

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Факультет інформаційних технологій
(факультет)
Кафедра системного аналізу та управління
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
Кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

Студентки Цютченко Поліни Юріївни
академічної групи 124-19-1
спеціальності 24 Системний аналіз
на тему: «Дослідження багатокритеріальних методів прийняття рішень у застосуванні до управління під час війни»

Керівники кваліфікаційної роботи	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		Рейтинговою	інституційною	
розділів:				
Інформаційно-аналітичний	проф Ус С.А.			
Спеціальний розділ	проф Ус С.А.			
Рецензент	проф Ус С.А.			
Нормоконтролер	проф.УсС .А.			
	к.ф.-м.н., доц.Хом'як Т.В.			

Дніпро
2023

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Системного аналізу та управління

(повна назва)

к.т.н., доц. Желдак Т.А.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 20__ року

Завдання на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра

студентці Цютченко П.Ю. академічної групи 124- 19-1

спеціальності: 124 Системний аналіз

на тему «Дослідження багатокритеріальних методів прийняття рішень
у застосуванні до управління під час війни»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська
політехніка» від 11.04 2023 р. №256-с

Розділ	Зміст	Терміни виконання
1. Інформаційно-аналітичний розділ	<i>Проаналізувати багатокритеріальні методи прийняття рішень. Визначити предметну область дослідження та актуальні проблеми, бґрунтувати обрані методи виконання поставлених завдань</i>	12.09.2022 – 01.03.2023
2. Спеціальний розділ	<i>Розв'язати задачі що виникають під час воєнного стану із застосуванням розглянутих у роботі методів.</i>	01.03.2023 – 30.05.2023

Завдання видано _____

(підпис)

доц. Желдак Т.А.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі: 06.09.2021 р.

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Цютченко П.Ю.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 55 с., 29 табл., 2 рис., 3 дод., 15 джерел

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНІ МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, МЕТОД ІЄРАРХІЙ, МЕТОД TOPSIS, МЕТОД PROMETHEE, МЕТОД ELECTRE, ОПТИМІЗАЦІЯ, ЗАДАЧІ У ЗАСТОСУВАННІ ДО ВІЙНИ.

Мета роботи: забезпечення обґрунтованого прийняття рішень щодо задач, які виникли під час війни, із застосуванням багатокритеріальних методів прийняття рішень.

Об'єкт дослідження: процеси прийняття рішень в умовах воєнного стану.

Предмет дослідження: методи багатокритеріального вибору у застосуванні до задач, які виникають під час війни.

Методи дослідження: метод аналізу ієрархій, методи TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE, ARAS.

В аналітичному розділі розглянуто багатокритеріальні методи прийняття рішень та їх особливості застосування, визначено актуальні завдання та розглянуто бізнес процеси, що виникають під час війни.

В спеціальному розділі розв'язано поставлені задачі за допомогою проаналізованих методів, відображено актуальність застосування багатокритеріальних методів прийняття рішень у застосуванні до війни.

Практична цінність отриманих результатів полягає у забезпеченні осіб, які приймають рішення, а саме, волонтерів та військових, структурованим і систематичним підходом до оцінки різних напрямків дій, як на полі бою так і у цивільному просторі, що дозволяє їм враховувати широкий спектр факторів і критеріїв та збалансовувати конкуруючі пріоритети послідовним і прозорим способом. А також висвітлення переваг та недоліків застосування методів прийняття рішень у застосуванні до війни.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи здійснена на IV Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасне підприємництво: проблеми теорії та практики».

ABSTRACT

Attestation work: 55 pages, 29 table, 2 figure, 3 appendix, 15 source

MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS, HIERARCHY METHOD, TOPSIS METHOD, PROMETHEE METHOD, ELECTRE METHOD, OPTIMIZATION, PROBLEMS APPLIED TO WAR.

The purpose of the work: to ensure informed decision-making regarding problems that arose during the war, using multi-criteria decision-making methods.

Research object: decision-making processes under martial law.

The subject of research: methods of multi-criteria selection in application to problems that arise during war.

Research methods: method of analysis of hierarchies, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE, ARAS methods.

In the analytical section, multi-criteria decision-making methods and their application features are considered, current tasks are defined, and business processes that arise during the war are considered.

In a special section, the set problems are solved with the help of analyzed methods, the relevance of the application of multi-criteria decision-making methods in application to war is reflected.

The practical value of the obtained results is to provide decision-makers, namely, volunteers and the military, with a structured and systematic approach to the evaluation of different courses of action, both on the battlefield and in the civilian space, which allows them to consider a wide range of factors and criteria and balance competing priorities in a consistent and transparent manner. As well as highlighting the advantages and disadvantages of using decision-making methods as applied to war.

Approbation of the results of the qualification work was carried out at the 4th International Scientific and Practical Conference "Modern Entrepreneurship: Problems of Theory and Practice".

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

MCDM - Багатокритеріальне прийняття рішень

AI - Метод аналізу ієрархій

AMB - Метод аналізу мережі взаємозв'язків

AOP - Метод аналізу оптимального рішення

АНМ - Метод аналізу нечітких множин

PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

ELECTRE - ELimination Et Choix Traduisant la REalité

TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

ARAS - Метод адитивної оцінки співвідношення

MAUT - Multi-Attribute Utility Theory

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	
ABSTRACT	
ВСТУП	
РОЗДІЛ 1	
ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	
1.1 Аналіз актуальності багатокритеріальних методів прийняття рішень у застосуванні до війни.....	11
1.2. Огляд літератури.....	12
1.3. Опис бізнес-процесів	15
1.4. Актуальні завдання	16
1.5 Прийняття рішень у багатокритеріальних задачах	18
1.5.1. Метод аналізу ієрархій (MAI).....	
1.5.2. Метод PROMETHEE.....	
1.5.3 Метод ELECTRE.....	
1.5.4 Метод TOPSIS	
1.5.5 Метод ARAS.....	
1.6 Висновки за розділом 1	31
РОЗДІЛ 2	
СПЕЦІАЛЬНИЙ	
2.1 Задача про розробку плану евакуації.....	33
2.2 Задача про закупівлю медичного обладнання	36
2.3 Завдання розміщення військових частин у складних рельєфно-ландшафтних умовах	39
2.4 Задача розподілу матеріально-технічних ресурсів між військовими частинами.....	42
2.5 Визначення пріоритетів у забезпеченні військових потреб	46
2.6 Висновки до розділу 2	51
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
ДОДАТОК А.....	

ВСТУП

Прийняття рішень – це те, з чим зустрічається кожен, незалежно від сфери діяльності та віку. Суть процесу прийняття рішень полягає в тому, щоб з множини доступних рішень обрати те, яке забезпечить оптимальний розв’язок для поставленої задачі. Під час воєнного стану процес прийняття рішень став більш актуальним як серед цивільного населення, так і серед військових. У будь-яких ситуаціях під час війни особи, які приймають рішення, повинні враховувати безліч факторів і критеріїв, починаючи від стратегічних цілей і закінчуючи наявністю ресурсів, управління ризиками та людським капіталом. Вибір найбільш відповідного методу прийняття рішень має вирішальне значення для досягнення оптимальних результатів.

У даній роботі досліджується ефективність застосування різних методів прийняття рішень в умовах війни.

Об’єкт дослідження: процеси прийняття рішень в умовах воєнного стану.

Предмет дослідження: методи багатокритеріального вибору у застосуванні до задач, які виникають під час війни.

Методи дослідження: метод аналізу ієрархій, методи TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE, ARAS.

Мета роботи: забезпечення обґрунтованого прийняття рішень щодо задач, які виникли під час війни, із застосуванням багатокритеріальних методів прийняття рішень

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати огляд та аналіз сучасного стану проблеми прийняття рішень у застосуванні до війни;
- розглянути задачі, які можна розв’язати такими методами;
- сформулювати змістові та концептуальні постановки задач;

- обрати методи та розв'язати такі задачі: розробка плану евакуації, закупівля медичного обладнання, вибір розміщення військової частини в складних рельєфно-ландшафтних умовах, розподіл матеріально-технічних ресурсів між частинами та визначення пріоритетів у забезпеченні військових потреб;

- провести аналіз результатів.

Практична цінність отриманих результатів полягає у забезпеченні осіб, які приймають рішення, а саме, волонтерів та військових, структурованим і систематичним підходом до оцінки різних напрямків дій, як на полі бою так і у цивільному просторі, що дозволяє їм враховувати широкий спектр факторів і критеріїв та збалансовувати конкуруючі пріоритети послідовним і прозорим способом. А також висвітлення переваг та недоліків застосування методів прийняття рішень у застосуванні до війни.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи здійснена на IV Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасне підприємництво: проблеми теорії та практики».

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз актуальності багатокритеріальних методів прийняття рішень у застосуванні до війни

Багатокритеріальні методи прийняття рішень використовуються в різних галузях, включаючи економіку, фінанси, менеджмент, інженерію, медицину, екологію та багато інших. Вони є потужним інструментом для аналізу складних проблем і допомагають вирішувати їх шляхом урахування багатьох критеріїв та факторів. Серед багатокритеріальних методів прийняття рішень можна виділити такі, як аналіз ієрархій, метод порівняння за схожістю до ідеального варіанту, метод вагової суми оцінок та інші. Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження та може бути використаний в залежності від характеру проблеми та умов застосування.

