибору та прийняття рішень. Мета застосування системної парадигми полягає в тому, щоб з використанням її інструментарію в кінцевому результаті здійснити вибір. Вибір та прийняття рішення є сутністю поставленої задачі системного аналізу, кінцевий результат усієї роботи.

Процедура прийняття рішення – дія над множиною згенерованих альтернатив. Бажано, щоб це була одна альтернатива. Звуження множини альтернатив можливе, якщо буде спосіб порівняння альтернатив між собою і визначення найбільш привабливих (пріоритетних). Для того, щоб була можливість порівняти альтернативи, потрібно знайти критерій привабливості.

До основних складностей, які виникають у розв'язанні задач вибору і прийняття рішення, можна віднести такі:

- множина може бути скінченною, зліченною чи нескінченною;
- оцінювання альтернативи може здійснюватися за одним чи кількома критеріями;
- критерії можуть мати кількісний вираз чи допускати лише якісне оцінювання;
- режим вибору може бути однократним чи повторюватись, тобто таким, що допускає навчання через досвід;
- наслідки вибору можуть бути відомі точно, мати ймовірнісний характер чи мати неоднозначний результат, який заперечує введення ймовірностей.

Різні сполучення названих варіантів призводять до різноманіття задач вибору. Для розв'язання задач вибору пропонуються різні підходи, найбільш поширений із яких – критеріальний підхід.

Головне положення критеріального підходу можна сформулювати так: кожна окремо взятую альтернативу можна оцінити конкретним числом – значенням критерію. Критерії, на підґрунті яких здійснюється вибір, мають різні назви – критерій якості або функції: цільова, переваг, корисності. Задача зводиться до порівняння результатів обчислень відповідних критеріїв.

Як зазначалося раніше, у науці про прийняття рішень вважається, що варіанти рішень характеризуються різноманітними показниками їхньої привабливості для ОПР. Показники називають ознаками, факторами, атрибутами чи критеріями.

Критерії оцінювання альтернатив – це кількісні і/або якісні показники, що їх використовують для порівняння альтернатив з позиції рівня їхнього наближення до мети, або показники привабливості (чи непривабливості) кожної з альтернатив для учасників процесу вибору (прийняття рішення).

Для прийняття рішень в умовах невизначеності, конфлікту та зумовленого ними ризику (для вирішення слабкоструктурованих проблем) існує велика кількість опрацьованих критеріїв.

Постає завдання вибору критеріїв (підмножини) з великої кількості відомих, для їх використання у прийнятті рішень. Зокрема, для прикладу, можна назвати такі: Байєса, Гермейєра, Гурвіца, Лапласа, максимаксу, Вальда, Севіджа, Ходжеса-Лемана. Критерії можуть бути незалежними або залежними. Незалежними називаються критерії, у яких оцінка альтернативи за одним із них визначає оцінку за іншим критерієм. Залежність між критеріями призводить до появи цілісних образів альтернатив, які мають для кожного з учасників процесу вибору певний сутнісний зміст.

Як зазначалося раніше, на складність завдань прийняття рішень впливає також кількість критеріїв. При невеликій кількості критеріїв завдання порівняння двох альтернатив є відносно простим, якості за критеріями можуть бути безпосередньо порівняні та вироблено компроміс.

Однак, і у цьому випадку існують проблеми. Розвивається такий науковий напрямок, як багатоцільові та багатокритеріальні методи та моделі прийняття рішень.

За наявності великої кількості критеріїв задача прийняття рішень стає складною (надскладною). Тут діють різні підходи, зокрема, критерії можуть бути об'єднані в групи, що мають конкретне змістове навантаження.

Підґрунтям для групування критеріїв слугує оцінка конкретної інформаційної ситуації, можливість виявити плюси та мінуси альтернатив, їх позитивні якості та недоліки. Такі групи, зазвичай, незалежні. Виявлення структури на множині критеріїв робить процес прийняття рішень більш осмисленим та ефективним.

