

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
Факультет математики, фізики та інформаційних технологій  
Кафедра Оптимального Керування і Економічної Кібернетики

## Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

«Експертні методи оцінки ризиків та прийняття рішень»

«Expert methods for risk assessment and decision-making»

Виконав: здобувач денної форми навчання  
спеціальності 113 Прикладна математика  
Освітня програма «Прикладна математика»  
Олійник Михайло Олександрович

Керівник: доц. Васильєв О.Б.

Рецензент: доктор. фіз.-мат. наук, проф. Кічмаренко О. Д.

Рекомендовано до захисту:

Протокол засідання кафедри

№ \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2025 р.

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

Захищено на засіданні ЕК № \_\_\_\_\_

Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2025 р.

Оцінка \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Голова ЕК

\_\_\_\_\_

# ЗМІСТ

<b>Вступ</b>		4
<b>1</b>	<b>Експертні методи оцінки ризиків інвестиційних проєктів</b>	6
1.1	Поняття та значення інвестиційного проєкту . . . . .	6
1.2	Ризики у сфері інвестування . . . . .	6
1.3	Методи експертних оцінок ризику . . . . .	7
1.3.1	SWOT-аналіз . . . . .	8
1.3.2	«Троянда» ризиків . . . . .	10
1.3.3	«Спіраль» ризиків . . . . .	11
1.3.4	Оцінка ризику стадій (етапів) ІІІ . . . . .	12
1.3.5	Метод Дельфі . . . . .	14
1.4	Задача 1. SWOT-аналіз ризиків . . . . .	17
1.4.1	Постановка задачі . . . . .	17
1.4.2	Збір команди . . . . .	17
1.4.3	Збір та обробка інформації . . . . .	17
1.4.4	Побудова SWOT-матриці та стратегій . . . . .	18
1.4.5	Висновки . . . . .	20
1.5	Задача 2. Метод Дельфі для аналізу ризиків . . . . .	21
1.5.1	Формулювання проблеми та визначення мети . . . . .	21
1.5.2	Відбір експертів . . . . .	21
1.5.3	Перша ітерація . . . . .	22
1.5.4	Друга ітерація . . . . .	23
1.5.5	Формування заключення . . . . .	24
1.5.6	Висновки . . . . .	25
<b>2</b>	<b>Оцінка ризиків інвестиційних проєктів та прийняття рішень за допомогою метода аналізу ієрархії</b>	26
2.1	Метод аналізу ієрархій . . . . .	26
2.2	Задача 3. Метод аналізу ієрархії для оцінки ризиків . . . . .	33
2.3	Задача 4. Метод аналізу ієрархії для загроз . . . . .	39
2.4	Задача 5. Метод аналізу ієрархії для прийняття рішень . . . . .	44

<b>Висновки</b>	51
<b>Список літератури</b>	52
<b>ДОДАТКИ</b>	54

## ВСТУП

Зі стародавніх часів інвестування було одним з основних економічних інструментів, яке сприяло розвитку суспільства, економічних відносин як всередині країн, так і міждержавних відносин. Починаючи від морських експедицій у давнину, а згодом - вкладання коштів у період індустріалізації. Звичайно, у сьогодення інвестиції визначають повністю перспективи будь-якої країни світу. Наприклад, Китайська Народна республіка до 80-х років ХХ століття асоціювалась з аграрною країною, але внаслідок проведених реформ країна спромоглась отримати великі інвестиції в економіку, що згодом перетворило її у одну з найбільших економік світу.

Звичайно, що інвестування не може бути без тих, хто власне вносить свої кошти - інвестори. Справжній "бум" відбувся після Другої Світової війни, коли інвестори повинні були вкладати гроші у відбудову країн та ресурси у нові галузі, технології. Ці масові капіталовкладення, як і стратегічне планування, супроводжувалися невизначеністю та високими ризиками.

Сьогодення не є виключенням, особливо, коли за останні два десятиліття людство зіштовхнулось з багатьма економічними, військовими, політичними кризами, деякі з яких досягли світового масштабу, наприклад: Фінансова криза 2007-2008 років, Європейська криза у 2010-2012 роках, пандемія COVID-19, російське повномасштабне вторгнення в Україну.

Саме тому виникла потреба у формалізації ризиків під час інвестування проектів. Почали створювати класифікацію ризиків, враховувати не тільки кількісні показники, тобто можливий прибуток, а ще й створювати методи для якісної оцінки, які спираються на знання та досвід експертів у тій чи іншій галузях. Прикладами таких підходів є метод Дельфі, SWOT-аналіз, оцінки ризику стадій тощо.

Задача прийняття рішень - це також складний, комплексний процес, який передбачає формулювання цілі, визначення критеріїв, аналіз альтернатив, щоб в результаті обрати оптимальний варіант.

У реальному житті майже завжди є певні проблеми та обмеження, такі, як інформаційні, часові тощо. Тому в таких випадках варто залучати експерта чи групу експертів для знаходження розв'язку складної задачі.

Одним з головних аспектів, який ускладнює аналіз та процес вибору є багатокритеріальність. У бізнесі, управлінні, логістиці, енергетиці чи оборонній сфері рішення повинні одночасно відповідати багатьом умовам — від вартості і надійності до соціального впливу та екологічної безпеки. Експертні методи дозволяють зважено оцінити важливість кожного критерію, а також переваги кожної з альтернатив.

Отже, актуальність вивчення та застосування методів експертних оцінок ризиків та прийняття рішень є очевидним, оскільки вони допомагають аналізувати та приймати обґрунтовані та раціональні рішення в умовах невизначеності, де традиційна аналітика не завжди спрацьовує. Їхнє застосування важливе не тільки при інвестуванні проектів, а також у стратегічному плануванні, кризовому управлінні, державному адмініструванні та багатьох інших сферах.

## РОЗДІЛ 1

# ЕКСПЕРТНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ

## 1.1 Поняття та значення інвестиційного проєкту

**Означення 1.1.** [4, 8] **Інвестування** - це цілеспрямоване спрямування частини наявних ресурсів, таких, як фінансові, трудові, матеріальні тощо не на поточне споживання, а на відтворення або розширення економічної діяльності в майбутньому. У більш широкому сенсі інвестування - це придбання активів, майна або прав з метою отримання доходу чи приросту їхньої вартості в перспективі.

Під підвищення вартості мається на увазі, що, наприклад, нерухомість буде збільшуватись у ціні з часом. Інвестиція вимагає витрат ресурсів зараз, таких як: гроші, час, зусилля, щоб у майбутньому отримати прибуток (одноразовий або регулярний).

Чи можна назвати матеріальний або нематеріальний актив, у який інвестують, інвестиційним проєктом? Відповідь тут ні, тому що актив це лише частина проєкту, а окрім нього має бути ще низка завдань. Тому для кращого розуміння дамо означення.

**Означення 1.2.** [9] **Інвестиційний проєкт** - комплекс взаємопов'язаних заходів, які за встановленого бюджету, а також з урахуванням інших обмежень протягом заданого періоду часу забезпечують виконання поставлених завдань, маючи на меті максимізацію суспільного чи приватного добробуту.

## 1.2 Ризики у сфері інвестування

Під час створення та розгляду інвестиційного проєкту, однією з головних частин є **ризик** інвестування. Основною небезпекою може бути

часткова або повна втрата вкладених коштів, а також виникнення боргу, особливо коли інвестиція робиться за рахунок кредитних коштів.[5]

Звичайно, що в залежності від проекту ризику також можуть змінюватись. При цьому можна зробити наступну класифікацію ризиків, спираючись на їхній характер:

- **Внутрішній** - це група ризику, яка стосується виключно саму компанію. До цього можна віднести географічне розташування об'єктів та ресурсів компанії, стан інфраструктури, можливості трудового капіталу тощо.
- **Ринковий** - це група ризику, яка описує попит на ринку. Від активності інших інвесторів при купівлі чи продажу того чи іншого активу буде залежати вартість цього активу.
- **Валютний** - це група ризику, яка стосується валюти. Тобто, тут враховуються ризик інфляції валют, за які можна придбати чи продати актив.
- **Економічний** - це група ризику, яка більше стосується до країни, де знаходиться об'єкт інвестиції. Наприклад, у цю групу можна віднести наступне: політична ситуація, військові дії та інше.

### 1.3 Методи експертних оцінок ризику

Як раніше було зазначено, внаслідок бурхливих подій у другій половині XIX століття виникла потреба у об'єктивній та своєчасній оцінці ризиків. Особливо в умовах високої невизначеності, браку інформації та бурхливому розвитку технологій використання кількісних методів вже було недостатньо для оцінки ризиків. Саме тому було створено та досі використовуються експертні методи оцінки ризику.

**Означення 1.3. Експертні методи оцінки ризику** - це методи аналізу ризиків, які ґрунтуються на основі використання думки, досвіду експертів у галузі, до якої відноситься інвестиційний проект.

До переваг використання експертних методів можна віднести наступне:

- можливість застосування в умовах неповної інформації, невизначеності;
- підвищення обґрунтованості при прийнятті рішень за рахунок думок фахівців;
- гнучкість та відносна простота реалізації під кожний проєкт;
- можливість застосування разом із кількісними методами аналізу.

Звичайно, думка експертів є однією з переваг, але водночас є і недоліком, оскільки суб'єктивність оцінок залежать від кваліфікації, компетентності кожного з експертів.

Далі ми розглянемо найбільш відомі та популярні методи такі як: SWOT-аналіз, «Троянда» ризиків, «Спіраль» ризиків, оцінка ризику стадій (етапів) ІІІ, метод Дельфі.