Керування в умовах війни є складним процесом, який вимагає ефективного прийняття рішень для забезпечення успіху як волонтерських справ, так і військових операцій. Використання багатокритеріальних методів прийняття рішень є однією з ключових переваг у таких умовах, оскільки вони дозволяють враховувати кілька цілей або критеріїв, навіть із суперечливими пріоритетами, і визначати найкращу альтернативу або курс дій. Незважаючи на те, що багатокритеріальні методи прийняття рішень пропонують багато переваг у цьому контексті, вони також мають деякі проблеми та обмеження, які потрібно вирішувати.

Загалом, дослідження багатокритеріальних методів прийняття рішень, застосованих до управління у воєнний час, є дуже актуальним через критичну роль прийняття рішень у визначенні успіху чи невдачі військових операцій. Використовуючи ці методи, особи, які приймають рішення, можуть приймати

більш обґрунтовані та стратегічні рішення, підвищувати ефективність та результативність військових операцій, а також сприяти розробці нових методів та інструментів прийняття рішень, які відповідають унікальним викликам воєнного часу.

Хоча багатокритеріальні методи прийняття рішень пропонують багато переваг у цьому контексті, є кілька проблем і обмежень, які необхідно вирішити.

Однією з головних проблем є складність отримання точної та надійної інформації. У воєнних ситуаціях інформація часто є неповною, ненадійною або упередженою, що ускладнює прийняття обґрунтованих рішень. Методи багатокритеріального прийняття рішень покладаються на точні та надійні дані для оцінки різних варіантів дій, а відсутність таких даних може призвести до неточних або неоптимальних рішень. Наприклад, під час війни в Перській затоці в 1991 році Сполучені Штати значною мірою покладалися на звіти розвідки, щоб атакувати іракські військові об'єкти, але багато з цих звітів виявилися неточними або вводили в оману, що призвело до кількох невдалих місій.

Вирішення багатокритеріальних задач є доцільним у застосуванні до задач у воєнний період, головне правильно оцінювати усі ризики та переваги і у разі потреби адаптувати методи для отримання більш точних результатів.

1.2. Огляд літератури

Багатокритеріальне прийняття рішень – це розділ з теорії досліджень операцій, спрямований на прийняття рішень за наявності конкуруючих критеріїв. Засоби дослідження операцій забезпечують осіб, що приймають рішення, актуальною та математично обґрунтованою базою для прийняття рішень. Багатокритеріальний аналіз є одним з важливих розділів дисципліни

дослідження операцій. Задача ранжування альтернатив належить до ключових та розглядається в рамках багатокритеріального аналізу.

При написанні даної роботи було розглянуто ряд статей та матеріалів, які допомогли розширити ідею атестаційної роботи та знайти більше інформації для дослідження та вирішення задач.

У статті [1] було проведено аналіз процесів багатокритеріальної оцінки рішень, що приймаються, для створення системи підтримки прийняття рішень у військовій галузі. Обґрунтовано як і чому на заняттях з оперативної (тактичної) підготовки військ треба вчитися формувати мету і стратегії бойових дій, окреслювати мету вербально-кількісними рамками, проводити критеріальну оцінку ефективності бойових дій, шукати моделі, які вже застосовуються у військах в ході підготовки і прийняття рішень та застосовувати їх.

В роботі [2] продемонстровано розробку методу визначення доцільних стратегій управління об'єктами в ході збройної боротьби, коли для прийняття управлінських рішень формування множин конфліктних ситуацій визначається нечітким описом інформаційного ресурсу суб'єктів управління. Показано необхідність використання багатокритеріальних методів аналізу при виробленні органами військового управління рішення на операцію (бій) угруповання військ (сил). Розглянуто особливості використання складених критеріїв, методів аналізу ієрархій, таксономії, теорії ігор і нечітких множин для вибору способу бойових дій угруповання військ (сил) при виробленні рішення на операцію (бій). Проведено експертну оцінку відповідності застосування перелічених методів встановленим вимогам (урахування невизначеності застосування противником способів бойових дій, обґрунтованість прийняття рішення на операцію (бій), адекватність процесу прийняття рішення інтелектуальної діяльності командира (командувача)). Запропоновано для вибору способу бойових дій угруповання військ (сил) в

умовах невизначеності обстановки застосовувати методи теорії ігор і нечітких множин:

У статті [3] розглянуто процеси прийняття рішення у військовій справі. Проведено аналіз використання теорії нечітких множин в процесах прийняття рішення. Наведено приклад рішення задачі пониження впливу невизначеності при нечіткості інформації для розпізнавання замислу дій засобів повітряного нападу.

Продемонстровано як обраний підхід у формалізації процесів оцінки обстановки дозволяє розпізнавати замисел дій засобів повітряного нападу, передбачати мету і стратегію бойових дій та на цій підставі приймати рішення щодо ведення протиповітряної оборони.

В роботі [4] авторів І.С. Романченко, М.М. Потьомкін, показано застосування методу TOPSIS та його результати. Продемонстровано належність до методів ранжування альтернатив. Практично доведено, що даний метод можна комбінувати з іншими методами, що дозволяє підвищити обґрунтованість розроблюваних рекомендації або визначити перспективні альтернативи, які залишились поза увагою інших методів.

Популярність методу FUZZY TOPSIS виражена через призму публікації [5] Sorin Nadaban, де автори представили загальний огляд розвитку нечітких методів TOPSIS Вони згадали декілька робіт, у яких представлені деякі застосування нечітких TOPSIS, такі як:

- проблема розташування;
- вибір постачальника;
- стійка та відновлювана енергетика.

Ця стаття є потужним фактором, що вказує на неухильний розвиток методу, та його пристосованість для різних задач.

1.3. Опис бізнес-процесів

Управління під час війни є критично важливим і складним процесом, який часто включає численні критерії та фактори. Щоб приймати обґрунтовані та ефективні рішення, організації повинні використовувати відповідні багатокритеріальні методи прийняття рішень. Проте простого вибору способу прийняття рішення недостатньо. Ефективне прийняття рішень також вимагає встановлення чітких критеріїв прийняття рішень, залучення зацікавлених сторін, а також регулярної оцінки та оновлення критеріїв прийняття рішень.

Розглянемо основні бізнес процеси волонтерських центрів під час війни коли надходить запит на допомогу (рис. 1.1)[6].

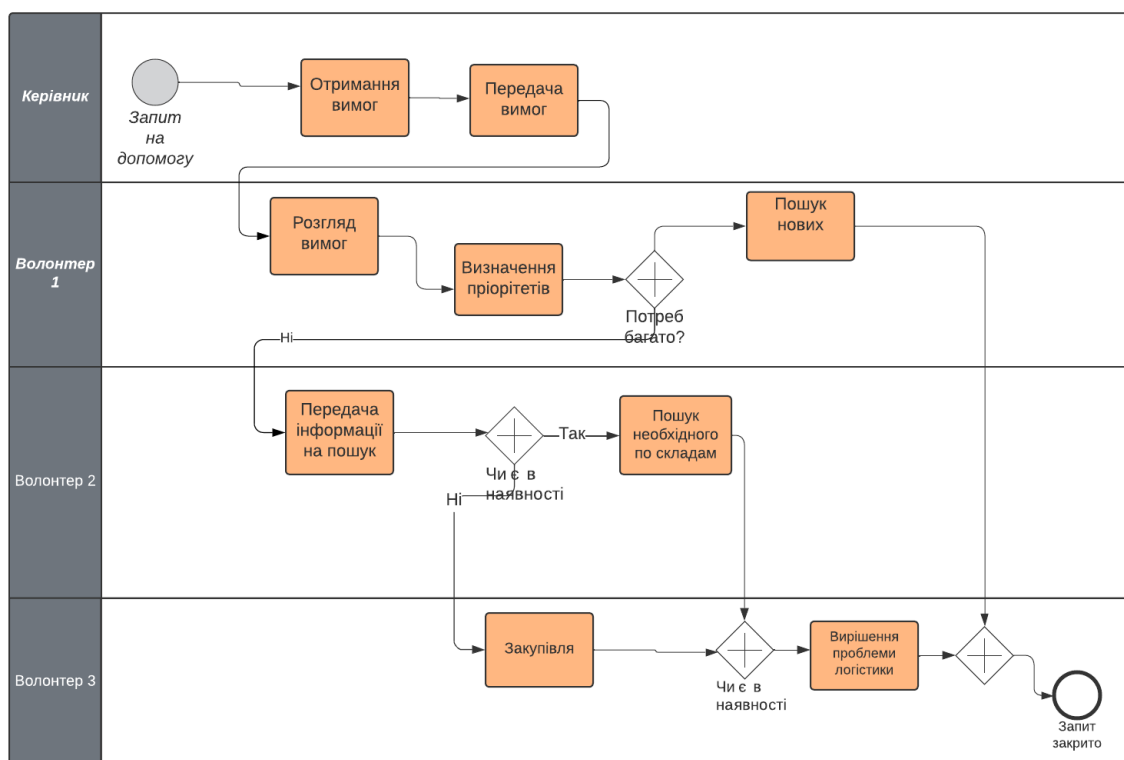


Рисунок 1.1. Схема бізнес процесів у волонтерських організаціях

На вході маємо запит від військових на допомогу, саме після отримання запиту починається низка найважливіших процесів.

1. Отримання вимог від військових

2. Передача вимог на волонтерів, котрі шукатимуть необхідне
3. Під час розгляду вимог волонтери аналізують списки усього необхідного на фронт.
4. Далі визначаються пріоритети, тобто те, що потрібно терміново.
5. Якщо не вистачає людського ресурсу оголошується набір волонтерів, які допомагають із закриттям потреб. Якщо вистачає то починається пошук по складах.
6. Якщо необхідного нема в наявності, починається процес закупки.
7. Останнім процесом перед закриттям потреб є логістика.