Оцінювання альтернатив – порівняння між собою альтернатив вирішення проблеми та виявлення кращого за визначеним переліком критеріїв варіанта. Використання критеріїв для оцінювання альтернатив потребує визначення градацій якості: кращих, гірших, середніх (проміжних) оцінок. Тобто існують шкали оцінок за критеріями.

Однак, на практиці складність відшукування найкращої альтернативи багатократно зростає, оскільки оцінювання варіантів доводиться проводити на підставі декількох критеріїв, які якісно відрізняються один від одного. У цій ситуації необхідно вирішувати багатокритеріальні задачі. Підходи до розв'язання таких задач відомі – це метод зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної, метод умовної максимізації, пошук альтернативи з заданими властивостями.

Вирішуючи задачі вибору та прийняття рішень, необхідно враховувати обставини, за яких здійснюється вибір, і обмеження задачі, оскільки їх зміна може призвести до зміни розв'язку за умови, що критерій один.

Впровадження результатів аналізу. Кінцевою метою застосування системного аналізу, як відомо, є прийняття рішень щодо зміни існуючої ситуації згідно з поставленою метою. Остаточне судження про правильність і корисність системного аналізу можна зробити лише на підставі результатів його практичного застосування. Кінцевий результат буде залежати не тільки від того, наскільки досконалі та теоретично обґрунтовані методи та моделі, які застосовуються для проведення аналізу, але і від того, наскільки грамотно, ретельно обґрунтовані та реалізовані результати.

Варто зазначити, що реалізація прийнятих рішень впливає на фактори функціонування системи. Етапи дослідження та впровадження в системах фактично зливаються, тобто відбувається ітеративний процес. Дослідження, що проводяться, впливають на життєдіяльність системи, це видозмінює проблемну ситуацію, ставить нове завдання досліджень.

Нова проблемна ситуація стимулює подальше застосування системної парадигми. Іншими словами, проблема поступово вирішується в процесі активного дослідження та прийняття раціональних рішень.

6.5 Сучасний стан розвитку технологій прийняття рішень

Більшість задач з розробки рішень у складних ситуаціях передбачають аналіз не однієї, а багатьох властивостей результатів, причому кожна ознака описується з використанням окремого показника ефективності рішення, що приймається. Такі задачі, коли рішення приймається не за одним, а за кількома показниками ефективності, називаються *багатокритеріальними*.

Багатокритеріальні задачі можуть вирішуватись як в умовах визначеності, так і невизначеності. Подібні задачі виникають у ході проєктування, експлуатації та аналізу перспектив розвитку організацій зв'язку і транспорту, розподілу ресурсів, управління галузями промисловості, організації наукових досліджень, розробка цільових програм.

Зазвичай, більшість вимог до покращення значень суперечать одна одній. Наприклад, прагнення збільшити надійність системи призводить до збільшення вартості, яку бажано зменшити; вимога скоротити терміни проєктування та введення в експлуатацію організацій різного профілю може погіршити виробничі показники; вимога до підвищення оперативності обробки інформації суперечить вимогам щодо підвищення достовірності її обробки. У цих випадках необхідне використання спеціальних методів пошуку оптимального рішення, які відрізняються від методів розв'язання однокритеріальних задач.

Рішення (стратегія), що приймається, є результатом спільного розгляду цілей і можливостей та їх узгодження. Для використання математичних методів у аналізі, оцінюванні, управлінні та прийнятті рішень складові задачі вибору повинні мати адекватне відображення в математичній моделі.

Ефективною є концепція, згідно з якою ціль – це напрям розвитку системи (так звана *ціль-напрямок*).

Досить поширеною є інша інтерпретація, коли ціль – це деякий наперед визначений стан, якого необхідно досягти певній системі (так звана *ціль-стан*).

Зазначимо, що *ціль-напрямок* (надалі – *ціль*) дозволяє порівнювати альтернативні стратегії і, як наслідок, – вибирати найкращу, що найбільшою мірою забезпечує максимальне наближення до бажаного стану (*ціль-стану*).