### 1.3.1 SWOT-аналіз

**SWOT-аналіз** - це один з найперших та найпоширеніших методів експертних оцінок, автором якого вважають Альберта Хамфі.[6]

Назва цього методу є акронімом, яка складається з чотирьох компонент:

- Сильні сторони (S-Strengths) - характеристики проєкту, які надають йому перевагу серед інших;
- Слабкі сторони (W-Weaknesses) - характеристики проєкту, які ставлять його у не вигідне положення в порівнянні з іншими;
- Можливості (O-Opportunities) - фактори, елементи, які проєкт може використовувати у власних інтересах;
- Загрози (T-Threats) - фактори, які можуть викликати проблеми для проєкту;

Варто зазначити, що сильні та слабкі сторони відносять до **внутрішніх факторів**, тобто це елементи діяльності компанії, схильні до контролю з боку її керівництва. А можливості та загрози до **зовнішніх факторів**, тобто це елементи діяльності компанії, які не підлягають контролю з боку її керівництва. Наприклад, гранти, пільги на податки чи державні дотації можуть помилково віднести до сильної сторони, але все ж таки воно відноситься до

можливостей, бо керівники проекту не можуть на це повпливати.

Основою SWOT-методу є «мозковий штурм» (brainstorming), тому чим більше команда та експерти будуть залучені до аналізу, тим об'єктивнішою буде фінальна оцінка. Розглянемо детальніше кожний етап:

- 1) **Збір команди.** Це є початковим етапом, під час якого формується експертна група, команда, які залучені з різних областей. Це є дуже важливим етапом, бо від нього напряду залежить фінальний результат. Якщо не залучити достатню кількість експертів чи їх кваліфікація є низькою, то це, скоріш за все, призведе до негативних наслідків.
- 2) **Збір та обробка інформації.** Після формування експертних груп, потрібно провести збір усієї наявної інформації про внутрішні та зовнішні фактори. Дані мають підкріплюватись фактами та цифрами.
- 3) **Побудова SWOT-матриці та стратегій.** На основі інформації, яка була зібрана на попередньому етапі, потрібно записати сильні та слабкі сторони, можливості та загрози, створити матрицю  $2 \times 2$ , у якій на перетині будуються стратегії:
  - **OS-стратегії** - використання сильних сторін, щоб реалізувати можливості.
  - **OW-стратегії** - використання можливостей для уникнення або зменшення негативного впливу від слабких сторін.
  - **TS-стратегії** - використання сильних сторін для подолання або зменшення негативного впливу від загроз.
  - **TW-стратегії** - розглядаються слабкі сторони, від яких можна позбутися, щоб запобігти загрозам.

	<b>Strengths</b> 1) ... 2) ... 3) ... 4) ...	<b>Weaknesses</b> 1) ... 2) ... 3) ... 4) ...
<b>Opportunities</b> 1) ... 2) ... 3) ... 4) ...	<b>OS-стратегії</b> Використання сильних сторін, щоб скористатися можливостями: 1) ... 2) ...	<b>OW-стратегії</b> Подолання слабких сторін за допомогою можливостей: 1) ... 2) ...
<b>Threats</b> 1) ... 2) ... 3) ... 4) ...	<b>TS-стратегії</b> Використання сильних сторін для запобігання загрозам: 1) ... 2) ...	<b>TW-стратегії</b> Мінімізація слабких сторін для запобігання загрозам: 1) ... 2) ...

Табл. 1.1. Матриця SWOT-аналізу

### 1.3.2 «Троянда» ризиків

«Троянда» ризиків - один з графічних методів експертних оцінок, який візуально представляє результати оцінки різних ризиків ІІІ, зазвичай, за 10-бальною шкалою, де:

- **1 бал** - найвищий ступінь ризику;
- **10 балів** - повна впевненість у найдійності аспекту або відсутність ризику.

Наприклад, експерти проставили наступні оцінки для 8 критеріїв:

- 1) Вивченість ринків збуту продукції - 9 б.;
- 2) Кваліфікація персоналу проєкту - 5 б.;
- 3) Наявність джерел фінансування - 9 б.;
- 4) Розробка бізнес-плану проєкту - 4 б.;
- 5) Продуманість стратегій ціноутворення продукції проєкту - 7 б.;

- 6) **Забезпеченість проекту сировиною та матеріалами** - 6 б.;
- 7) **Наявність стратегії збуту продукції проекту** - 5 б.;
- 8) **Перспективність проекту** - 5 б.

Графічно це виглядає так:

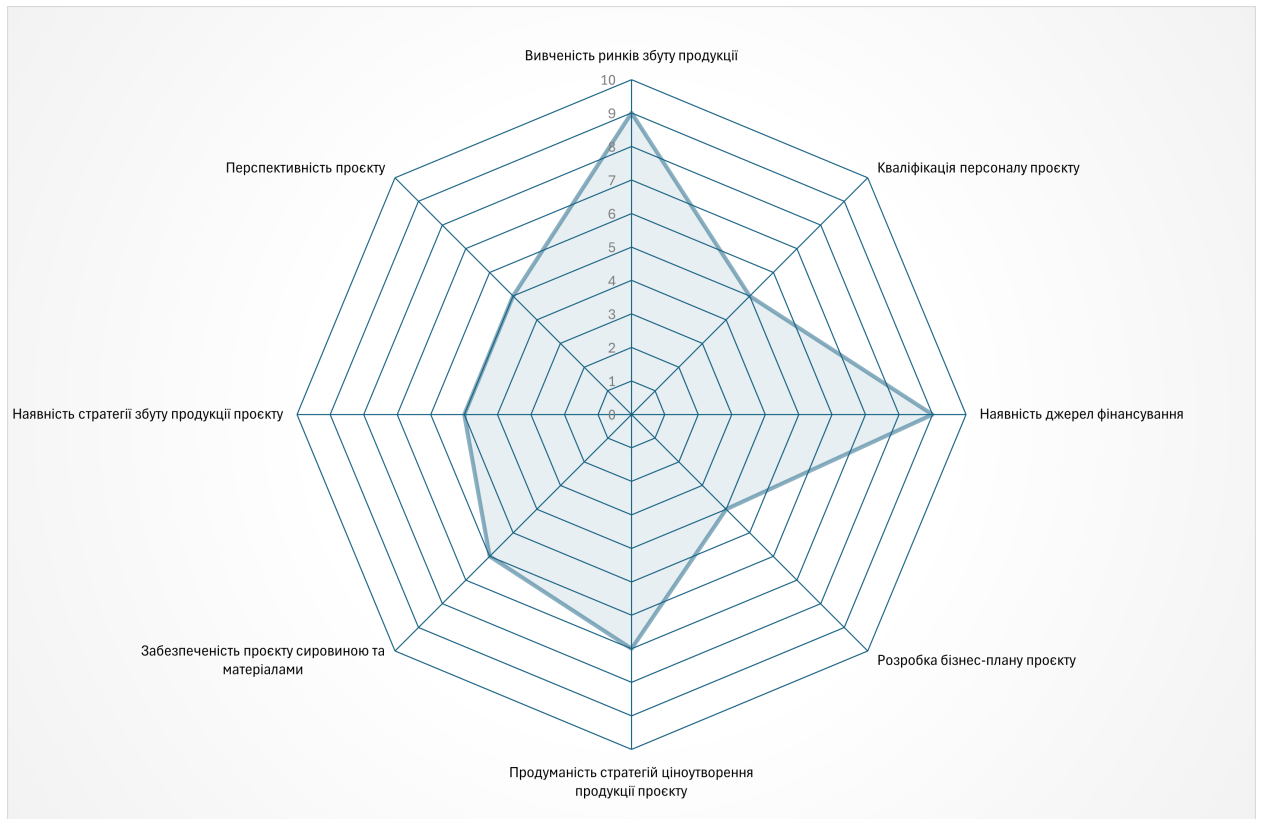


Рис. 1.1. «Троянда» ризиків

### 1.3.3 «Спіраль» ризиків

**«Спіраль» ризиків** - це інший графічний метод експертних оцінок, але, на відміну від «Троянда» ризиків, цей метод передбачає **ранжування** заданих факторів. Тобто виставляються оцінки до кожного ризику як в «Троянді» ризиків та додатково ранжуються ризики за виставленими оцінками.

За приклад візьмемо ризики та їхні оцінки з попереднього методу. Додатково ранжуємо ризики та отримуємо наступне графічне представлення методу:



Рис. 1.2. «Спіраль» ризиків

### 1.3.4 Оцінка ризику стадій (етапів) ІІІ

У кожному проекті можна виділити наступні стадії: підготовча, будівельна та функціонування. **Постадійна** оцінка ризику полягає в тому, щоб для кожної стадії знаходити власні ризики, а потім вони підсумовуються для усього проекту. Варто зазначити, що розрахунок варто проводити два рази: під час складання проекту і після виявлення найбільших ризиків, загроз його елементів.

**За характером впливу** ризики поділяють на:

- **Прості.** Ризики, кожна з яких розглядається як незалежна від інших.
- **Складені.** Ризики, які є композицією простих.

Цей метод має наступний алгоритм:

- 1) **Виявлення ризиків для кожної стадії проекту.** Команда проекту повинна виявити прості ризики для кожної стадії і уточнити їхній характер (політичний, технічний, екологічний, економічний тощо).
- 2) **Формування експертної групи та оцінювання ризиків.** Для

формування експертної групи залучаються фахівці з різних сфер. Після цього кожному експерту надається список простих ризиків (який був розроблений на попередньому етапі) і в індивідуальному порядку пропонується оцінити ймовірність настання ризиків від 0 до 100, які мають наступне значення:

- 0 - ризик вважається несуттєвим;
- 25 - ризик скоріш за все не настане;
- 50 - про настання ризику майже нічого сказати не можна;
- 75 - ризик скоріш за все настане;
- 100 - ризик настане;

3) **Несуперечність думок експертів.** На цьому етапі оцінки експертів піддаються аналізу на несуперечність. Цей аналіз складається з двох правил:

- **Перше правило.** Якщо експертна група складається з двох людей, то різниця між оцінками з будь-якого фактору по модулю не має перевищувати 50. Якщо у групі більше ніж 2 людини, то проводиться попарне порівняння за такими же правилом.
- **Друге правило.** Для виявлення погодженості думок експертів з усіх наборів ризиків визначається пара експертів, думки яких найбільш розходяться. Далі для розрахунку розбіжності потрібно оцінки просумувати за модулем і отриманий результат поділити на число простих ризиків. Отриманий результат не має перевищувати 25.