Також, щоб сприяти прийняттю ефективних рішень у контексті управління військовим періодом, організації можуть реалізувати такі бізнес-процеси: встановлення чітких критеріїв прийняття рішення, регулярне оцінювання та оновлення цих критеріїв, залучення зацікавлених сторін.

Впровадження цих бізнес-процесів може допомогти організаціям ефективно застосовувати багатокритеріальні методи прийняття рішень у контексті управління під час війни, що призведе до більш обґрунтованих та ефективних рішень, які підтримують їхні стратегічні цілі та завдання.

1.4. Актуальні завдання

Як ми з'ясували раніше, дослідження багатокритеріальних методів прийняття рішень є актуальним під час війни у різних сферах застосування.

Нами були обрані наступні завдання, для прийняття рішень щодо:

- евакуації персоналу;
- закупівлі медичного обладнання;
- розташування військових підрозділів у складних умовах терену та ландшафту;
- розподілу матеріально-технічних ресурсів між військовими підрозділами;
- визначення пріоритетів у забезпеченні військових потреб.

Ефективне прийняття рішень у контексті управління військовим періодом має вирішальне значення для забезпечення успіху військових операцій та безпеки та благополуччя задіяного персоналу. Використання багатокритеріальних методів прийняття рішень є особливо важливим у цьому контексті, оскільки рішення повинні прийматися на основі ряду факторів і критеріїв.

Завдання про евакуація персоналу, вимагає врахування багатьох факторів, таких як тяжкість травм, наявність медичних закладів і безпеку шляхів евакуації. Запропонована задача розроблена для підприємств різних типів та цивільного населення.

Задача про закупівлю медичного обладнання, також вимагає врахування різних критеріїв, таких як вартість, якість та доступність обладнання. Це завдання є актуальним для волонтерських центрів, які закупають медичні товари.

Багатокритеріальні методи прийняття рішень можуть допомогти визначити пріоритетність закупівлі обладнання, забезпечуючи отримання найбільш ефективного.

У завданні щодо розміщення військових частин у складних рельєфно-ландшафтних умовах продемонстровано як враховуючи критерії такі, як стратегічне значення, доступність та безпека можна визначити найбільш підходящі місця розташування військових підрозділів, гарантуючи, що вони знаходяться в найбільш вигідних позиціях для операцій.

У задачі про розподіл матеріально-технічних ресурсів між військовими частинами – потребує врахування таких критеріїв, як оперативні потреби, забезпеченість ресурсами та вартість. Багатокритеріальні методи прийняття рішень можуть допомогти визначити пріоритетність підрозділів, та які саме ресурси вони мають отримати, забезпечуючи ефективний розподіл ресурсів.

Завдання з визначення пріоритетів у забезпеченні військових потреб вимагає врахування таких критеріїв, як важливість ресурсів, доступність і

безпека. Багатокритеріальні методи прийняття рішень можуть допомогти визначити пріоритети, які потреби мають бути розглянуті в першу чергу, гарантуючи, що найважливіші потреби будуть задоволені першими.

Загалом, використання багатокритеріальних методів прийняття рішень у контексті управління у воєнний час має вирішальне значення для забезпечення ефективного та обґрунтованого прийняття рішень. Здатність враховувати численні критерії та фактори може призвести до кращих рішень, які є більш ефективними та узгодженими зі стратегічними цілями та завданнями.

1.5 Прийняття рішень у багатокритеріальних задачах

Задачі прийняття рішень виникають кожен день, вони є природною частиною життя. Ми оцінюємо альтернативи, зважуємо критерії, приймаємо рішення. Однак збільшення потоку інформації та можливі ускладнення задач вимагають глибшого дослідження процесу прийняття рішень для покращення якості прийняття рішень.

Рішення – це набір дій які виконує особа для прийняття рішення, спрямованих на досягнення поставленої мети або для приведення системи чи об'єкта до задовільного стану. Рішення є проявом волі людини, її складовою розумової діяльності. Характерними ознаками прийняття рішення є:

1. Вибір з набору альтернатив. Якщо альтернативні варіанти відсутні – це означає відсутній вибір, отже рішення не може існувати;

2. Чітка мета. Безцільний вибір не може бути рішенням;

3. Необхідність вольового акту особи, що приймає рішення, бо рішення формується в умовах боротьби мотивів та думок. Прийняття рішення – це процес знаходження найбільш преференційного рішення серед множини можливих рішень чи ранжування множини рішень.

Прийняття рішень здійснюється на підставі знань про об'єкт та процеси, що в ньому відбуваються чи відбудуться в майбутньому, а також, за наявності,

множини показників, які характеризують ефективність та якість прийнятого рішення. Тобто, для прийняття рішення необхідні адекватна модель об'єкту та модель прийняття та оцінки прийнятого рішення. Під моделлю прийняття рішень мається на увазі формальне подання задачі та процесу прийняття рішень.

Однією з проблем у прийнятті рішень стала наявність великого числа критеріїв, які не завжди погоджені між собою. Це зумовлює створення необхідних математичних моделей і застосування математичних методів. Одним із способів формалізації таких задач є використання багатокритеріальних оптимізаційних моделей прийняття рішень. Побудуємо формальну модель багатокритеріальної задачі [7].

Нехай буде задано множину допустимих альтернатив X . Їх властивості описуються сукупністю цільових функцій:

$$f = \{f_i(x)\}, i \in I, x \in X,$$

де I – множина індексів, $I = \{1, 2, \dots, M\}$. Будемо вважати, що m перших цільових функцій максимізується, а інші $(M - m)$ мінімізуються. Позначимо через I_1 множину індексів, для яких цільові функції максимізуються, тобто $I_1 = \{1, 2, \dots, m\}$. Аналогічно позначимо множину I_2 , для індексів з мінімізацією цільової функції. Тоді багатокритерійна задача може бути записана таким чином:

$$f_i(x) \rightarrow \max, i \in I_1,$$

$$f_i(x) \rightarrow \min, i \in I_2$$

$$x \in X$$

де $f_i(x)$ – цільова функція; x – альтернатива; i – індекс; I_1 – множина індексів для максимізації; I_2 – множина індексів для мінімізації; X – множина допустимих альтернатив.

Розглянемо поняття ефективної альтернативи, на прикладі задачі багатокритеріальної оптимізації [7]. З огляду на задані цільові функції, альтернативи x_1 і x_2 можливо порівнювати таким чином:

– альтернатива x_1 не гірша за альтернативу x_2 , коли

$$\begin{cases} f_i(x_1) \geq f_i(x_2), i \in I_1, \\ f_i(x_1) \leq f_i(x_2), i \in I_2; \end{cases} \quad (1.1)$$

– альтернатива x_1 еквівалентна альтернативі x_2 , якщо

$$f_i(x_1) = f_i(x_2), \forall i \in I; \quad (1.2)$$

– альтернатива x_1 строго переважає альтернативу x_2 , коли

$$\begin{cases} f_i(x_1) \geq f_i(x_2), i \in I_1, \\ f_i(x_1) < f_i(x_2), i \in I_2, \end{cases} \quad (1.3)$$

і хоча б одна нерівність виконується як строга.

Очевидно, що не кожному парі альтернатив можливо порівняти між собою.

В такому випадку знаходиться альтернатива x_0 , яка буде визначена як ефективна, якщо на множині допустимих альтернатив X не існує жодної альтернативи, котра б задовольнила такі нерівності:

$$\begin{cases} f_i(x_1) \geq f_i(x_0), i \in I_1, \\ f_i(x_1) < f_i(x_0), i \in I_2, \end{cases} \quad (1.4)$$

причому хоча б одна з них виконується як строга.

Іншими словами, ніяка інша альтернатива не зможе «покршити» значення жодної цільової функції, не погіршивши при цьому значення деякої іншої. Саме тому іноді ефективні альтернативи називають «непокршуваними» за множиною цілей, або оптимальними за Парето. Серед множини оптимальних за Парето альтернатив необхідно шукати розв'язок задачі багатокритеріальної оптимізації. Проте, яку саме альтернативу потрібно вибирати, сказати не можна, необхідні додаткові дослідження^[12].

1.5.1. Метод аналізу ієрархій (МАІ)

Метод аналізу ієрархій (МАІ) - математичний інструмент системного підходу до складних проблем прийняття рішень, що дозволяє структурувати проблему прийняття рішень у вигляді ієрархії, порівняти та виконати оцінку альтернативних варіантів рішення[8].

Метод аналізу ієрархій розробив американський вчений Т. Сааті. Зараз це великий міждисциплінарний розділ науки, що має строгі математичні й психологічні обґрунтування й різні додатки.

МАІ ґрунтується на декомпозиції проблеми на простіші складові частини з подальшою обробкою послідовності суджень особи, що приймає рішення, за допомогою здійснення попарного порівняння цих складових. У результаті аналізу може бути виражений відносний ступінь взаємодії окремих елементів у побудованій ієрархії. Ці судження згодом повинні бути виражені кількісно.

Застосування методу МАІ можна пояснити чотирма простими кроками:

1. Розробка ієрархічної моделі проблеми, за якою необхідно прийняти рішення.

Мета розташована у верхній частині ієрархії, на нижчих рівнях критерії та підкритерії, а знизу альтернативи. На малюнку 1.2 показано дану структуру.