Загальні моделі, що переважно використовуються в прийнятті рішень, мають якісний характер і/або фіксують результати порівняння альтернативних рішень (стратегій) у контексті цілей аналізованої системи, або аналітично описують результати вибору із множини альтернативних рішень.

У першому випадку ціль описується як бінарні відношення на множині альтернативних рішень і станів середовища, у другому – функцією виграшу.

Поряд з якісним описом цілей як у теоретичних дослідженнях, так і на практиці математичного моделювання досить поширені кількісні моделі. Найпростішою та найпоширенішою моделлю такого типу є *цільова функція* (функціонал оцінювання), яка ставить у відповідність кожному альтернативному рішенняу і стану середовища дійсне число.

Побудова цільової функції (функціонала оцінювання) досліджуваної системи – це досить складна задача. Проблеми, що виникають при цьому, зумовлені багатовимірним характером цілей соціально-економічного розвитку, кінцевих результатів та наслідків діяльності.

За цих умов *узагальнена ціль* системи, якщо вона допускає вербальне формулювання, з труднощами втілюється у вигляді скалярної цільової функції. Тому замість узагальненої цілі доводиться розглядати *систему цілей* (*векторну цільову функцію*), виділяючи її складові більш прості *часткові цілі*, моделювати які через побудову цільових функцій (функціоналів оцінювання) уже не так проблематично.

У свою чергу, різнобічні інтереси (цілі) ОПР спричиняють конфлікти між ними та обумовлений цим ризик. Наприклад, формуючи стратегію, як правило, беруть до уваги різноманітні цілі, узгоджуючи суперечливі вимоги, зумовлені обставинами.

Описаний підхід є засобом подолання об'єктивно існуючої розбіжності між складністю цілей досліджуваних систем та обмеженими можливостями їх математичного моделювання. Водночас помилковим вважається намагання пов'язати виникнення багатоцільових задач зі специфікою математичного методу дослідження проблем.

Множинність цілей досліджуваних систем має об'єктивний характер та знаходить своє модельне відображення у вигляді задачі прийняття багатоцільових багатокритеріальних рішень.

6.6 Нечітка багатокритеріальна ієрархічна модель прийняття рішень

Майже кожна більш-менш складна задача прийняття рішення (індивідуального або колективного) є задачею прийняття рішень в умовах ризику за наявності багатьох критеріїв [15–19].

Задача оцінки скінченної множини варіантів (стратегій) і векторної оптимізації пов'язана з невизначеністю за спроби виявити взаємну (відносну) важливість різних аспектів (критеріїв) щодо прийняття рішень.

У наукових публікаціях щодо прийняття рішень сполучення термінів «багатокритеріальний» і «нечіткий» зустрічаються досить часто. Однак, більшість авторів, сформулювавши на початку аналізу задачу прийняття рішень як нечітку та багатокритеріальну, вже на першому кроці її розв'язання використовують певну згортку критеріїв і надалі вивчають скалярну нечітку задачу прийняття рішень. Згортки, як правило, вводяться інтуїтивно, на підставі здорового глузду, залежно від змісту конкретної задачі, раціональних суджень.

Наведений далі алгоритм є модифікацією методу аналізу ієрархій (MAI), у якому використовується понятійний та математичний апарат теорії нечітких множин. Завдяки цьому стає можливим безпосереднє оперування різного роду вербальними (лінгвістичними) даними.

Алгоритм складається з таких основних кроків:

Крок 1. Формування багаторівневої ієрархічної структури, яка містить інтегрований критерій, часткові критерії та об'єкти (проекти, стратегії) дослідження та впорядкування (вибору).

Крок 2. Побудова матриць попарних порівнянь з нечіткими оцінками для елементів, які перебувають на окремих рівнях ієрархії.