Якщо не виконується хоча б одне з правил, тобто виявлено протиріччя між думками експертів, ці протиріччя обговорюються на нарадах. Якщо протиріччя відстуні, тобто обидва правила виконуються, то всі оцінки експертів зводимо до середньої арифметичної і використовуємо результат в подальших розрахунках.

4) **Обчислення інтегрального ризику.** Маючи середню експертну оцінку потрібно одержати інтегральну оцінку ризику для всього проекту. Для цього потрібно:

- Обчислити ризики для кожної підстадії чи композиції стадій.
- Розрахувати ризики кожної стадії.

Після цього можна працювати з об'єднаними ризиками і дати оцінку ризику всього проєкту.

Варто зазначити, що задачі експертів і укладачів (команди) проєкту є різною. Задача експертів полягає в тому, щоб дати оцінку **ймовірності** ризиків. А задача укладачів проєкту в тому, щоб надавати оцінку **важливості** кожної окремої події в проєкту.

### 1.3.5 Метод Дельфі

Метод Дельфі (англ. **Delphi Method**), також відомий як **Оцінювання-Обговорення-Оцінювання** (англ. **Estimate-Talk-Estimate, ETE**) - це структурований, ітеративний та якісний метод, який був розроблений у 1950-1960 роки у США, ціллю якого є прогнозування, яке покладається на думку групи експертів. Оскільки метод заснований на думці експертів, то його відносять до методів експертних оцінок ризику. Збір думок експертів відбувається через анонімні опитування.[7, 12]

Метод Дельфі широко використовується у різних сферах життя:

- **Економіка** - прогнозування тенденцій на ринку.
- **Освіта** - дослідження та розробка програм для навчання.
- **Політика** - прогнозування результатів подій, наприклад, виборів.
- **Соціологія** - дослідження проблем у суспільстві, шляхи вирішення.

До особливостей цього методу можна віднести наступне:

- **Анонімність.** Експерти, які залучені до опитування, можуть один одного знати, але виключається тиск збоку будь-яких інших експертів, незважаючи на їх статус. Висловлення думок повністю вільне.
- **Ітеративність.** Анкетування серед учасників проводять в декілька етапів.
- **Залучення експертів.** В опитуванні приймають участь лише фахівці, які мають теоретичний та практичний досвід в області обговорення. За можливості, рівень кваліфікації має співпадати.
- **Контрольований зворотній зв'язок.** Починаючи з другої ітерації експерти ознайомлюються із відповідями інших учасників та, взявши до уваги їх думки, можуть скорегувати свою відповідь.

Алгоритм використання методу Дельфі можна представити у вигляді наступної блок-схеми:



Рис. 1.3. Блок-схема методу Дельфі

Далі детальніше розберемо кожний етап:

- 1) **Формулювання проблеми та визначення мети.** Це початковий етап методу Дельфі, який полягає в тому, щоб ініціатори дослідження ризиків ІІ сформулювали проблему, яка має бути: чітка, конкретна та без двозначностей.
- 2) **Відбір експертів.** Після того як було сформульована проблема, ініціатори мають відібрати експертів, які прийматимуть участь в опитуванні. Вони повинні мати:
  - Ґрунтовні теоретичні знання з галузі, яка розглядається.
  - Практичні навички.
  - Неупереджене ставлення.
- 3) **Підготовка анкет з питаннями.** Після того, як обрали експертну групу, потрібно перейти до створення списку запитань для анкетування. Запитання можуть мати різні форми, найбільш поширені:
  - Ранжування.
  - Шкала оцінок, наприклад, від 1 до 10.
  - Ймовірнісні оцінки.
  - Запитання відкритого формату, де експерти надають розгорнуту відповідь.

- 4) **Проведення опитування.** Анкети, які створені на попередньому етапі, передаються експертам, які заповнюють їх повністю анонімно, щоб запобігти можливому тиску, конфліктних ситуацій, спорам та стимулювати до щирої відповіді.
- 5) **Збір, обробка та аналіз відповідей.** Після того, як всі експерти заповнили свої анкети, проводиться їхній збір та відповіді не обговорюються. Після цього проводиться аналіз отриманих відповідей, наприклад, можна порахувати середні оцінки чи у відкритих відповідях знайти те, що найбільше турбує експертів.
- 6) **Надання результатів аналізу експертам.** Після аналізу зібраних анкет, зведений результат, який гарантує анонімність, надається експертам, щоб кожний з них зміг ознайомитись, зрозуміти загальну тенденцію та, можливо, уточнити чи змінити свою відповідь у наступній ітерації.
- 7) **Досягнення згоди між експертами.** Якщо після опитування не було досягнуто згоди, то відбувається наступна ітерація, повертаємось до 3 пункту і так відбувається до тих пір поки експертна група не дійде до спільної позиції. Також варто зазначити, що питання на кожній ітерації можуть змінюватись, доповнюватись та додаватись нові, в залежності від результатів опитування.
- 8) **Формування заключення.** Після того як експертна група дійшла до консенсусу, створюється фінальний аналітичний звіт, який у собі може містити:
  - Оцінки можливих ризиків та сценаріїв.
  - Рішення, до яких дійшли експерти.
  - Альтернативні думки.

Після всіх заходів, аналіз ризиків методом Дельфі завершується.

## 1.4 Задача 1. SWOT-аналіз ризиків

### 1.4.1 Постановка задачі

У якості інвестиційного проєкту будемо розглядати побудову сонячних електростанцій (СЕС) на територіях з найбільш високим потенціалом сонячної енергії (південь України). Метою цього проєкту є забезпечення стабільної електроенергії з відновлюваних джерел, щоб зменшити шкідливий вплив від традиційних джерел енергії. Проєкт зорієнтований на малий та середній бізнес, державні установи та домогосподарства.

Як зазначалось у теоретичній частині, SWOT-аналіз складається з трьох основних етапів: збір команди, збір та обробка інформації, побудова матриці та стратегій. Тому перейдемо до виконання кожного етапу.

### 1.4.2 Збір команди

Першим кроком потрібно зібрати експертну групу, щоб надалі опрацювати інвестиційний проєкт. До складу команди будуть входити:

- юристи;
- екологи;
- представники місцевої влади;
- фінансові аналітики;
- енергетики, інженери;
- консультанти з державних грантів, програм.

Створена група охоплює різні аспекти, які стосуються проєкту, та забезпечує здатність максимально точно виявити сильні та слабкі сторони, можливості та загрози. Можемо переходити до наступного етапу.

### 1.4.3 Збір та обробка інформації

Новостворена експертна група провела дослідження у наступних областях:

- **Внутрішня інформація.** Дослідження та аналіз структури витрат, план окупності, технічні характеристики панелей та техніко-економічне обґрунтування.
- **Зовнішня інформація.** Дослідження ринку відновлювальної енергетики в Україні та Східній Європі, рівень конкуренції, політика держави щодо «зеленої» енергетики, грантові програми.
- **Досвід.** Приклади подібних проектів в Україні та закордоном.

Після дослідження можна переходити до наступного етапу.

#### 1.4.4 Побудова SWOT-матриці та стратегій

Після збору та обробки інформації експертна група сформулювала наступні пункти до кожної компоненти.

##### **S – Strengths (Сильні сторони)**

- 1) **Швидка масштабованість.** СЕС можна швидко розширювати.
- 2) **Дешевизна обслуговування.** Порівнюючи з іншими джерелами енергії, СЕС вимагає менших коштів на обслуговування.
- 3) **Енергоефективність.** Сучасні сонячні панелі демонструють коефіцієнт корисної дії (ККД) понад 20% і більше.
- 4) **Фахівці.** Достатня наявність висококваліфікованих кадрів.
- 5) **Екологічність.** Відновлювальна енергетика майже не спричиняє викидам парникових газів і не виснажує природні ресурси, тому розвиток цього виду енергетики сприяє «зеленому іміджу».
- 6) **Досвід реалізації проектів.** Якщо компанія має досвід у сфері відновлювальної енергетики, то це мінімізує ризики.

##### **W – Weaknesses (Слабкі сторони)**

- 1) **Вартість інвестицій.** Початкова вартість інвестицій у СЕС є високою через вартість сонячних панелей, ділянок, де будуватимуться вони, встановлення їх і т.д.

- 2) **Термін окупності.** СЕС потребують приблизно 5-7 років, щоб повністю повернути інвестиції.
- 3) **Велика площа.** Для встановлення сонячних панелей потрібно арендувати чи купляти великі площі земель.
- 4) **Залежність від погодних умов.** ККД сонячних панелей напряму залежить від погодних умов.
- 5) **Охорона.** СЕС потребують цілодобової охорони, щоб запобігти крадіжкам або вандалізму.

## **O – Opportunities (Можливості)**

- 1) **Державні програми.** Держава пропонує пільгові кредити, гранти та цілі програми підтримки «зеленої» енергетики.
- 2) **Міжнародні фонди.** Можливість отримати гранти від іноземних фондів, держав, особливо від ЄС.
- 3) **Зріст попиту.** Зростання попиту на відновлювальну енергетику зростає не тільки з точки зору екологічності, а ще з точки зору автономності, що є критичним аспектом під час повномасштабної війни.
- 4) **Розвиток технологій.** Через свою популярність, сонячні панелі стрімко розвиваються, що призводить до поступового зниження їх ціни та одночасно підвищення ККД.
- 5) **Збільшення цін на традиційні енергоносії.** Традиційні енергоносії дорожчають, що роблять СЕС більш привабливим.

## **T – Threats (Загрози)**

- 1) **Військові дії.** Через повномасштабне вторгнення існує постійний ризик пошкодження енергетичної інфраструктури і небезпека окупації територій, де вона знаходиться.
- 2) **Бюрократія та корупція.** В Україні давно існує корупція на різних рівнях державних органів, що призводить до затримки отримання дозволів, ускладнення проходження тендерів, складність відстоювання прав у суді і т.д.
- 3) **Конкуренція.** Оскільки відновлювальна енергетика досить розвину-

та в Україні і є популярною, то існують конкуренти та великі гравці, які будуть ускладнювати розвиток власної СЕС.