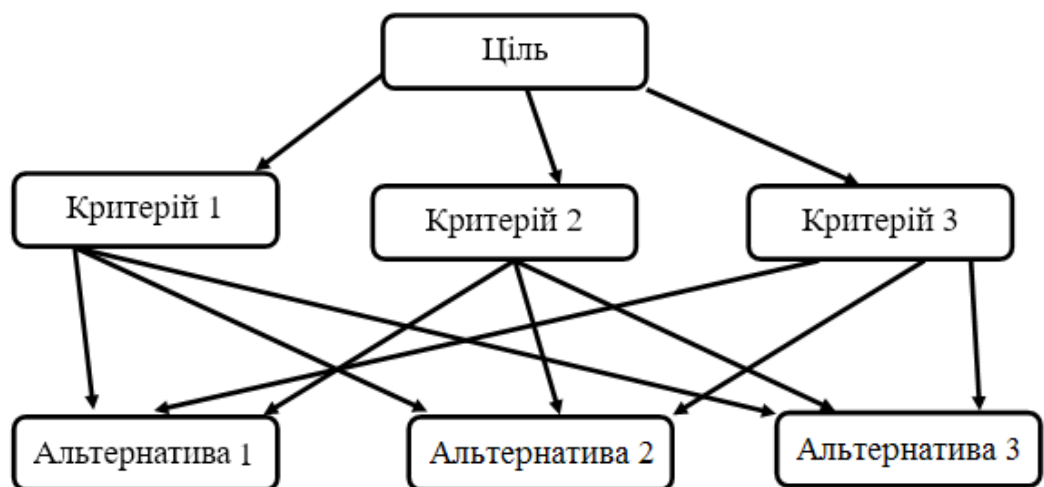


Рисунок 1.2 – Приклад ієрархії в МАІ

Формально в процесі прийняття рішень експерт повинен враховувати набір критеріїв $C = \{c_1, \dots, c_m\}$, які є характеристиками, що роблять одну альтернативу кращою за іншу стосовно даної мети.

2. На кожному рівні ієрархії проводиться попарне порівняння елементів та за допомогою шкали відносних рівнів важливості Сааті виражаються

уподобання особи, що приймає рішення. Шкала містить 5 рівнів та 4 підрівні з числовими межами від 1 до 9 для опису інтенсивності[8].

Таблиця 1.1

Шкала Сааті

Коефіцієнт відносної важливості	Визначення ситуацій
1	Рівна важливість пріоритетів
3	Помірна перевага
5	Сильна перевага
7	Цілком значна перевага
9	Найбільша перевага
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між двома сусідніми судженнями

3. Для обчислення локальних критеріїв, підкритеріїв та альтернатив можуть бути застосовані оцінки відносної значущості елементів із кожного рівня ієрархічної структури. Далі синтезуються загальні пріоритети альтернатив.

Для вдалого застосування методу МАІ необхідно звернути увагу на такі аксіоми:

- Аксіома взаємності. Якщо елемент А в n разів більш важливий, ніж елемент В, то елемент В у $\frac{1}{n}$ разів важливіший за елемент А.
- Аксіома однорідності. Порівняння має сенс лише тоді, коли елементи однаково порівняні. Один елемент не може бути набагато кращим за інший.
- Аксіома залежності дозволяє порівнювати групу елементів одного рівня з елементами вищого рівня. Порівняння на нижньому рівні залежить від елементів вищого рівня.
- Аксіома очікування. Будь-яка зміна структури ієрархії потребує нового розрахунку пріоритетів у новій ієрархії.

Розглянемо необхідні формули для вирішення задач

Визначення пріоритетності критеріїв при виборі альтернативи здійснюється за формулами (1-2):

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1.5)$$

$$w_{норм} = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (1.6)$$

де W - компонента власного вектору матриці (середнє значення оцінок пріоритетності); $W_{норм}$ - вектор пріоритетів; a_{ij} – значення елементів матриці.

Оцінка узгодженості думок експертів здійснюється за формулами (3-5):

$$\lambda = \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot w_{норм i} \quad (1.7)$$

$$I_c = (\lambda - n)/(n - 1) \leq 0,2 \quad (1.8)$$

$$OC = I_c / I_{cc} \quad (1.9)$$

де λ – власне значення матриці; I_c – індекс узгодженості; I_{cc} – середнє значення індексу узгодженості; OC - відношення узгодженості; n – кількість критеріїв(альтернатив).

1.5.2. Метод PROMETHEE

Метод організації рейтингу переваг для оцінки збагачення (PROMETHEE) це багатокритеріальний метод прийняття рішень, який використовується для оцінки та ранжування набору альтернатив на основі кількох критеріїв[9]. Метод був розроблений бельгійським математиком Жан-П'єром Брансом у 1980-х роках і з тих пір широко використовується в різних галузях, включаючи техніку, економіку та науку про навколишнє середовище.

Метод PROMETHEE складається з кількох етапів:

1. Визначення альтернатив, які необхідно оцінити, критеріїв, які слід використовувати, і ваги кожного критерію.

2. Порівняння кожної альтернативи з будь-якою іншою за кожним критерієм, використовуючи функцію переваги, яка призначає ступінь переваги кожній парі альтернатив. Функція переваги може бути лінійною, гауссовою або іншою відповідною функцією.

3. Обчислення чистого потоку випередження для кожної альтернативи, який є різницею між його потоками випередження (тобто сумою його ступенів переваги над усіма іншими альтернативами) та потоками випередження (тобто сумою ступенів переваги всіх інших альтернатив над ним).

4. Ранжування альтернатив на основі їхніх чистих потоків випередження, причому більші потоки вказують на кращу загальну продуктивність.

Метод PROMETHEE має кілька переваг, включаючи його здатність обробляти як кількісні, так і якісні критерії, його гнучкість у дозволі використання різних функцій переваг і його здатність генерувати повне ранжування альтернатив. Він також забезпечує аналіз чутливості, який допомагає визначити критерії, які мають найбільший вплив на рейтинг.

Однак метод також має деякі обмеження. Це потребує значних парних порівнянь, які можуть зайняти багато часу та вимагати експертної оцінки. Крім того, передбачається, що ступені переваги незалежні один від одного, що не завжди може мати місце в сценаріях прийняття рішень у реальному світі.

Загалом, метод PROMETHEE є корисним інструментом для багатокритеріального прийняття рішень у ситуаціях, коли можна проводити попарні порівняння між альтернативами та критеріями.

1.5.3 Метод ELECTRE

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) — сімейство багатокритеріальних методів прийняття рішень, розроблене французькими дослідниками в 1960-х роках[10].

Метод дозволяє особі, яка приймає рішення, вибирати між кількома альтернативами на основі набору критеріїв оцінки.

Метод ELECTRE заснований на відношенні переваги між альтернативами, що означає, що альтернативу можна вважати «кращою» за іншу, якщо вона перевершує її за одними критеріями та перевершує її за іншими. Метод також враховує ваги, призначені кожному критерію, і порогові значення, встановлені особою, яка приймає рішення.

Основні кроки методу ELECTRE:

1. Визначення проблеми прийняття рішення та набір альтернатив, які необхідно оцінити.
2. Визначення критеріїв, які будуть використані для оцінки, призначення ваги кожному критерію.
3. Встановлення порогових значень для кожного критерію, які визначають мінімально прийнятний рівень ефективності.
4. Оцінка кожної альтернативи за кожним критерієм, обчислення ефективності кожної альтернативи відносно інших.
5. Обчислення індексів узгодженості та неузгодженості для кожної пари альтернатив, які вимірюють ступінь кращості однієї альтернативи за іншу за кожним критерієм.
6. Визначення відношення переваги між альтернативами на основі індексів узгодженості та неузгодженості.
7. Об'єднання співвідношення випередження в глобальний рейтинг альтернатив.
8. Аналіз чутливості для перевірки стійкості рейтингу.

Метод ELECTRE має кілька варіацій, наприклад ELECTRE I, ELECTRE II та ELECTRE III, які відрізняються способом обчислення індексів узгодженості та розбіжності, а ще способом агрегування зв'язків випередження[11].

Огляд методів сімейства ELECTRE:

Методи ELECTRE розроблені в кінці 60-х років французькими вченими на чолі з професором Б. Руа. Для попарного порівняння багатокритеріальних альтернатив був запропонований новий підхід, де оцінка кожної альтернативи у порівнянні з іншою була не абсолютною, а відносною.

Основні етапи методів ELECTRE

1) На основі заданих оцінок 2-х альтернатив рахуються значення 2-х індексів узгодженості та неузгодженості. Індокси за гіпотезою що альтернатива A краща за альтернативу B визначають узгодженість/неузгодженість.

2) Далі задаються рівні узгодженості та неузгодженості, з якими порівнюються індекси для кожної пари альтернатив. Якщо індекс узгодженості вище ніж заданий рівень, а індекс неузгодженості – нижче, то одна з альтернатив переважає. Інакше зрівняти не можна.

3) Із множини альтернатив видаляються ті, що домінують, а ті що залишилися формують перше ядро K_1 .

4) Вводять слабкіші значення рівнів, і процедура повторюється.

5) В результаті отримуємо набір вкладених ядер, $K_1 \supset \dots \supset K_n$. де в останнє ядро входить одна, найкраща альтернатива.

ELECTRE I

Кожному з критеріїв ставиться у відповідність число, яке характеризує важливість критерію, ставиться гіпотеза про перевагу однієї альтернативи над іншою.