Крок 3. Обчислення значень вагових коефіцієнтів (векторів пріоритетів) кожного з елементів ієрархічної структури з погляду елемента, який перебуває на безпосередньо вищому рівні ієрархії.

Крок 4. Обчислення вектору пріоритетів, який визначає нечіткі оцінки аналізованих об'єктів (проектів, стратегій) з погляду інтегрованого критерію.

Крок 5. Упорядкування досліджуваних об'єктів (проектів) відносно величини нечітких оцінок.

6.7 Використання генетичних алгоритмів та штучних нейронних мереж у прийнятті рішень

Коли ОПР необхідно вирішити деяку проблему, вона відносить її до певного класу проблем та шукає оптимальний інструментарій для вирішення.

Як правило, великий досвід різних практиків, науковців, дослідників у вирішенні проблем деякого класу за допомогою різних засобів дозволяє говорити про оптимальність того чи іншого інструментарію. Зазначимо, що під час вирішення проблем той чи інший інструментарій буде ефективним, але завжди існує спокуса поєднати якісний інструментарій для отримання ймовірно більш ефективного інструментарію [12, 14].

Розглянемо сумісне використання генетичних алгоритмів та штучних нейронних мереж. Вони можуть використовуватися у вирішенні проблеми послідовно один за одним, така ситуація називається допоміжним об'єднанням, або одночасно – рівноправне об'єднання.

Допоміжне об'єднання може включати такі варіанти сумісного використання:

- нейронні мережі для забезпечення генетичних алгоритмів (приклад використання: формування вихідної популяції для генетичного алгоритму);

- генетичні алгоритми для забезпечення штучних нейронних мереж (приклади використання: аналіз штучних нейронних мереж, підбір параметрів або перетворення простору параметрів, підбір параметрів або правила навчання).

Під час рівноправного об'єднання можливі такі варіанти одночасного використання:

- генетичні алгоритми для навчання штучних нейронних мереж (приклад використання: еволюційне навчання мережі – еволюція ваг зв'язків);

- генетичні алгоритми для вибору топології нейронної мережі (приклад використання: еволюційний підбір топології мережі – еволюція мережевої архітектури);

- системи, що об'єднують адаптивні стратегії генетичних алгоритмів і штучних нейронних мереж (приклади використання: штучні нейронні мережі для вирішення оптимізаційних задач із використанням генетичного алгоритму для підбору ваг мережі, реалізація генетичного алгоритму за допомогою нейронної мережі, застосування нейронної мережі для реалізації оператора схрещування у генетичному алгоритмі).

Крім того, генетичні алгоритми та штучні нейронні мережі можуть незалежно застосовуватися для вирішення однієї й тієї самої задачі.

У наукових літературних джерелах описано незалежні способи використання штучних нейронних мереж, генетичних алгоритмів та алгоритму k найближчих сусідів для вирішення задач класифікації. Зокрема, проводилися порівняння тришарової однонаправленої штучної нейронної мережі з навчанням за методом зворотного поширення похибки (навчання з учителем), штучної нейронної мережі Кохонена із самоорганізацією (навчання без учителя), системи класифікації, що ґрунтується на генетичному алгоритмі, а також алгоритму k найближчих сусідів. Крім того, прикладом задачі, яку можна вирішити як за допомогою штучних нейронних мереж, так і генетичних алгоритмів є задача комівояжера.

6.8 Геоінформаційні системи прийняття управлінських рішень

У методиках проектування систем не завжди використовують особливості просторової інформації про місця знаходження чи переміщення численних ресурсів, які реалізовані в геоінформаційних технологіях [20].

Слід зазначити, що практично будь-яка управлінська інформація містить просторову або географічну складову, що неможливо не врахувати під час виконання оперативної обробки інформації.