- 4) **Фінансова нестабільність.** Існують ризики щодо інфляції, нестабільного курсу гривні, збільшення відсотків за кредит тощо.
- 5) **Логістика.** Через великий попит у світі та бойові дії в країні, можлива затримка у доставці сонячних панелей та необхідного для них обладнання.

## Матриця

Далі можемо переходити до побудови матриці та відповідних стратегій.

	<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
<b>Opportunities</b>	<p><b>OS-стратегії</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Залучення державної та іноземної підтримки у вигляді субсидій, грантів та дешевих кредитів, використовуючи позитивну репутацію екологічного проекту</li> <li>2) Масштабування проекту завдяки попиту на ринку</li> </ol>	<p><b>OW-стратегії</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Компенсація високої вартості початкової інвестиції через державну та міжнародну допомогу</li> <li>2) Використання нових технологій для забезпечення скорочення терміну окупності</li> </ol>
<b>Threats</b>	<p><b>TS-стратегії</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Використання досвіду компанії для подолання ризиків від війни</li> <li>2) Використання досвіду фахівців для впровадження сучасної системи безпеки та моніторингу станцій</li> </ol>	<p><b>TW-стратегії</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Розміщення кількох СЕС у різних регіонах для мінімізації військових та інших ризиків</li> <li>2) Розробка сценарних планів при надзвичайних ситуаціях</li> </ol>

Табл. 1.2. Матриця SWOT-аналізу

### 1.4.5 Висновки

Використання SWOT-аналізу дозволило нам комплексно оцінити інвестиційний проект та досягти наступних результатів:

- 1) Групою експертів було виявлено сильні та слабкі сторони, загрози та можливості, які стосуються обраного ІП.
- 2) Враховуючи попередній результат, було розроблено комбіновані стратегії (SO, WO, ST, WT). Ці стратегії дозволяють покращувати ефективність сильних сторін разом з можливостями, застосовувати можливості для подолання ризиків тощо.

Отже, SWOT-аналіз є важливим методом для визначення можливих ризиків у ІП і створення стратегій для реалізацій їх в умовах невизначеності.

## 1.5 Задача 2. Метод Дельфі для аналізу ризиків

### 1.5.1 Формулювання проблеми та визначення мети

Метою дослідження є: визначення та аналіз ризиків, які можуть повпливати на успішність обраного ІП.

Далі сформулюємо проблему інвестиційного проекту:

Які є ризики для реалізації проекту СЕС в Україні, та яку ймовірність і вплив вони мають?

### 1.5.2 Відбір експертів

Для вирішення проблеми та досягнення мети була сформована команда з 6 експертів:

- 1) Юрист з досвідом у сфері енергетики;
- 2) Менеджер з відновлюваної енергетики;
- 3) Фінансовий аналітик;
- 4) Аналітик з інвестиційних ризиків;
- 5) Експерт з державного регулювання енергетики;
- 6) Інженер-проектувальник СЕС;

### 1.5.3 Перша ітерація

#### Підготовка анкет з питаннями

Для проведення опитування було сформовано 6 потенційних ризиків:

- 1) Ризик фізичного пошкодження СЕС (стихія, вандалізм, військові дії);
- 2) Політична нестабільність;
- 3) Неприятливі погодні умови;
- 4) Зміна законодавства щодо відновлювальної енергетики;
- 5) Затримка дозвільної документації;
- 6) Невідповідність якості обладнання.

Кожний експерт має оцінити:

- **Ступінь впливу** на реалізацію проекту за шкалою від 1 (дуже низька) до 10 (зависока);
- **Ймовірність виникнення** за шкалою від 0 до 1.

#### Проведення опитування. Збір, обробка та аналіз відповідей

Кожному експерту було надіслано анкету та анонімно було заповнено. Далі після підрахунку метрик (детальніше за посиланням у Додатку А) маємо наступний результат:

Метрика \ № Ризику	1	2	3	4	5	6
Середня ймовірність	0.483	0.408	0.102	0.383	0.483	0.068
Середній вплив	7.5	3.167	5	4.667	6.167	5.167
Станд. відх. ймовірн.	0.125	0.097	0.068	0.113	0.103	0.049
Станд. відх. впливу	1.049	0.753	1.265	1.033	1.835	1.329
Коеф. вар. ймовір.	25.90%	23.80%	66.70%	29.50%	21.30%	72.10%
Коеф. вар. впливу	14.00%	23.80%	25.30%	22.10%	29.80%	25.70%

Табл. 1.3. Результати метрик на першій ітерації

Згідно з отриманими результатами, маємо, що коефіцієнти варіацій

ймовірностей (CV) для ризиків 3 і 6 є неоднорідними, тобто немає згоди між експертам, також для ризиків 1 і 4 можна спостерігати значення, які близьки до 30%, що також говорить, що згода неоднотайна. Також є зауваження до CV ступіня впливу, а саме ризик 5 майже 30%, а ризики 3 і 6 більше 25%. Враховуючи результати, експерти не дійшли остаточної згоди по всім ризикам, тому варто провести другий тур голосування (ітерацію).

### **Надання результатів аналізу експертам**

Експертам надаються результати розрахунків метрик, які були проведені у першому турі. Після ознайомлення відбувається перехід до другої ітерації.

#### **1.5.4 Друга ітерація**

##### **Підготовка анкет з питаннями**

Команда інвестиційного проекту вирішила не вносити зміни у питання, таким чином надати можливість експертам ще раз заповнити анкету, але вже знаючи результат першого анкетування.

##### **Проведення опитування. Збір, обробка та аналіз відповідей**

Кожному експерту було надіслано анкету та анонімно було заповнено. Далі після підрахунку метрик (детальніше за посиланням у Додатку А) маємо наступний результат:

Метрика \ № Ризику	1	2	3	4	5	6
Середня ймовірність	0.52	0.43	0.102	0.42	0.5	0.098
Середній вплив	7.8	3.4	5.6	5	6.8	5.6
Станд. відх. ймовірн.	0.097	0.091	0.018	0.076	0.106	0.018
Станд. відх. впливу	0.837	0.548	1.14	0.707	1.095	1.14
Коеф. вар. ймовір.	18.70%	21.20%	17.60%	18.10%	21.20%	18.40%
Коеф. вар. впливу	10.70%	16.10%	20.40%	14.10%	16.10%	20.40%

Табл. 1.4. Результати метрик на другій ітерації

Згідно з отриманими результатами, маємо, що експерти змінили свою думку, що вплинуло на результати коефіцієнтів варіацій. Зараз маємо, що по усім ризикам коефіцієнти варіації ймовірності та ступінь впливу не перевищують 21.2%, що говорить про те, що експерти дійшли до згоди. Тому додаткові ітерації не є обов'язкові.

### Надання результатів аналізу експертам

Оскільки третьої ітерації не буде, то надання результатів експертам не відбувається.

### 1.5.5 Формування заключення

В результаті проведення анкетування експертів, було досягнуто згоди і маємо наступні висновки:

- 1) Найбільший вплив та найбільша ймовірність була надана першому ризику, тобто ризик фізичного пошкодження СЕС. Це заключення говорить про те, що при інвестуванні в цей проект потрібно в першу чергу звернути увагу на забезпечення безпеки СЕС.
- 2) Вплив ризику 2, політична нестабільність, отримала найнижчу оцінку, хоча ймовірність досить висока (0.43).
- 3) Ризик 3, несприятливі погодні умови, має достатній вплив на ІІІ, але ймовірність настання дуже низька.

- 4) Ризик 4, зміна законодавства, можна оцінити як середню загрозу, бо вона має достатньо великий негативний вплив на ІП, при цьому ймовірність настання є високою.
- 5) Ризик 5, затримка дозвільної документації, має один з найбільших впливів на проект і в той самий час майже найвищий серед інших ризиків ймовірність настання.
- 6) Ризик 6, невідповідність якості обладнання, має середній вплив, але експерти надали ймовірність настання найнижчий, тобто це говорить про те, що ринок, на їхню думку, має достатню кількість обладнання, яке відповідає технічним нормам.

Отже, при інвестуванні у проект СЕС, потрібно в першу чергу звернути увагу на перший та п'яті ризики, а такий ризик як шостий, потребує найменшої уваги серед інших.

### **1.5.6 Висновки**

На прикладі було показано, що метод Дельфі є досить ефективним при аналізі ймовірних ризиків у ІП. Варто зазначити, що цей метод має недолік, а саме, вплив думок більшості на меншість. Цей вплив чітко можна було побачити між оцінюванням ризиків на першій та другій ітерації. Коли кожен експерт ознайомився з результатами першої ітерації, вони вже на другій змінили свою думку. Але в будь-якому разі, завдяки цьому методу було досягнуто низці важливих рішень, які допоможуть у ІП.

## РОЗДІЛ 2

# ОЦІНКА РИЗИКІВ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДА АНАЛІЗА ІЄРАРХІЇ

## 2.1 Метод аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (англ. analytic hierarchy process (АНР)) - це структурований метод організації та аналізу складних рішень, зокрема прийняття рішень та аналізу ризиків, заснований на математиці та психології. Цей метод був розроблений Томасом Лорі Сааті у 1970-х роках. У співпраці із Ернестом Форманом у 1983 році було розроблено програмне забезпечення Expert Choice, у якому реалізовано МАІ.

Оскільки Томас Сааті співпрацював із RAND Corporation - некомерційна аналітична організація, Державним департаментом США та Національним бюро стандартів, а також приймав участь у військових проєктах, тому задачі, які вирішувались на початку, були наступні:

- Вибір військових стратегій враховуючи критерій такі як: технологічні, економічні, соціальні, політичні тощо.
- Узгодження політики держави враховуючи різні чинники.
- Пріоритезація ресурсів, які спрямовуються на проєкти наукового та військового характеру.
- Оцінка потенційних загроз та ризиків на основі експертних думок.

Але на сьогоднішній момент тематика далеко вийшла за початкові межі. МАІ вже застосовують у бізнесі, освіті, екологічних програмах, охороні здоров'я та багатьох інших сферах життя, що показує подальшу актуальність методу.