Будуються 3 множини:

1) I_+ – множина критеріїв, за якими альтернатива A_i переважає A

2) $I = -$ множина критеріїв, за якими альтернатива A_i еквівалентна A_j

3) $I = -$ множина критеріїв, за якими альтернатива A_j переважає A_i

Далі будуємо індекс узгодженості за гіпотезою $A_i > A_j$. Таким чином:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{i \in I^+, I = \omega_i} \omega_i}{\sum_i \omega_i} \quad (1.10)$$

$$d_{ij} = \max_{i \in I} + \frac{L_j - L_i}{L_i} \quad (1.11)$$

Бінарне відношення задається рівнями узгодженості/неузгодженості α, γ . Побудовані оцінки порівнюються із заданими рівнями, якщо альтернатива потрапляє в дозволений інтервал, то вона додається до першого ядра. Розраховуємо доки не отримаємо найкращу альтернативу.

Метод ELECTRE 2 є продовженням та вдосконаленням ELECTRE 1, тому далі наводяться найсуттєвіші відмінності.

ELECTRE 2 створений для задач повного ранжування альтернатив. Для цього в методі вводяться додаткові рівні узгодженості та неузгодженості. Повне ранжування здійснюється шляхом процедури дисципліни альтернатив. Фактично розглядаються дві процедури. Альтернативи ранжують з позицій “сили” та “слабкості”. В результаті отримуємо два відношення, схожих за побудовою на ELECTRE1, далі проводиться ранжування для кожного з цих відношень. До остаточної множини потрапляють лише альтернативи, що співпадають в двох відношеннях. Так відбувається повне ранжування альтернатив.

Покращуючи метод ELECTRE2 було створено ELECTRE 3. Цей метод є стійкішим (порівняно з іншими методами сімейства ELECTRE) щодо неточних та невизначених умов. Висока точність методу досягається використанням псевдокритеріїв та спеціалізованої процедури дисципліни, тобто присвоєння кожній альтернативі рангу. Використання псевдокритеріїв дозволяє враховувати неструктуровані початкові дані, та виявляти

невідповідність оцінок в них. Складність методу для ОПР полягає у тому, що треба вводити додаткові початкові значення, такі як рівень переваги P_i , рівень байдужості Q_i та вето V_i . Але саме ці рівні дозволяють враховувати випадки рівності двох альтернатив по відношенню до критерія, та можливість відкидання альтернативи у разі невідповідності одному із заданих критеріїв. Кінцеві альтернативи отримуються як перетин двох відношень побудованих процедурою дисципліни.

Сьогодні даний метод характеризують як «метод попереднього прийняття рішень». Через те, що він більше використовується не з метою знаходження найкращої альтернативи, а для відкидання певних альтернатив, що мають неприйнятні характеристики. Після цього використовується будь-який інший метод багатокритеріального прийняття рішень. Це дозволяє працювати над задачами з великою кількістю альтернативних рішень без можливості отримати завеликі розрахунки, що допомагає заощадити час.

1.5.4 Метод TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) є найвідомішим з методів ідеальної точки, що оцінюють альтернативи на основі їх відхилення від ідеальних значень. Цей метод вперше запровадили Хван і Юн у 1981 році.

Метод ґрунтується на тому, що оптимальна альтернатива буде з найкоротшою відстанню від найкращого ідеального рішення і з найвіддаленішою від найгіршого. Найліпше та найгірше ідеальні рішення досягаються на штучних альтернативах, які висувуються ОПР на основі умовно найкращих і найгірших значень всіх критеріїв. TOPSIS підраховує результати, порівнюючи евклідові відстані між гіпотетичними та фактичними альтернативами[12].

Для застосування даного методу розглянемо необхідні кроки:

1. Визначення набору альтернатив, що підлягають оцінці, і набору критеріїв, які будуть використані для оцінювання.

2. Нормалізація матриці рішень, поділивши кожен елемент на суму відповідного стовпця, щоб переконатися, що всі критерії мають однакову вагу.

3. Побудова зваженої матриці рішень, помноживши кожен нормалізований елемент на відповідну вагу.

4. Визначення позитивного ідеального рішення (PIS) і негативного ідеального рішення (NIS) для кожного критерію, які представляють найкраще та найгірше можливі значення для кожного критерію відповідно.

5. Обчислення евклідових відстаней між кожною альтернативою та PIS і NIS.

6. Обчислення коефіцієнту близькості для кожної альтернативи, поділивши відстань до NIS на суму відстаней до PIS та NIS.

7. Розташування альтернативи на основі їх коефіцієнтів близькості.

Метод TOPSIS має кілька переваг, включаючи його простоту, здатність обробляти як кількісні, так і якісні критерії, а також його здатність обробляти неповні дані. Однак він також має певні обмеження, такі як чутливість до ваг, призначених кожному критерію, і відсутність формального методу визначення ваг.

1.5.5 Метод ARAS

Метод адитивної оцінки співвідношення (ARAS) або метод зважування за додатковими показниками (AIW) — це багатокритеріальний метод прийняття рішень, який вперше був представлений Едмундасом Завадскас[13].

Метод ARAS/AIW спрямований на визначення відносної важливості критеріїв і загальну ефективність кожної альтернативи.

Метод ARAS/AIW включає наступні кроки:

1. Визначення набору альтернатив, що підлягають оцінці, і набору критеріїв, які будуть використані для оцінювання.
2. Нормалізація матриці рішень, поділивши кожен елемент на відповідну суму рядків, щоб переконатися, що кожна альтернатива має однакову вагу.
3. Визначення ваги важливості для кожного критерію, порівнюючи попарні співвідношення важливості кожного критерію.
4. Побудова зваженої матриці рішень, помноживши кожен нормалізований елемент на відповідну вагу.
5. Визначення оцінки ефективності для кожної альтернативи, обчисливши відношення суми позитивних зважених значень до суми негативних зважених значень.
6. Розташування альтернатив на основі їх показників ефективності.

Сильною стороною Методу ARAS є те, що він був розроблений для роботи з невизначеними даними. Тому він є одним з головних конкурентів класичного методу TOPSIS. Проте різний підхід до агрегації та нормалізації даних не дозволяє чітко виокремити який з них є кращим.

1.6 Висновки за розділом 1

Під час аналізу теоретичного матеріалу, ми дійшли наступних висновків.

Багатокритеріальні методи прийняття рішень - це аналітичні інструменти, які дозволяють вирішувати складні проблеми, в яких потрібно забезпечити врахування декількох критеріїв або факторів прийняття рішення.

Керування в умовах війни є складним процесом, який вимагає ефективного прийняття рішень для забезпечення успіху як у волонтерській діяльності, так і у військових операцій. Використання багатокритеріальних методів прийняття рішень є однією з ключових переваг у таких умовах,

оскільки вони дозволяють враховувати кілька цілей або критеріїв, навіть із суперечливими пріоритетами і визначати найкращу альтернативу або курс дій.

В контексті війни, було проведено аналіз бізнес процесів у волонтерській діяльності та визначено п'ять задач, для яких багатокритеріальні методи прийняття рішень є необхідними.

РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНИЙ

2.1 Задача про розробку плану евакуації

Під час війни важливо мати добре розроблений план евакуації персоналу, котрий знаходиться на робочому місці. План повинен забезпечувати безпеку персоналу, одночасно максимізуючи швидкість і ефективність процесу евакуації.

Метою даної роботи є *вибір найліпшого із запропонованих планів евакуації для застосування під час війни.*

Для розв'язування даної задачі було використано метод *аналізу ієрархій* (АНР) який дозволяє врахувати різні критерії, причому, вони можуть бути як кількісними так і якісними і не мати числової оцінки.

Змістова постановка задачі. Нехай треба обрати план евакуації опираючись на обрані фактори. Для оцінки плану евакуації визначено такі критерії та підкритерії: *безпека* (ймовірність втрат, присутність сил противника та наявність медичних ресурсів), *швидкість* (час, необхідний для евакуації, наявність транспортних ресурсів, ефективність процесу евакуації), *відстань* (відстань між місцем евакуації та безпечною зоною, рельєф місцевості, наявність засобів зв'язку), *необхідні ресурси* (наявність їжі, води та інших необхідних для евакуації ресурсів), *персонал* (кількість, ролі та обов'язки)

Проведемо оцінку важливості обраних критеріїв за шкалою від 1 до 9, де 1-однакова важливість, а 9 – абсолютна важливість. Припустимо, що особи, які приймають рішення, визначили такі попарні порівняння(табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Попарне порівняння критеріїв

Критерії	Безпека	Швидкість	Відстань	Потрібні ресурси	Персонал для евакуації
Безпека	1	3	5	7	7
Швидкість	1/3	1	3	5	7
Відстань	1/5	1/3	1	3	5
Ресурси	1/7	1/5	1/3	1	3
Персонал	1/7	1/7	1/5	1/3	1

Враховуючи відомі критерії та показники, від яких маємо відштовхуватися при виборі плану, отримаємо розв'язок (табл.2.2). Ваги критеріїв і підкритеріїв розраховуються з використанням середнього геометричного попарних порівнянь.