Розвиток інформаційних технологій дозволив створити геоінформаційні системи – складні програмні продукти, які реалізують геоінформаційні технології, призначені для комп'ютерного моделювання різноманітних процесів з метою вирішення широкого кола задач, відносно об'єктів управління з просторовою прив'язкою [6]. Геоінформаційні технології мають можливості інтеграції і сумісного аналізу різнорідних даних та є важливим інструментом для вирішення задач управління. Геоінформаційні системи та технології застосовуються під час автоматизації обробки інформації про об'єкти будь-якого походження: штучні чи природні, моніторинг, опис, аналіз, моделювання стану яких і прийняття управлінських рішень щодо поліпшення їх характеристик є неповним без просторового аналізу.

Прикладами таких об'єктів управління є:

- підприємства з територіально розподіленими ресурсами (фінансовими, матеріальними, трудовими, інформаційними) з необхідністю виконувати моніторинг та оптимізацію розміщення/пересування ресурсів у просторі та часі;
- підприємства, що надають веб-сервіси для широкого кола користувачів, з необхідністю гнучкої координації використання сервісів у просторі та часі;
- підприємства оператори мобільного зв'язку з необхідністю оптимального розміщення трансляційних станцій на певній території;
- логістичні структури з необхідністю виконувати моніторинг матеріальних та фінансових потоків товарів чи вантажів у просторі та часі;
- маркетингові фірми з необхідністю управляти процесом сегментації ринку, розповсюдження та просування товарів чи послуг в просторі та часі;
- автотранспортні фірми з необхідністю оптимізувати управління рухом, забезпеченням паливом та іншими ресурсами;
- заклади охорони здоров'я з необхідністю виконувати моніторинг стану здоров'я населення та роботи медичних працівників лікувальних закладів;
- екологічні організації з необхідністю виконувати моніторинг та поліпшення стану оточення в просторі та часі;

- будівельні фірми з необхідністю виконувати пошук оптимальних місць для будівництва;
- навчальні заклади з дистанційною формою навчання та необхідністю відстежувати процес навчання в просторі та часі;
- туристичні фірми з необхідністю обирати та відслідковувати маршрути туристів;
- комунальні підприємства з необхідністю поліпшення управління всіма ресурсами побутового призначення;
- органи державного управління з дистанційною формою територіального управління.

Останнім часом широкого розповсюдження набув напрям оперативного геомодельовання [20], який базується на інструментах інтелектуального аналізу та є основою для розробки спеціалізованих систем підтримки прийняття рішень та сервіс-орієнтованих архітектур.

Однак, дані розробки мало реалізовані в діючих системах, тому що є вузькоспеціалізованими.

Актуальною залишається розробка концепції моделювання оперативного аналізу та прийняття рішень із застосуванням геоінформаційних технологій з метою підтримки управління з територіально розподіленими ресурсами.

Перспективним напрямом використання геоінформаційних технологій є електронний уряд, який заснований на автоматизації всієї сукупності процесів управління в масштабах держави з метою підвищення ефективності управління та зниження витрат соціальних комунікацій [6].

Основою ефективного проєктування електронного уряду є такі технологічні компоненти [6]:

- а) система підтримки прийняття рішень по територіальному управлінню;
- б) система комплексного управління взаємостосунками державних органів з громадянами на основі застосування:
 - 1) геоінформаційних технологій;
 - 2) організаційно-економічних методів і моделей;
 - 3) систем моделювання бізнес-процесів;
 - 4) систем бізнес-інтелекту;
 - 5) технологій інтернет-маркетингу;
 - 6) оптимізації бізнес-процесів;
 - 7) побудови і використання електронних платіжних систем.

Географічна інформаційна система (ГІС) – це система для управління географічною інформацією, її аналізу і відображення [20].

Географічна інформація подається у вигляді серій наборів географічних даних, які моделюють географічне середовище за допомогою простих узагальнених структур даних. Геоінформаційна система включає набори інструментальних засобів роботи з географічними даними.

База даних геоінформаційної системи є транзакційною та реляційною за моделлю організації даних.