**Означення 2.1. Ієрархія (з грец. священна влада)** - це розташування елементів чи частин цілого у відповідності до строго порядку від найвищого до найнижчого.

Покладення ієрархії в основу методу має природне підґрунтя. Оскільки

мозок людини внаслідок довгих років еволюції звик вирішувати проблеми шляхом пріоритезації задач та факторів. Таким чином, людина вирішує спочатку ті задачі, які потребують максимальною уваги та потреби, а вже потім переходить до менш пріоритетних.

Далі розглянемо в деталях базовий варіант МАІ.

- I. На початку досліджують, аналізують та збирають всі необхідні дані про проблему, задачу. І розпочинається усе з побудови математичної моделі у вигляді ієрархії. Найбільш проста ієрархія має наступний вид:

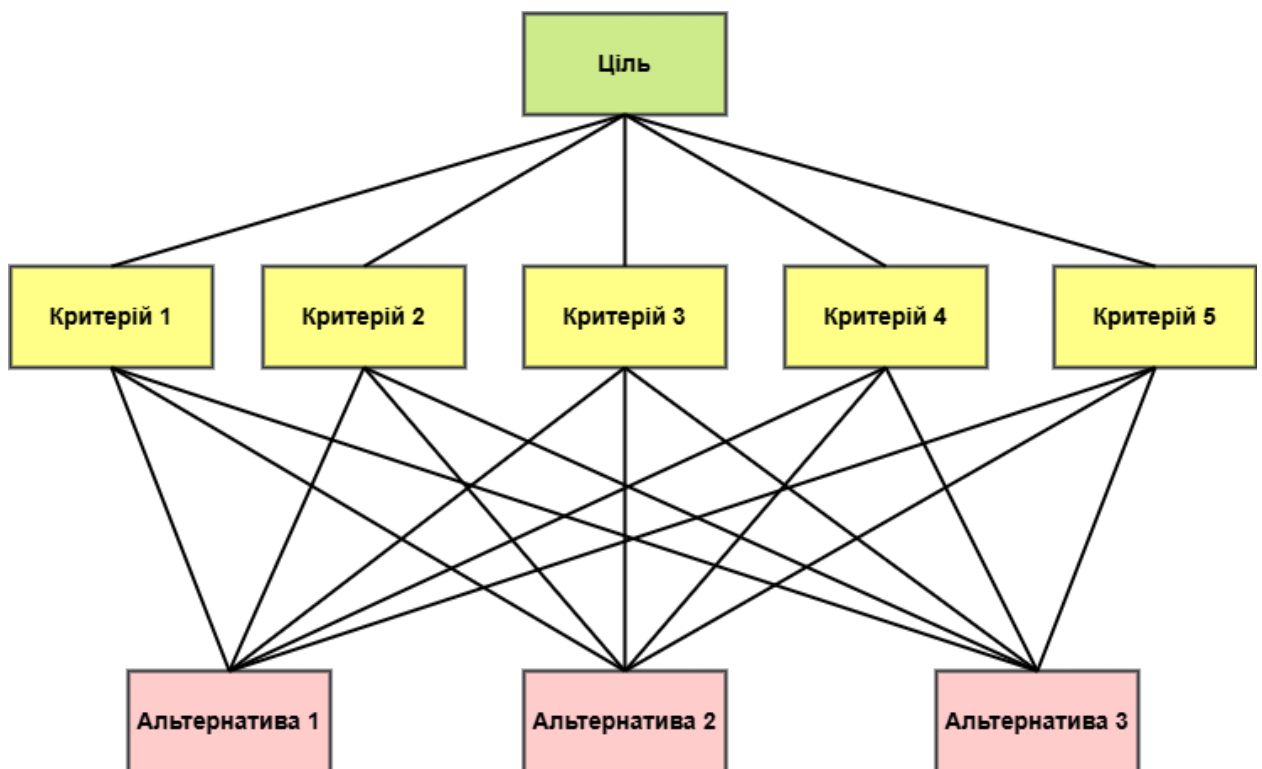


Рис. 2.1. Найпростіший вид ієрархії

На рисунку можна побачити, що базова ієрархія складається з таких елементів:

1. **Ціль** - це найвищий рівень у ієрархічній структурі, яка розкриває основну мету задачі чи проблеми. Вона має формуватися чітко та однозначно, оскільки від цього залежить подальший результат. Наприклад, ціллю може бути вибір постачальника продуктів, вибір проекту для старту, оцінювання ризиків.
2. **Критерії** - це другий рівень у ієрархії, на основі яких знаходиться та приймається рішення. Критерії можуть бути: **кількісні**

або **якісні**. Важливо відмітити, що при виборі критеріїв потрібно враховувати те, щоб вони були релевантними до задачі, не суперечили один одному та варто уникати впливу одних критеріїв на інші.

3. **Альтернативи** - є найнижчим рівнем в ієрархії, який у собі містить варіанти, серед яких потрібно обрати найкращий, враховуючи критерії з попереднього рівня. Кількість альтернатив має бути достатньою та не меншою за 2, бо якщо буде всього одна альтернатива, то розгляд методу не є доцільним, бо немає серед чого обирати. Наприклад, альтернативою можуть виступати постачальники, спортсмени, місто для будівництва головного офіса тощо.

**II.** Наступним етапом МАІ є побудова матриць попарних порівнянь критеріїв. Кожний критерій попарно порівнюють із усіма іншими та ставлять оцінку за шкалою. Виконавець може обирати шкалу на свій розсуд, наприклад, від 1 до 5, від 1 до 12 тощо. Але для проведення суб'єктивних попарних порівнянь була розроблена фундаментальна шкала або її ще називають шкала відносної важливості (див. Додаток Б). Ця шкала неодноразово довела свою ефективність у застосуванні до різних задач, а також теоретично доведена її ефективність порівняно з іншими шкалами.

Фундаментальна шкала була отримана на основі базових рівнянь моделі збудження, які приводять до відомого логарифмічного закону «стимул-реакція». Ефективність цієї шкали була перевірена в багатьох практичних задачах, а також шляхом порівняння з іншими шкалами при розв'язку задач, результати яких були заздалегідь відомі. Числа з цієї шкали використовуються, щоб показати у скільки разів елемент з більшою оцінкою переваги домінує над елементом з меншою оцінкою відносно спільного критерію. Елемент з меншою перевагою має зворотню оцінку переваги. Таким чином, якщо  $x$  - оцінка переваги, з якою більший елемент домінує менший, то  $\frac{1}{x}$  - оцінка переваги меншого елемента в порівнянні з більшим. Таким чином, операція інверсії базується на нашій здатності виконувати попарне порівняння. Прийом інверсії, який застосовується для вирішення рівнянь в математиці,

є узагальненням зворотнього відношення, яке грає важливу роль в процесах аналізу складних проблем.

Загальний вид матриці  $A$  попарних порівнянь критеріїв розміру  $n \times n$ ,  $n$  - кількість критеріїв, має наступний вид:

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$\dots$	$K_n$
$K_1$	1	$a_{12}$	$a_{13}$	$\dots$	$a_{1n}$
$K_2$	$a_{21}$	1	$a_{23}$	$\dots$	$a_{2n}$
$K_3$	$a_{31}$	$a_{32}$	1	$\dots$	$a_{3n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$K_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	$a_{n3}$	$\dots$	1

Табл. 2.1. Матриця попарних порівнянь

Де:

1.  $K = (K_1, K_2, \dots, K_n)$  - критерії,
2.  $a_{ij}$  - оцінка, яка показує важливість критерію  $i$  в порівнянні з критерієм  $j$ , де:
  - $a_{ij} > 1$  - критерій  $K_i$  важливіший за  $K_j$ ,
  - $a_{ij} = 1$  - критерій  $K_i$  та  $K_j$  мають однакову важливість,
  - $a_{ij} < 1$  - критерій  $K_i$  менш важливий ніж  $K_j$ ,
3. Елементи матриці мають задовільняти таким умовам:
  - $a_{ii} = 1$ ,
  - $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$

**III.** Після побудови матриці попарних порівнянь маємо за цією матрицею обчислити вектор пріоритетів. Тобто обчислюємо головний власний вектор, нормалізуємо його та отримаємо в результаті **вектор пріоритетів**.

Для знаходження оцінок значення вектора пріоритетів є 4 найбільш поширенні способи[3]:

### 1. Сума рядків.

Цей спосіб передбачає, що для кожного рядка знаходимо суму. Далі кожне значення отримане в рядку ділимо на суму всіх елементів, таким чином нормалізуємо значення.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (2.1)$$

### 2. Суми за стовпцями.

Цей спосіб складається з трьох етапів:

- Знаходимо суму кожного стовпця:

$$S_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$$

- Знаходимо зворотні величини:

$$\tilde{w}_i = \frac{1}{S_i}$$

- Нормалізуємо отримані значення:

$$w_i = \frac{\tilde{w}_i}{\sum_{j=1}^n \tilde{w}_j} \quad (2.2)$$

### 3. Усереднення за нормалізованими стовпцями.

Цей спосіб складається з двох етапів:

- Нормалізуємо стовпці матриці:

$$\hat{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}$$

- Знаходимо середнє значення за рядками:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \hat{a}_{ij} \quad (2.3)$$

### 4. Середньогометричне за рядком.

Цей спосіб також складається з двох етапів:

- Знаходимо геометричне середнє для кожного рядка:

$$\tilde{w}_i = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}$$

- Нормалізуємо отримані значення:

$$w_i = \frac{\tilde{w}_i}{\sum_{j=1}^n \tilde{w}_j} \quad (2.4)$$

Хоча четвертий спосіб є найскладнішим серед інших за обчислювальною складністю, воно дає найбільш точну оцінку значень головного вектора. Тому для розрахунків будемо використовувати саме цей спосіб.