Таблиця 2.2

Розрахунок ваги критеріїв та підкритеріїв

Критерії	Вага	Підкритерії	Вага
Безпека	0,421	Ймовірність жертв	0,215
Швидкість	0,270	Час, необхідний для евакуації	0,080
Відстань	0,173	Відстань між місцем евакуації та безпечною зоною	0,057
Ресурси	0,089	Наявність їжі	0,019
Персонал	0,047	Кількість персоналу, що підлягає евакуації	0,008

Нехай є 4 можливих плани евакуації, оцінимо їх за критеріями та підкритеріями. У наведеній нижче таблиці зазначено бали для кожної альтернативи (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Оцінка альтернатив

Альтернатива	Безпека	Швидкість	Відстань	Потрібні ресурси	Персонал для евакуації	Оцінка
План 1	4	5	2	3	5	3.67
План 2	5	4	5	2	4	3.94
План 3	3	3	4	4	3	3.12
План 4	2	4	4	5	2	2,99

Аналіз чутливості: ці розрахунки виконуються для визначення надійності вибраного плану щодо змін у критеріях або вагових коефіцієнтах.

У наведеній нижче таблиці (табл. 2.4) показано аналіз чутливості для ваг критеріїв:

Таблиця 2.4

Аналіз чутливості

Критерії	Вага	+20%	-20%
Безпека	0,421	0,505	0,337
Швидкість	0,270	0,324	0,216
Відстань	0,173	0,207	0,139
Ресурси	0,089	0,107	0,071
Персонал	0,047	0,056	0,037

Аналіз отриманих результатів. За допомогою АНР проведено оцінку критеріїв та альтернатив, обрано найкращий план для евакуації (План 2). Також, наглядно продемонстровано, що даний метод можна застосовувати для створення та вибору нових планів евакуації, за потреби власників підприємств та благодійних фондів.

Отже, застосування АНР дозволяє зробити обґрунтований вибір за наявності багатьох критеріїв і необхідності врахування як кількісних так і якісних показників.

2.2 Задача про закупівлю медичного обладнання

Змістова постановка задачі: Нехай волонтерському центру на запит військових потрібно закупити медичне обладнання. Для вирішення цієї задачі використаємо метод ELECTRE. Сформулюємо критерії:

- Ефективність лікування поширених травм в умовах війни
- Довговічність і надійність
- Наявність запчастин та технічного обслуговування
- Економічна ефективність
- Простота використання та навчання

За допомогою матриці попарного порівняння, де важливість кожного критерію порівнюється з усіма іншими, зважимо критерії. У наведеній нижче таблиці показано матрицю попарного порівняння критеріїв із вагами в діапазоні від 1 (рівна важливість) до 9 (абсолютна важливість). Ваги розраховуються як середнє геометричне відповідей кожного рядка.

Таблиця 2.5

Зваження критеріїв

Критерії	Ефективність	Довговічність	Доступність	Економічна ефективність	Простота використання та навчання
Ефективність	1	7	5	3	6
Довговічність	1/7	1	1/3	1/5	1/3
Доступність	1/5	3	1	1/3	1/2
Економічна ефективність	1/3	5	3	1	3
Простота використання та навчання	1/6	3	2	1/3	1

Оцініть альтернативи: варіанти медичного обладнання оцінюються за кожним із критеріїв за шкалою від 0 до 1. У наступній таблиці (табл. 2.6) показано матрицю оцінки для 5 варіантів:

Таблиця 2.6

Оцінка альтернатив

Варіант	Ефективність	Довговічність	Доступність	Економічна ефективність	Простота використання
Лазерні ножі	0,8	0,7	0,6	0,9	0,6
Турнікети	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8
Носилки	0,6	0,8	0,7	0,8	0,7
Різноманітні тест системи	0,7	0,6	0,9	0,6	0,8
Дефібрилятори	0,8	0,7	0,6	0,8	0,6

Далі розраховуються показники узгодженості та неузгодженості, для визначення відносної ефективності варіантів медичного обладнання.

Узгодженість вимірює ступінь, до якої один варіант кращий за інший з точки зору відповідності критеріям, тоді як неузгодженість вимірює ступінь, до якого варіант гірший за інший з точки зору невідповідності критеріям. Узгодженість розраховується як частка критеріїв, за якими один варіант кращий за інший. Розбіжність розраховується як частка критеріїв, за якими один варіант гірший за інший.

У наведених нижче таблицях показано матриці узгодженості (табл. 2.7) та неузгодженості (табл. 2.8) варіантів по відношенню один до одного:

Таблиця 2.7

Матриця узгодженості

Варіант	Лазерні ножі	Турнікети	Носилки	Різноманітні тест системи	Дефібрилятори
Лазерні ножі	1	0,71	0,43	0,57	1
Турнікети	0,71	1	0,57	0,71	0,71

Продовження таблиця 2.7

Носилки	0,43	0,57	1	0,57	0,43
Різноманітні тест системи	0,57	0,71	0,57	1	0,57
Дефібрилятори	1	0,71	0,43	0,57	1

Таблиця 2.8

Матриця неузгодженості

Варіант	Лазерні ножі	Турнікети	Носилки	Різноманітні тест системи	Дефібрилятори
Лазерні ножі	0	0	0,14	0	0
Турнікети	0	0	0	0	0
Носилки	0,14	0	0	0	0,14
Різноманітні тест системи	0	0	0	0	0
Дефібрилятори	0	0	0,14	0	0

Далі варіанти ранжуються на основі їх загальної продуктивності за критеріями. Це робиться шляхом обчислення чистої міри конкордації для кожного варіанта, яка є різницею між його конкордантністю міри і міри розбіжності. Чиста міра узгодженості представляє ступінь, до якого варіант кращий за інші варіанти, беручи до уваги як узгодженість, так і неузгодженість.

У наведеній нижче таблиці (табл. 2.9) показано чисті показники узгодженості для кожного варіанта:

Таблиця 2.9

Чисті показники узгодженості для кожного варіанта

Варіант	Чиста міра узгодженості
Турнікети	0,44
Лазерні ножі	0,43
Носилки	0,27
Різноманітні тест системи	0,28

Дефібрилятори	0,44
---------------	------

Виходячи з показників чистої відповідності, закупівля турнікетів та дефібриляторів має найвищу загальну продуктивність за критеріями, а найнижчу мають носилки. Тобто потреба в них найнижча.

2.3 Завдання розміщення військових частин у складних рельєфно-ландшафтних умовах

Розміщення військових частин у складних рельєфно-ландшафтних умовах є актуальним завданням в умовах війни, яке потребує ретельного врахування різних факторів. Для вирішення цього завдання застосуємо метод PROMETHEE.

Постановка задачі: нехай у складних рельєфно-ландшафтних умовах потрібно з трьох варіантів обрати місце для розташування військової частини за трьома критеріями. Для цього спершу визначимо релевантні критерії, котрі будуть включати такі фактори, як висота рельєфу, рослинний покрив, найкоротший шлях до ресурсів. Дані по кожному критерію відображено в таблиці нижче (таблиця 2.10)

Таблиця 2.10

Дані

Місцезнаходження	Висота (м)	Близькість до ресурсів (км)	Рослинний покрив (%)
A	50 0	30	10
B	60 0	50	5
C	70 0	20	15

Для призначення вагових коефіцієнтів кожному критерию на основі їх відносної важливості, використаємо метод ієрархій. Припустимо, що низина вдвічі важливіша за близькість до ресурсів і втричі важливіша за рослинний покрив. Значення попарних порівнянь наведено нижче (табл. 2.11.).

Таблиця 2.11

Попарні порівняння та отримані ваги

Критерії	Висота	Близькість до ресурсів (км)	Рослинний покрив (%)
Низина	1	2	3
Близькість до ресурсів	1/2	1	2
Рослинний покрив	1/3	1/2	1
Вага	0,556	0,278	0,167

Обчислимо бали для кожного критерию (табл. 2.12), для цього нам потрібно нормалізувати дані за допомогою відповідної формули. Припустимо, що ми хочемо максимізувати критерії низини та близькості ресурсів та мінімізувати критерій рослинного покриву. Ми можемо використати таку формулу, щоб обчислити нормалізований бал для кожного критерию для кожного потенційного місця розташування:

Нормалізований бал = (значення критерию для розташування - мінімальне значення критерию для всіх місць) / (максимальне значення критерию для всіх місць - мінімальне значення критерию для всіх місць)

Таблиця 2.12

Нормовані показники

Місце знаходження	Нормалізований показник висоти	Нормований показник рослинного покриву	Нормалізована оцінка наблизеності до ресурсів
A	0	0,25	0,5
B	0,5	1	0
C	1	0	1

Далі треба об'єднати бали за кожним критерієм у загальну оцінку для кожного потенційного місця, для цього використаємо метод PROMETHEE II, який передбачає порівняння кожної пари місць на основі їхніх балів для кожного критерію та обчислення чистого рейтингу потоку (NOF) для кожного місця.

NOF – це різниця між сумами позитивних та негативних різниць відмінностей в рейтингу між місцезнаходженням та всіма іншими розташуваннями. Попарні порівняння та результуючі відмінності показано у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13

Попарні порівняння

Попарне порівняння	Випереджаючі відмінності	Чистий потік виграшу
1 проти 2	-0,25	-0,035
1проти 3	0,5	0,139
2 проти 3	0,25	0,035

Для обчислення NOF кожного запропонованого місця, треба знайти суму позитивних та негативних різниць в рейтингу:

$$NOF(A) = 0,5 - 0,25 = 0,25 \quad (2.1)$$

$$NOF(B) = -0,25 + 0,25 = 0 \quad (2.2)$$

$$NOF(C) = 0,25 + 0,5 = 0,75 \quad (2.3)$$

Далі буде показано оцінку потенційних місць розташування на основі їхніх загальних балів (тобто NOF) і визначення найкращого розташування військових частин. У цьому прикладі розташування №3 має найвищий NOF, тому є найкращим місцем. Розташування №1 займає друге місце, а №2 визначено як найменш відповідний критеріям варіант.