Картографія має утилітарне призначення, сприяє прийняттю правильних рішень стосовно об'єктів, параметри яких мають картографічну інтерпретацію, тобто будь-яка географічна карта є моделлю, яка з певною точністю відображає стан просторових об'єктів та є топографічною основою зв'язків між ними.

Електронне втілення карт складає базу моделей геоінформаційних систем. Крім просторових моделей, геоінформаційна система містить множину інструментів, які реалізують математичні методи побудови моделей аналізу та прийняття рішень про об'єкти з просторовою прив'язкою.

Аналіз є ключовою функцією, яка відрізняє геоінформаційні системи від інших програм візуалізації, що відіграє важливу роль при визначенні взаємозв'язків між географічними даними під час прийняття рішень.

Одним з найбільш перспективних напрямів вирішення проблем аналізу та прийняття рішень з управління багатовекторною структурою з розподіленими ресурсами є розробка систем підтримки прийняття рішень на основі геоінформаційних систем.

Розрізняють три види геоінформаційних систем [6, 20]:

- геоінформаційна система як база геоданих, де ГІС – це просторова база даних, що містить набори даних, які подають географічну інформацію в контексті загальної моделі даних ГІС (векторні об'єкти, растри, мережі);

- геоінформаційна система як інструмент геовізуалізації, де ГІС – це набір інтелектуальних карт, які відображають просторові об'єкти і відношення між об'єктами на земній поверхні, дозволяють побудувати різні види карт, які можуть використовуватися для підтримки запитів, аналізу і редагування інформації;

- геоінформаційна система геообробки, де ГІС – це набір інструментів для отримання нових наборів географічних даних з існуючих наборів. Функції обробки просторових даних (геообробки) полягають у виборі інформації з існуючих наборів даних, застосуванні до них аналітичних функцій і запису отриманих результатів у вихідні набори даних.

Розвиток інтернет-технологій, технологій СУБД, об'єктно-орієнтованого програмування, розробки мобільних комп'ютерів і широкомасштабне застосування геоінформаційних систем призвели до нового бачення ролі і місця геоінформаційних технологій.

Геоінформаційні системи застосовують у мобільних пристроях для підтримки робіт безпосередньо в місцях їх проведення – це так звані, польові геоінформаційні системи.

Корпоративні користувачі геоінформаційних систем зв'язуються з центральними геоінформаційними серверами і можуть працювати як з традиційними настільними програмними продуктами, так і з веб-браузерами, налаштованими на конкретні задачі додатками, мобільними комп'ютерами та іншими обчислювальними пристроями.

Розрізняють такі головні типи моделей процесів:

- *моделі придатності* – пошук оптимального місцезнаходження чи оптимального пересування матеріальних, трудових, фінансових та інформаційних ресурсів;

- *моделі відстаней* – обчислення відстані між територіально віддаленими точками з урахуванням рельєфу місцевості, різницею в обліку часу;

- *моделі гідрології* – визначення куди буде направлена лавина чи потік;

- *моделі поверхонь* – визначення кадастрових особливостей, рівня забруднення різних регіонів.

Повна геомодель складається з послідовності локальних задач, моделей процесів, наборів даних для виконання дій процесів у кожній локальній задачі та дозволяє скласти очікувану карту з локальних наборів, яка надає уявлення про стан предметної області для прийняття управлінських рішень.

Модель геомодельовання задано у вигляді кортежу [20]:

$$\langle F, f_i, R, C_c, Sh_i, P_m, W_j, [\langle \text{допоміжні дані} \rangle] \rangle, \quad (6.1)$$

де F – мета (або постановка задачі) геомодельовання;

f_i – локальні задачі (складові загальної задачі моделювання з визначенням локальних критеріїв вирішення кожної задачі);

R – глобальний критерій оптимізації (головний, найвагоміший з локальних критеріїв);

C_c – обмеження для прийняття рішення;

Sh_i – вхідні набори просторових даних (векторні теми, атрибутивні таблиці, растрові дані);

P_m – процеси (функції) моделювання;

W_j – вага вихідного набору даних.