**IV.** Після цього розпочинаємо розглядати **індекс узгодженості**. Для того, щоб порахувати їх, потрібно помножити матрицю попарних порівнянь на розраховану оцінку вектора рішення та отримаємо новий вектор:

$$Aw = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n a_{1j}w_j \\ \sum_{j=1}^n a_{2j}w_j \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n a_{nj}w_j \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Далі ділимо першу компоненту вектора (2.5) на відповідну першу компоненту вектора пріоритетів (2.4), другий елемент цього вектора на другий елемент вектора пріоритетів і т.д., таким чином визначаємо новий вектор:

$$\bar{v} = \left( \frac{(Aw)_1}{w_1}, \frac{(Aw)_2}{w_2}, \dots, \frac{(Aw)_n}{w_n} \right) \quad (2.6)$$

Після цього знаходимо середнє значення компонент отриманого вектора  $\bar{v}$  та отримаємо значення  $\lambda_{max}$ , яке називають **ГОЛОВНИМ ВЛАСНИМ ЗНАЧЕННЯМ**:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i} \quad (2.7)$$

Це значення використовується для оцінки індекса узгодженості, що відображає пропорційність переваг.

Варто додати, що чим ближче значення  $\lambda_{max}$  до  $n$ , тим результат вважається більш узгодженим.

**Означення 2.2. Індекс узгодженості (ІУ) (англ. Consistency Index, CI)** - це міра ступеня узгодженості в матриці попарних порівнянь, яка показує на скільки матриця є близькою до повністю узгодженої матриці.

ІУ обчислюється за наступною формулою:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.8)$$

**Означення 2.3. Випадковий індекс (англ. Random Index, RI)** - це індекс узгодженості, розрахований за даними оцінок, згенерованими у випадковий спосіб, для матриць розміром від  $1 \times 1$  до  $15 \times 15$  (додаток В).

**Означення 2.4. Відношення узгодженості (англ. Consistency Ratio, CR)** - це відношення індексу узгодженості (CI) до випадкового індексу (RI) для матриці того ж порядку.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.9)$$

- Матриця розміру  $3 \times 3$  вважається ідеально узгодженою, якщо  $CR < 0.05$ ,
- Матриця розміру  $4 \times 4$  вважається ідеально узгодженою, якщо  $CR < 0.08$ ,
- Матриця розміру  $5 \times 5$  і вище вважається ідеально узгодженою, якщо  $CR < 0.1$ .

V. Після знаходження вектора пріоритетів для критеріїв та перевірки на узгодженість, усі ці кроки потрібно тепер зробити для альтернатив. Потрібно побудувати матриці попарних порівнянь альтернатив для кожного критерію. Знаходимо для кожної матриці вектор пріоритетів і перевіряємо на узгодженість.

**VI.** На останньому етапі потрібно поррахувати глобальні пріоритети наявних альтернатив та обрати ту, яка є оптимальною.

Нехай маємо  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  альтернатив, де  $m$ -кількість. Тоді вектор глобальних пріоритетів знаходиться за формулою:

$$w_{A_j} = \sum_{i=1}^n w_{K_i} \cdot w_{A_j}^{K_i}, j = \overline{1, m} \quad (2.10)$$

Де:

- $w_{K_i}$  - "важливість" критерію.
- $w_{A_j}^{K_i}$  - "ефективність" альтернативи для критерію.

## 2.2 Задача 3. Метод аналізу ієрархії для оцінки ризиків

**I.** Є три інвестиційні проекти  $C_1$ ,  $C_2$  та  $C_3$ , де:

1.  $C_1$  - проект побудови сонячної електростанції,
2.  $C_2$  - проект облаштування тепличного господарства,
3.  $C_3$  - проект придбання житлової нерухомості.

Задача полягає в знаходженні найменш ризикованого проекту відносно наступних критеріїв:

1.  $K_1$  - вартість;
2.  $K_2$  - тривалість;
3.  $K_3$  - якість;

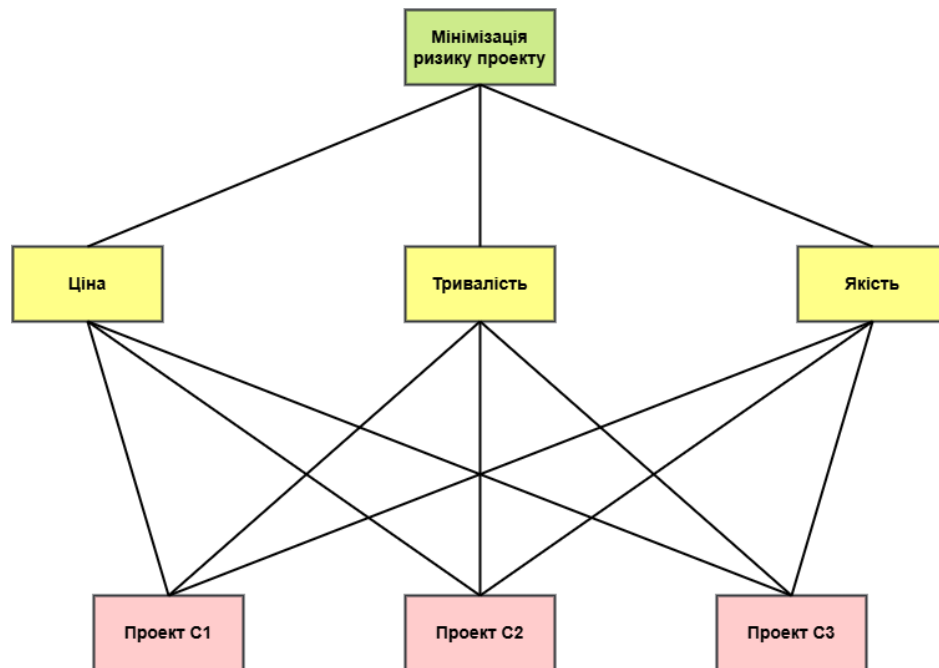


Рис. 2.2. Ієрархічна модель задачі

II. На початку будемо мати матрицю попарних порівнянь критеріїв використовуючи фундаментальну шкалу:

	$K_1$	$K_2$	$K_3$
$K_1$	1	5	$\frac{1}{3}$
$K_2$	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{8}$
$K_3$	3	8	1

Табл. 2.2. Матриця попарних порівнянь критеріїв

III. Тепер нам потрібно знайти оцінку значень головного власного вектора. Як раніше зазначалося, будемо використовувати спосіб середньгеометричного за рядком:

$$\tilde{w}_1 = \sqrt[3]{1 \cdot 5 \cdot \frac{1}{3}} \approx 1.18563$$

$$\tilde{w}_2 = \sqrt[3]{\frac{1}{5} \cdot 1 \cdot \frac{1}{8}} \approx 0.29240$$

$$\tilde{w}_3 = \sqrt[3]{3 \cdot 8 \cdot 1} \approx 2.88449$$

І нормалізуємо:

$$w_1 = \frac{1.18563}{4.36253} \approx 0.27177$$

$$w_2 = \frac{0.29240}{4.36253} \approx 0.06702$$

$$w_3 = \frac{2.88449}{4.36253} \approx 0.66119$$

Отже, нормалізований вектор пріоритетів має наступний вид:

$$w = (0.27177, 0.06702, 0.66119)$$

**IV.** Далі потрібно перевірити матрицю на узгодженість. За формулою (2.5) знаходимо вектор:

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & 5 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{8} \\ 3 & 8 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.27177 \\ 0.06702 \\ 0.66119 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.82730 \\ 0.20403 \\ 2.01273 \end{bmatrix}$$

Знаходимо вектор  $\bar{v}$  (2.6):

$$\bar{v} = \left( \frac{0.82730}{0.27177}, \frac{0.20403}{0.06702}, \frac{2.01273}{0.66119} \right) = (3.04406, 3.04406, 3.04406)$$

І знаходимо головне власне значення (2.7):

$$\lambda_{max} = \frac{1}{3} (3.04406 + 3.04406 + 3.04406) = 3.04406$$

Шукаємо індекс узгодженості (2.8):

$$CI = \frac{3.044066 - 3}{3 - 1} = 0.22033$$

Оскільки матриця розміру  $3 \times 3$ , то випадковий індекс дорівнює:

$$RI = 0.58$$

Звідси відношення узгодженості дорівнює:

$$CR = \frac{0.22033}{0.58} = 0.03798$$

Оскільки отримане значення  $CR < 0.05$ , то матриця є ідеально узгодженою.

- V. Тепер детально розглянемо попарне порівняння альтернатив по першому критерію - "Ціна". Усі дії такі ж самі як і для матриці попарних порівнянь критеріїв. Тобто, розпочинаємо з побудови матриці попарних порівнянь альтернатив по першому критерію.

1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}$
4	1	$\frac{1}{3}$
6	3	1

Табл. 2.3. Матриця попарних порівнянь альтернатив по критерію "Ціна"

Далі знаходимо нормалізовані оцінки вектора пріоритетів. Для цього оцінюємо компоненти головного власного вектору:

$$\tilde{w}_1 = \sqrt[3]{1 \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{6}} \approx 0.34668$$

$$\tilde{w}_2 = \sqrt[3]{4 \cdot 1 \cdot \frac{1}{3}} \approx 1.10064$$

$$\tilde{w}_3 = \sqrt[3]{6 \cdot 3 \cdot 1} \approx 2.62074$$

І нормалізуємо отримані значення:

$$w_1 = \frac{0.34668}{4.06806} \approx 0.08522$$

$$w_2 = \frac{1.10064}{4.06806} \approx 0.27055$$

$$w_3 = \frac{2.62074}{4.06806} \approx 0.64422$$

Тепер перевіряємо матрицю на узгодженість. За формулою (2.5) зна-

ходимо вектор:

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{6} \\ 4 & 1 & \frac{1}{3} \\ 6 & 3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.08522 \\ 0.27055 \\ 0.64422 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.26022 \\ 0.82617 \\ 1.96721 \end{bmatrix}$$

Знаходимо вектор  $\bar{v}$  (2.6):

$$\bar{v} = \left( \frac{0.26022}{0.08522}, \frac{0.27055}{0.82617}, \frac{0.64422}{1.96721} \right) = (3.05362, 3.05362, 3.05362)$$

І знаходимо головне власне значення (2.7):

$$\lambda_{max} = \frac{1}{3} (3.05362 + 3.05362 + 3.05362) = 3.05362$$

Шукаємо індекс узгодженості (2.8):

$$CI = \frac{3.05362 - 3}{3 - 1} = 0.02681$$

Оскільки матриця розміру  $3 \times 3$ , то випадковий індекс дорівнює:

$$RI = 0.58$$

Звідси відношення узгодженості дорівнює:

$$CR = \frac{0.02681}{0.58} = 0.04622$$

Оскільки отримане значення  $CR < 0.05$ , то матриця є ідеально узгодженою. Побудови та розрахунки для матриць попарних порівнянь альтернатив для по інших критеріям за посиланням у Додатку Г.