Висновок: Для розв'язання даної задачі було використано комбінацію метода PROMETHEE, який є корисним інструмент для оцінки кількох критеріїв і прийняття обґрунтованих рішень та методу ієрархій. Даний метод є зручним у використанні та ефективним, проте слід наголосити, що особа, яка приймає рішення, може потребувати врахування додаткових критеріїв або обмежень у реальному сценарії, таких як доступність, безпека, логістика та інші. Крім того, точність і надійність зібраних даних може вплинути на результати аналізу.

2.4 Задача розподілу матеріально-технічних ресурсів між військовими частинами

Постановка задачі: враховуючи зазначені критерії, розподілити ресурси між підрозділами так, аби максимізувати ефективність військових операцій та мінімізувати ризик нестачі ресурсів.

Метою дослідження є визначення ефективності прийняття управлінських рішень за допомогою методу TOPSIS.

Для розв'язку визначимо головні критерії:

- Чисельність військової частини
- Вид військової частини
- Важливість місії
- Терміновість потреби в ресурсі

Для розподілу матеріально-технічних ресурсів між військовими частинами використано наступну матрицю рішень (табл. 2.14):

Таблиця 2.14

Визначення матриці рішень

Одиниця	Розмір	Тип	Важливість	Терміновість
А	100	Піхота	4	3
Б	200	Броньовані	5	4
С	150	Артилерія	3	2

Д	120	Піхота	2	5
Е	180	Броньовані	5	3

Для нормалізації матриці рішень використаємо метод мінімально-максимальної нормалізації, щоб перетворити всі критерії на загальну шкалу від 0 до 1.

Для розрахунків застосовано формулу:

$$x_{norm} = \frac{(x - \min(x))}{(\max(x) - \min(x))}$$

де x — вихідне значення, x_{norm} — нормалізоване значення, $\min(x)$ — мінімальне значення критерію, а $\max(x)$ — максимальне значення критерію.

Таблиця 2.15

Нормалізація матриці

Одиниця	Розмір	Тип	Важливість	Терміновість
А	0,25	0	0,75	0,33
Б	1	1	1	0,67
С	0,625	0,5	0,25	0
Д	0,375	0	0	1
Е	0,875	1	1	0,33

Призначимо ваги кожному критерію на основі їх відносної важливості в процесі прийняття рішень. Припустимо, що ваги для кожного критерію такі:

- Розмір: 0,25
- Тип: 0,15
- Важливість: 0,35
- Терміновість: 0,25

Для обчислення зваженої нормалізованої матриці рішень помножимо кожен критерій у нормалізованій матриці рішень на його відповідну вагу (табл. 2.16).

Таблиця 2.16

Нормалізована матриця рішень

Одиниця	Розмір	Тип	Важливість	Терміновість
А	0,063	0	0,263	0,083
Б	0,25	0,15	0,35	0,167
С	0,156	0,075	0,088	0
Д	0,094	0	0	0,25
Е	0,219	0,15	0,35	0,083

Визначимо ідеальне та антиідеальне рішення. Ідеальне рішення представляє найкращу комбінацію значень критеріїв, тоді як антиідеальне рішення представляє найгіршу комбінацію значень критеріїв. Використаємо максимальні та мінімальні значення для кожного критерію, щоб визначити ідеальні та антиідеальні рішення.

Таблиця 2.17

Ідеальне рішення

Розмір	Тип	Важливість	Терміновість
0,25	1	1	1

Таблиця 2.18

Неідеальне рішення

Розмір	Тип	Важливість	Терміновість
0,063	0	0	0

Обчислення евклідової відстань кожної альтернативи як від ідеального, так і від антиідеального рішень відбувається за такою формулою:

$$d_{i+} = \sqrt{((w_1 \times (x_{i1} - p_{1+})^2) + (w_2 \times (x_{i2} - p_{2+})^2) + \dots + (w_n \times (x_{in} - p_{n+})^2))}$$

$$d_{i-} = \sqrt{((w_1 \times (x_{i1} - p_{1-})^2) + (w_2 \times (x_{i2} - p_{2-})^2) + \dots + (w_n \times (x_{in} - p_{n-})^2))},$$

де d_{i+} — відстань від ідеального рішення,

d_{i-} — відстань від антиідеального рішення,
 x_i — зважена нормалізована матриця рішень для альтернативи i ,
 p_{1+} до p_{n+} — максимальні значення для кожного критерію,
 p_{1-} до p_{n-} — мінімальні значення для кожного критерію,
а від w_1 до w_n — ваги кожного критерію.

Таблиця 2.19

Евклідова відстань

Одиниця	Розмір	Тип	Важливість	Терміновість	d_{i+}	d_{i-}
А	0,063	0	0,263	0,083	0,938	0,155
Б	0,25	0,15	0,35	0,167	0,386	0,514
С	0,156	0,075	0,088	0	0,649	0,434
Д	0,094	0	0	0,25	0,853	0,078
Е	0,219	0,15	0,35	0,083	0,473	0,348

Далі обчислюється відносна близькість до ідеального рішення. Для цього розраховується відносна близькість кожної альтернативи до ідеального рішення за такою формулою:

$$C_i = d_{i-} / (d_{i+} + d_{i-})$$

де C_i – відносна близькість альтернативи i до ідеального рішення.

Таблиця 2.20

Відносна близькість до ідеального рішення

Одиниця	Розмір	Тип	Важливість	Терміновість	d_{i+}	d_{i-}	C_i
А	0,063	0	0,263	0,083	0,938	0,155	0,142
В	0,25	0,15	0,35	0,167	0,386	0,514	0,571
С	0,156	0,075	0,088	0	0,649	0,434	0,401
Д	0,094	0	0	0,25	0,853	0,078	0,084
Е	0,219	0,15	0,35	0,083	0,473	0,348	0,423

На основі значень відносної близькості ранжуються альтернативи в порядку спадання переваги. Чим вище значення відносної близькості, тим вищий ранг альтернативи.

Отже, ранжування військових частин за придатністю до розподілу матеріально-технічних засобів буде таким:

1. Блок В
2. Блок Е
3. Блок С
4. Блок D
5. Блок А

Підрозділ В є найбільш переважним варіантом для розподілу матеріально-технічних ресурсів між військовими частинами, а підрозділ А – найменш переважним.

2.5 Визначення пріоритетів у забезпеченні військових потреб

Постановка завдання: В умовах війни забезпечення потреб військових у життєво важливих ресурсах, таких як їжа, вода, медичне забезпечення та боєприпаси, має вирішальне значення для підтримання боєздатності військових частин. Метою цього проекту є використання методу Additive Ratio Assessment (ARAS) для визначення пріоритетів задоволення потреб армії в життєво важливих ресурсах в умовах війни.

Модель дослідження:

Метод ARAS — це багатокритеріальний метод прийняття рішень, який передбачає ранжування альтернатив на основі їх здатності задовольняти набір критеріїв.

Метод ARAS передбачає такі етапи:

Крок 1: Визначення матриці рішень

Крок 2: Нормалізація матриці рішень

Крок 3: Визначення вагових коефіцієнтів критеріїв

Крок 4: Обчислення зваженої нормалізованої матриці рішень

Крок 5: Визначення ідеальних та антиідеальних рішень

Крок 6: Обчислення відстані до ідеального та антиідеального рішення

Крок 7: Обчислення відносної близькості до ідеального рішення

Крок 8: Ранжування альтернативи

Для розв'язку використаємо таку матрицю рішень, аби визначити пріоритети для задоволення потреб армії в життєво важливих ресурсах (табл. 2.21):

Таблиця 2.21

Визначення пріоритетів

Ресурс	Наявність (кг/людина/день)	Якість (бал)	Важливість (бал)
Харчування	1.5	0,8	0,4
Вода	3	0,9	0,3
Медичне приладдя	0,05	0,7	0,2
Боєприпаси	0,1	0,6	0,1

Далі треба нормалізувати матрицю, для цього застосуємо наступну формулу:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} - \min(a_j)}{\max(a_j) - \min(a_j)}$$

де x_{ij} — нормалізоване значення для альтернативи i та критерію j ;

a_{ij} — значення альтернативи i та критерію j ;

$\min(a_j)$ — мінімальне значення для критерію j ;

$\max(a_j)$ — максимальне значення для критерію j .

Таблиця 2.22

Нормалізована матриця

Ресурс	Наявність (кг/людина/день)	Якість (бал)	Важливість (бал)
--------	-------------------------------	-----------------	---------------------

Харчування	0,75	0,8	0,4
Вода	1	0,9	0,3
Медичне приладдя	0	0,7	0,2
Боєприпаси	0,125	0,6	0,1

Для визначення ваги критеріїв у цій задачі використано метод аналітичного ієрархічного процесу (АНП). Матрицю попарного порівняння критеріїв наведено у таблиці 2. 23:

Таблиця 2.23

Матриця попарного порівняння

Критерії	Харчування	Вода	Медичне приладдя	Боєприпаси
Харчування	1	3	5	7
Вода	1/3	1	3	5
Медичне приладдя	1/5	1/3	1	3
Боєприпаси	1/7	1/5	1/3	1

Після розрахунку ваги критеріїв методом АНР отримано такі результати (табл. 2.24)

Таблиця 2.24

Результати розрахунку ваги критеріїв

Критерії	Вага
Харчування	0,43
Вода	0,29
Медичне приладдя	0,18
Боєприпаси	0,10

Для обчислення зваженої нормалізованої матриці рішень помножимо нормалізовану матрицю на ваги критеріїв. Результати розрахунків наведено у таблиці 2.25.