Параметри, що наведені у квадратних дужках, вказуються в разі їх наявності та необхідності використання в обчисленнях або для забезпечення наочності карти.

6.9 Приклад геоінформаційної підготовки до прийняття рішень

Задача 6.1: Нехай необхідно знайти місце розташування підприємства, для якого вказана відстань від міста (N км).

Мета геомодельовання – пошук оптимального (субоптимального або раціонального) плану розміщення підприємства за критерієм мінімізації вартості будівництва та наявності певних обмежень.

Необхідно застосувати щодо місцевостей, які обрані для розташування підприємства, такі фактори, як:

- відстань N км від міста;

- вартість земель;

- вартість доставки матеріалів та інших ресурсів для будівництва, яка обумовлюється близькістю до автотранспортних шляхів та населених пунктів з вільною робочою силою;

- тип землеустрою місцевості.

Модель геомодельовання у цьому випадку має вигляд [20]:

$$\langle F, f_i, R, C_c, Sh_i, P_m, W_j, [G_g, Q_r] \rangle, \quad (6.2)$$

де F – оптимізація розміщення нового підприємства;

f_i – розміщення підприємства в N кілометровій зоні відносно міста, відносно ділянок місцевості з відомою вартістю, відносно автотранспортних шляхів та пунктів, де не менше, ніж 80% населення є вільною робочою силою, $i = 1, \dots, L$;

R – мінімальна вартість будівництва;

C_c – підприємство не повинно бути розташованим на землях сільськогосподарських угідь, на території заповідників та заказників;

Sh_i – вхідні набори просторових даних включають векторні теми з відповідними атрибутивними таблицями про N км зону відносно міста, землі з певною вартістю, автотранспортні шляхи, населені пункти, землі сільськогосподарських угідь, території заповідників та заказників;

P_m – відбір даних за певною ознакою, вимірювання відстаней між об'єктами, конвертування форматів даних, перекласифікація наборів даних, ранжування об'єктів;

W_j – значення ваги вихідного набору даних оцінюється експертами (ОПР);

G_g – геологічні, гідрологічні особливості місцевості, обраної для розміщення нового підрозділу;

Q_r – обмеження на специфічні для задачі види ресурсів.

Отримана модель реалізовує метод багатокритеріального прийняття рішень експертами, у групу яких можуть входити спеціалісти з різних галузей, наприклад, геодезисти, інженера-геоінформатики, екологи, економісти.

Геомодельовання дозволяє ОПР прийняти правильне рішення про оптимальне (раціональне) місце розміщення або координати на карті нового підприємства за критерієм мінімальної вартості будівництва з врахуванням вказаних обмежень.