**VI.** Залишилося порахувати глобальні пріоритети наявних альтернатив

за формулою (2.10):

$$w_{C_1} = 0.27177 \cdot 0.08522 + 0.06702 \cdot 0.20509 + \\ + 0.66119 \cdot 0.70493 \approx 0.50300$$

$$w_{C_2} = 0.27177 \cdot 0.27055 + 0.06702 \cdot 0.07825 + \\ + 0.66119 \cdot 0.08414 \approx 0.13441$$

$$w_{C_3} = 0.27177 \cdot 0.64423 + 0.06702 \cdot 0.71665 + \\ + 0.66119 \cdot 0.21091 \approx 0.36257$$

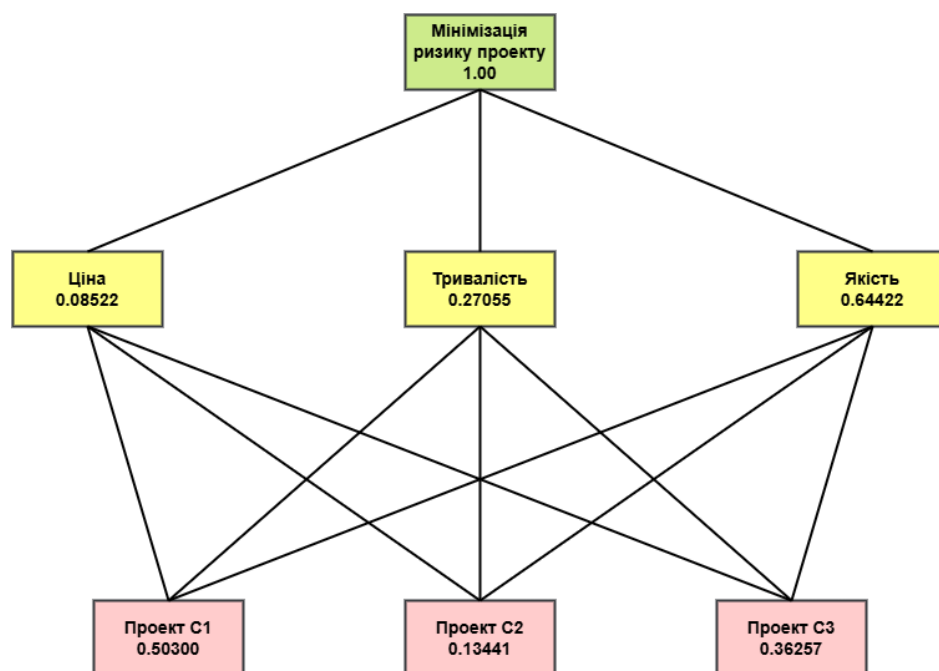


Рис. 2.3. Ієрархічна модель задачі з відповідними оцінками

Оскільки  $w_A > w_B > w_C$ , то найменш ризикованим проектом буде альтернатива  $C_1$  - побудова сонячної електростанції.

Додатково був розроблений код для вирішення задач методом аналізу ієрархій, посилання на який можна знайти у Додатку Г. Результати виконання програми для цієї задачі у Додатку Д.

## 2.3 Задача 4. Метод аналізу ієрархії для загроз

I. У великої ІТ-компанії стоїть задача в оцінці ймовірних загроз та знаходженні найбільш впливової. Серед критеріїв для оцінки загроз маємо наступні:

- $K_1$  - час відновлення системи
- $K_2$  - вартість відновлення системи
- $K_3$  - падіння іміджу компанії
- $K_4$  - падіння конкурентної здатності компанії

Розглядаються наступні загрози:

- $A_1$  - пожежа
- $A_2$  - неавторизоване використання інтелектуальної власності (ІС)
- $A_3$  - руйнування системи електропостачання
- $A_4$  - руйнування обладнання чи даних в результаті недбалості
- $A_5$  - комп'ютерні віруси
- $A_6$  - хибне тлумачення подій
- $A_7$  - крадіжка
- $A_8$  - вразливість програмного забезпечення (ПО) або помилки
- $A_9$  - невідповідна обробка подій в області безпеки
- $A_{10}$  - ризик крадіжки на робочому місці
- $A_{11}$  - небезпека, яка пов'язана зі звільненням працівника

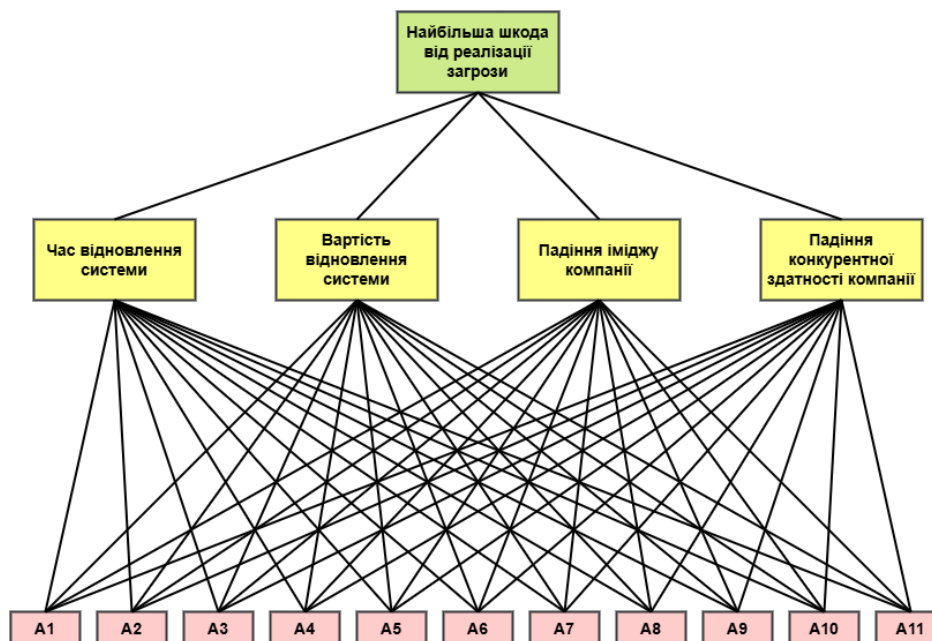


Рис. 2.4. Ієрархічна модель задачі

II. На початку будемо мати матрицю попарних порівнянь критеріїв використовуючи фундаментальну шкалу:

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
$K_1$	1	7	4	4
$K_2$	$\frac{1}{7}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
$K_3$	$\frac{1}{4}$	2	1	$\frac{1}{4}$
$K_4$	$\frac{1}{4}$	3	4	1

Табл. 2.4. Матриця попарних порівнянь критеріїв

III. Тепер нам потрібно знайти оцінку значень головного власного вектора. Як раніше зазначалося, будемо використовувати спосіб середнього-

метричного за рядком:

$$\tilde{w}_1 = \sqrt[4]{1 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 4} \approx 3.25315$$

$$\tilde{w}_2 = \sqrt[4]{\frac{1}{7} \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3}} \approx 0.39281$$

$$\tilde{w}_3 = \sqrt[4]{\frac{1}{4} \cdot 2 \cdot 1 \cdot \frac{1}{4}} \approx 0.59460$$

$$\tilde{w}_4 = \sqrt[4]{\frac{1}{4} \cdot 3 \cdot 4 \cdot 1} \approx 1.31607$$

І нормалізуємо:

$$w_1 = \frac{3.25315}{5.55664} \approx 0.58545$$

$$w_2 = \frac{0.39281}{5.55664} \approx 0.07069$$

$$w_3 = \frac{0.59460}{5.55664} \approx 0.10700$$

$$w_4 = \frac{1.31607}{5.55664} \approx 0.23684$$

Отже, нормалізований вектор пріоритетів має наступний вид:

$$w = (0.58545, 0.07069, 0.10700, 0.23684)$$

**IV.** Далі потрібно перевірити матрицю на узгодженість. За формулою (2.5) знаходимо вектор:

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 4 & 4 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{4} & 2 & 1 & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{4} & 3 & 4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.58545 \\ 0.07069 \\ 0.10700 \\ 0.23684 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.45572 \\ 0.28678 \\ 0.45396 \\ 1.02331 \end{bmatrix}$$

Знаходимо вектор  $\bar{v}$  (2.6):

$$\begin{aligned}\bar{v} &= \left( \frac{2.45572}{0.58545}, \frac{0.28678}{0.07069}, \frac{0.45396}{0.10700}, \frac{1.02331}{0.23684} \right) = \\ &= (4.19456, 4.05673, 4.24238, 4.32059)\end{aligned}$$

І знаходимо головне власне значення (2.7):

$$\lambda_{max} = \frac{1}{4} (4.19456 + 4.05673 + 4.24238 + 4.32059) = 4.20357$$

Шукаємо індекс узгодженості (2.8):

$$CI = \frac{4.20357 - 4}{4 - 1} = 0.06785$$

Оскільки матриця розміру  $4 \times 4$ , то випадковий індекс дорівнює:

$$RI = 0.9$$

Звідси відношення узгодженості дорівнює:

$$CR = \frac{0.06785}{0.9} = 0.07539$$

Оскільки отримане значення  $CR < 0.08$ , то матриця є ідеально узгодженою.

**V.** Тепер потрібно розглянути попарне порівняння альтернатив по кожному критерію. Усі необхідні розрахунки у Додатку Е.