Таблиця 2.25

Зважена нормалізована матриця рішень

Ресурс	Наявність (кг/людина/день)	Якість (бал)	Важливість (бал)
Харчування	0,3225	0,232	0,072

Продовження таблиці 2.25

Вода	0,290	0,261	0,054
Медичне приладдя	0	0,126	0,036
Боєприпаси	0,04375	0,058	0,010

Після цього потрібно визначити ідеальні та антиідеальні рішення (табл. 2.26). Ідеальним рішенням є максимальне значення для кожного критерію, а антиідеальним - мінімальне значення:

Таблиця 2.26

Визначення ідеальних та антиідеальних рішень

Ресурс	Ідеальне рішення	Антиідеальне рішення
Харчування	0,3225	0
Вода	0,290	0
Медичне приладдя	0,126	0
Боєприпаси	0,058	0

Обчислення відстані до ідеального та антиідеального рішень (табл. 2.27). Для обчислення відстані до ідеального та антиідеального розв'язків застосовуються такі формули:

$$S_{i+} = \sqrt{\sum (w_j (x_{ij} - p_{ij+})^2)}$$

$$S_{i-} = \sqrt{\sum (w_j (x_{ij} - p_{ij-})^2)}$$

де S_{i+} — відстань до ідеального рішення, S_{i-} — відстань до антиідеального рішення, w_j — вага для критерію j , x_{ij} — значення для альтернативи i та критерію j , p_{ij+} — ідеальне значення для критерію j , i ; p_{ij-} — антиідеальним значенням для критерію j .

Таблиця 2.27

Обчислення відстані

Ресурс	Si+	Si-
Харчування	0	0,587

Продовження таблиці 2.27

Вода	0	0,417
Медичне приладдя	0,374	0
Боеприпаси	0,678	0

Розрахуємо відносну близькість до ідеального рішення (табл. 2.28).

Для обчислення відносної близькості до ідеального розв'язку використаємо таку формулу:

$$C_i = S_i - / (S_i + + S_i -)$$

де C_i – відносна близькість до ідеального рішення для альтернативи i .

Таблиця 2.28

Відносна близькість

Ресурс	C _i
Харчування	1
Вода	1
Медичне приладдя	0
Боеприпаси	0

На основі значень відносної близькості ми можемо ранжувати альтернативи в порядку спадання переваги. Чим вище значення відносної близькості, тим вищий ранг альтернативи.

Тому пріоритетами забезпечення потреб війська в життєво важливих ресурсах в умовах війни є:

1. харчування
2. вода
3. Медичне приладдя

4. Боєприпаси

Продовольство та вода є головними пріоритетами для забезпечення потреб військових у життєво-важливих ресурсах в умовах війни, за ними йдуть медичне забезпечення та боєприпаси.

2.6 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було сформульовано задачі, що виникли під час воєнного стану. Кожне завдання вирішувалося із використанням методів багатокритеріального прийняття рішень. Було розглянуто такі задачі:

- задача про розробку плану евакуації;
- задача про закупівлю медичного обладнання;
- завдання розміщення військових частин у складних рельєфно-ландшафтних умовах;
- задача розподілу матеріально-технічних ресурсів між військовими частинами;
- визначення пріоритетів у забезпеченні військових потреб.

Виконана робота демонструє доцільність застосування обраних нами методів у застосуванні до війни, адже вони дають змогу приймати рішення як на полі бою так і серед цивільного населення, враховуючи велику кількість критеріїв та у ситуаціях невизначеності.

ВИСНОВКИ

Під час написання роботи і досягнення поставленої мети ми дійшли наступних висновків.

Прийняття рішень є важливою складовою успішного управління в будь-якій сфері діяльності. Сучасні підходи до вивчення технології прийняття рішень охоплюють різні аспекти, які дозволяють розуміти цей процес і покращувати його ефективність.

Важливим аспектом є вибір методів та підходів до прийняття рішень. Адже існує багато методів, таких як аналітичне і інтуїтивне прийняття рішень, методи аналізу ієрархій, методи TOPSIS та ARAS, теорія ігор та ін. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, і їх використання залежить від конкретної ситуації та обраної стратегії прийняття рішень.

Управління в умовах війни має свої особливості, які відрізняються від управління в мирний час. Однією з основних особливостей є нестабільність ситуації, яка вимагає від управлінців швидкої реакції та адаптації до змін. Крім того, управління в умовах війни пов'язане з високими ризиками та непередбачуваністю наслідків прийнятих рішень, що вимагає від управлінців великої відповідальності та професіоналізму.

Крім того, управління в умовах війни має специфічні вимоги до організації та планування дій. Зокрема, воно передбачає використання тактики та стратегії, розробку планів евакуації та захисту населення, організацію допомоги постраждалим та багато іншого.

Отже, управління в умовах війни має свої особливості, що вимагають від управлінців великих зусиль, відповідальності та професіоналізму. Враховуючи ці особливості та застосовуючи сучасні підходи та методи управління, можна досягти успіху у забезпеченні безпеки та виконанні поставлених завдань.

У практичній частині нами були використані наступні методи: АП, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS, ARAS.

Використання обраних нами методів в умовах війни може бути корисним для прийняття рішень військовими командувачами і допомагати їм розподіляти обмежені ресурси та здійснювати стратегічне планування операцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): Монографія/ ВП Городнов, ГА Дробаха, МО Єрмошин... - Харків: ХВУ, 2004
2. Багатокритеріальні методи прийняття рішень органами військового управління / О. М. Загорка, А. К. Павліковський, І. О. Загорка // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. - 2018. - № 2. - С. 5-12. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2018_2_2
3. Нечіткі множини у процесах прийняття рішення / В. І. Ткаченко, Є. Б. Смірнов, А. В. Тристан // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. - 2008. - Вип. 1. - С. 3-8. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS_2008_1_3
4. Метод TOPSIS-ядро та його використання для багатокритеріального порівняння альтернатив / І. С. Романченко, М. М. Потьомкін // Системи обробки інформації. - 2016. - Вип. 1. - С. 103-106. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2016_1_23
5. Aurel Vlaicu University of Arad, Department of Mathematics and Computer Science, Elena Dragoi 2, RO-310330 Arad, Romania
University of Oradea, Department of Energetics, Universitatii 1, RO-485620 Oradea, Romania
Agora University of Oradea, Department of Social Sciences, Piata Tineretului 8, RO-410526 Oradea, Romania
6. Моделювання та реінжиніринг бізнес-процесів: підручн. / С.В. Козир, В.В. Слесарєв, С.А. Ус, Т.В. Хом'як; М-во освіти і науки України; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2021. – 167 с.
7. Задоров, В. Б. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації до планування вантажних перевезень [Текст] / В. Б. Задоров, Е. В. Федусенко,

А. О. Федусенко // Управління розвитком складних систем : Зб. наук. праць КНУБА. – Київ: КНУБА, 2010. – Вип. 2. – С. 6-11

8. Застосування методу аналізу ієрархій [Електронний ресурс]. – Режим доступу:https://knowledge.allbest.ru/management/2c0b65625b2ad68b4c43b88421206c36_0.html

9. Практикум з теорії прийняття рішень: навч. посіб. / Автор-уклад.: О.В. Присяжнюк - Кропивницький: ЦДПУ імені В.Винниченка, 2018. – 76 с.

10. Ус С. А. Моделі й методи прийняття рішень: навч. посіб. / С. А. Ус, Л. С. Коряшкіна; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – 2-ге вид. випр. – Дніпро : НТУ «ДП», 2018. – 302 с.

11. Методологія комплексного оцінювання ефективності розвитку підприємств : монографія / В. С. Пономаренко, І. В. Гонтарєва ; за заг. ред. докт. екон. наук, проф. Пономаренка В. С. – Х. : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 404 с. (Укр. мов.)

12. Білорус Т. В. Методичне забезпечення вибору методів оцінювання персоналу підприємства / Т.В. Білорус // Формування ринкової економіки в Україні // Формування ринкової економіки в Україні: Збірник наукових праць Львівського національного університету імені Івана Франка. – Львів, 2016. – Вип. 35. Ч. 1. – С. 43-49.

13. Гожий О.П. Використання методу «патерн» для вирішення задач багатокритеріального вибору та оцінювання // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Миколаїв, серія: Комп'ютерні технології. – Вип.104, Т.117 – С.80–87.

14. Triantaphyllou E. (2000) Multi-Criteria Decision Making Methods. In: Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study. Applied Optimization, vol 44. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3157-6_2

15. Hwang C. L. A New Car Selection in the Market using TOPSIS Technique / C. L. Hwang. // International Journal of Engineering Research and General Science. – 2014. – №4. – С. 177–181.

ДОДАТОК А

№ з/п	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітки
1				
2		Документація		
3				
4	САУ.КР.23.14.ПЗ	Пояснювальна записка		Формат А4
5				
6		Демонстраційний матеріал		Презентація на CD-R
7				
8		Копія роботи	1	Диск CD-R
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
				САУ.КР.23.14.ПЗ
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Цютченко П.Ю		
К. розд.		Цютченко П.Ю.		
Керівн.		Проф. Ус С.В.		
Н.контр.		Доц. Хом'як Т.В		
Зав. каф.		Желдак Т.А.		
				Матеріали кваліфікаційної роботи
				НТУ «ДП», 12; 124-19-1