6.10 Теоретичні запитання до розділу 6

1. Дайте визначення поняттю «система підтримки прийняття рішень».
2. Дайте визначення поняттю «система управління базами даних».
3. Дайте характеристику інтелектуальній системі прийняття рішень.
4. Дайте визначення поняттю «невизначеність прийняття рішень».
5. Дайте визначення поняттю «ризик прийняття рішень».
6. Дайте характеристику інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень.
7. Дайте визначення поняттю «системна парадигма».
8. Дайте оцінку сучасному стану вирішення проблем та прийняття рішень.
9. Дайте визначення поняттю «проблемна ситуація».
10. Дайте оцінку сучасному стану розвитку технологій прийняття рішень.
11. Дайте оцінку нечіткій багатокритеріальній ієрархічній моделі.
12. Дайте оцінку геоінформаційній системі прийняття управлінських рішень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Воробйов С.А., Мар'їн С.О., Пономаренко О.С. Теорія прийняття рішень. Класичні підходи: навч. посібник. Харків: ХТУРЕ, 2000. 196 с.
2. Петров Э.Г., Новожилова М.В., Гребенник И.В., Соколова Н.А. Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах: учеб. пособие. Херсон: ОЛДІ-плюс, 2003. 380 с.
3. Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А., Соколов В.Б. Теория выбора и принятия решений: учеб. пособие. М.: Наука, 1982. 328 с.
4. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений: учебник. М.: Логос, 2000. 296 с.
5. Творошенко И.С. Анализ процессов принятия решений в интеллектуальных системах. *Системы обработки информации*. 2010. Вып. 2 (83). С. 248–253.
6. Творошенко И.С., Мгеброва В.Р., Белый В.В. Практические аспекты применения современных геоинформационных систем для создания муниципальной геоинформационной системы города Харькова. *Системы обработки информации*. 2015. Вып. 7 (132) С. 65–70.
7. Пономаренко В.С., Павленко Л.А., Беседовський О.М. та ін. Методи та системи підтримки прийняття рішень в управлінні еколого-економічними процесами підприємств: навч. посібник. Харків: ХНЕУ, 2012. 272 с.
8. Tvoroshenko, I.S., and Gorokhovatsky, V.O. Modification of the branch and bound method to determine the extremes of membership functions in fuzzy intelligent systems. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019. 78(20). pp. 1857–1868.
9. M. Ayaz Ahmad, Irina Tvoroshenko, Jalal Hasan Baker, and Vyacheslav Lyashenko Modeling the Structure of Intellectual Means of Decision-Making Using a System-Oriented NFO Approach. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2019. 7(11). pp. 460–465.
10. Yousef Ibrahim Daradkeh, and Irina Tvoroshenko Technologies for Making Reliable Decisions on a Variety of Effective Factors using Fuzzy Logic. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2020. 11(5). pp. 43–50.
11. Tvoroshenko, I.S., and Gorokhovatsky, V.O. Effective tuning of membership function parameters in fuzzy systems based on multi-valued interval logic. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2020. 79(2). pp. 149–163.

12. Tvoroshenko, I.S., and Gorokhovatsky, V.O. Intelligent classification of biophysical system states using fuzzy interval logic. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019. 78(14). pp. 1303–1315.

13. Творошенко И.С. Структура и функции интеллектуальных средств принятия решений в сложных системах. *Искусственный интеллект*. 2004. № 4. С. 462–470.

14. Кучеренко Е.И., Филатов В.А., Творошенко И.С., Байдан Р.Н. Интеллектуальные технологии в задачах принятия решений технологических комплексов на основе нечеткой интервальной логики. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2005. № 2. С. 92–96.

15. M. Ayaz Ahmad, Irina Tvoroshenko, Jalal Hasan Baker, and Vyacheslav Lyashenko Computational Complexity of the Accessory Function Setting Mechanism in Fuzzy Intellectual Systems. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2019. 8(5). pp. 2370–2377.

16. Asaad Ma. Babker, Abd Elgadir A. Altoum, Irina Tvoroshenko, and Vyacheslav Lyashenko Information Technologies of the Processing of the Spaces of the States of a Complex Biophysical Object in the Intellectual Medical System HEALTH. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2019. 8(6). pp. 3221–3227.

17. Vyacheslav Lyashenko, Syed Khalid Mustafa, Irina Tvoroshenko, and M. Ayaz Ahmad Methods of Using Fuzzy Interval Logic During Processing of Space States of Complex Biophysical Objects. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. 8(2). pp. 372–377.

18. Gorokhovatskyi, V.O., Tvoroshenko, I.S., and Peredrii, O.O. Image classification method modification based on model of logic processing of bit description weights vector. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2020. 79(1). pp. 59–69.

19. Irina Tvoroshenko, M. Ayaz Ahmad, Syed Khalid Mustafa, Vyacheslav Lyashenko, and Adel R. Alharbi Modification of Models Intensive Development Ontologies by Fuzzy Logic. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. 8(3). pp. 939–944.

20. Tvoroshenko, I.S., and Kramarenko, O.O. Software determination of the optimal route by geoinformation technologies. *Radio Electronics Computer Science Control*. 2019. Vol. 3. pp. 131–142.