**VI.** Залишилося порахувати глобальні пріоритети наявних альтернатив за формулою (2.10):

$$w_{A_1} = 0.58545 \cdot 0.25916 + 0.07069 \cdot 0.21081 + \\ + 0.10700 \cdot 0.04774 + 0.23684 \cdot 0.06565 = 0.18728$$

$$w_{A_2} = 0.58545 \cdot 0.03216 + 0.07069 \cdot 0.03717 + \\ + 0.10700 \cdot 0.26456 + 0.23684 \cdot 0.20798 = 0.09903$$

$$w_{A_3} = 0.58545 \cdot 0.19449 + 0.07069 \cdot 0.24277 + \\ + 0.10700 \cdot 0.06853 + 0.23684 \cdot 0.09136 = 0.16000$$

$$w_{A_4} = 0.58545 \cdot 0.06281 + 0.07069 \cdot 0.03646 + \\ + 0.10700 \cdot 0.03038 + 0.23684 \cdot 0.05557 = 0.05576$$

$$w_{A_5} = 0.58545 \cdot 0.15523 + 0.07069 \cdot 0.15577 + \\ + 0.10700 \cdot 0.17788 + 0.23684 \cdot 0.18013 = 0.16359$$

$$w_{A_6} = 0.58545 \cdot 0.02752 + 0.07069 \cdot 0.02408 + \\ + 0.10700 \cdot 0.02148 + 0.23684 \cdot 0.02211 = 0.02535$$

$$w_{A_7} = 0.58545 \cdot 0.02940 + 0.07069 \cdot 0.03294 + \\ + 0.10700 \cdot 0.05949 + 0.23684 \cdot 0.03524 = 0.03426$$

$$w_{A_8} = 0.58545 \cdot 0.10892 + 0.07069 \cdot 0.12561 + \\ + 0.10700 \cdot 0.16863 + 0.23684 \cdot 0.17993 = 0.13331$$

$$w_{A_9} = 0.58545 \cdot 0.08774 + 0.07069 \cdot 0.09364 + \\ + 0.10700 \cdot 0.09781 + 0.23684 \cdot 0.12005 = 0.09688$$

$$w_{A_{10}} = 0.58545 \cdot 0.02523 + 0.07069 \cdot 0.02765 + \\ + 0.10700 \cdot 0.03538 + 0.23684 \cdot 0.02755 = 0.02704$$

$$w_{A_{11}} = 0.58545 \cdot 0.01729 + 0.07069 \cdot 0.01305 + \\ + 0.10700 \cdot 0.02806 + 0.23684 \cdot 0.01438 = 0.017458$$

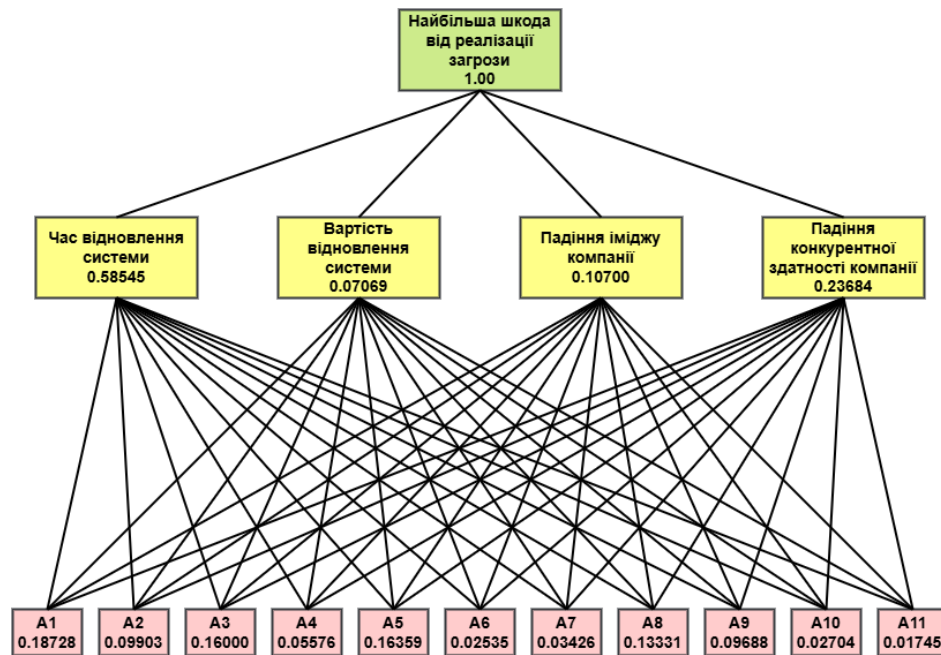


Рис. 2.5. Ієрархічна модель задачі з відповідними оцінками

Отже, найбільш впливовою загрозою є A1 - пожежа.

Результати виконання програми для цієї задачі у Додатку Є.

## 2.4 Задача 5. Метод аналізу ієрархії для прийняття рішень

I. Компанія-виробник побутових товарів шукає для себе постачальника сировини. Наявні наступні 3 альтернативи:

- **Постачальник А** - Німеччина, висока якість сировини, але й відповідно висока ціна,
- **Постачальник В** - Польща, стабільна якість за помірну ціну;
- **Постачальник С** - Туреччина, найнижча ціна та помірна якість (трохи гірша за польську), але можливі проблеми із термінами доставки сировини.

Критерії, за якими компанія буде оцінювати постачальників, наступні:

- $K_1$  - ціна
- $K_2$  - якість сировини
- $K_3$  - час на виконання доставки

- $K_4$  - надійність (відсоток виконаних контрактів)
- $K_5$  - сервіс та підтримка
- $K_6$  - логістична інфраструктура (мита, шляхи перевезення тощо)

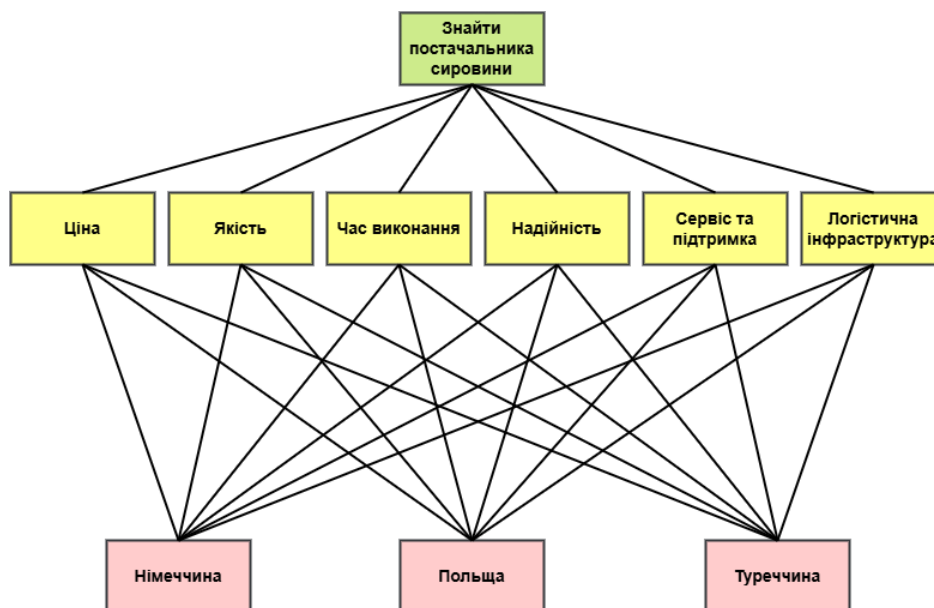


Рис. 2.6. Ієрархічна модель задачі прийняття рішення

II. На початку будемо матрицю попарних порівнянь критеріїв використовуючи фундаментальну шкалу:

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$K_1$	1	$\frac{1}{3}$	2	$\frac{1}{5}$	4	3
$K_2$	3	1	4	$\frac{1}{2}$	5	4
$K_3$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{3}$	2	2
$K_4$	5	2	3	1	6	5
$K_5$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$	1	$\frac{1}{2}$
$K_6$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	2	1

Табл. 2.5. Матриця попарних порівнянь критеріїв

III. Тепер нам потрібно знайти оцінку значень головного власного вектора. Як раніше зазначалося, будемо використовувати спосіб середньогогео-

метричного за рядком:

$$\tilde{w}_1 = \sqrt[6]{1 \cdot \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot \frac{1}{5} \cdot 4 \cdot 3} \approx 1.08148$$

$$\tilde{w}_2 = \sqrt[6]{3 \cdot 1 \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 4} \approx 2.22091$$

$$\tilde{w}_3 = \sqrt[6]{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot 1 \cdot \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot 2} \approx 0.74184$$

$$\tilde{w}_4 = \sqrt[6]{5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 5} \approx 3.10723$$

$$\tilde{w}_5 = \sqrt[6]{\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{5} \cdot 1 \cdot \frac{1}{2}} \approx 0.35738$$

$$\tilde{w}_6 = \sqrt[6]{\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{5} \cdot 2 \cdot 1} \approx 0.50541$$

І нормалізуємо:

$$w_1 = \frac{1.08148}{8.01425} \approx 0.13494$$

$$w_2 = \frac{2.22091}{8.01425} \approx 0.27711$$

$$w_3 = \frac{0.74184}{8.01425} \approx 0.09256$$

$$w_4 = \frac{3.10723}{8.01425} \approx 0.38771$$

$$w_5 = \frac{0.35738}{8.01425} \approx 0.04459$$

$$w_6 = \frac{0.50541}{8.01425} \approx 0.06306$$

Отже, нормалізований вектор пріоритетів має наступний вид:

$$w = (0.13494, 0.27711, 0.09256, 0.38771, 0.04459, 0.06306)$$

**IV.** Далі потрібно перевірити матрицю на узгодженість. За формулою

(2.5) знаходимо вектор:

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & 2 & \frac{1}{5} & 4 & 3 \\ 3 & 1 & 4 & \frac{1}{2} & 5 & 4 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{3} & 2 & 2 \\ 5 & 2 & 3 & 1 & 6 & 5 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & \frac{1}{6} & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.13494 \\ 0.27711 \\ 0.09256 \\ 0.38771 \\ 0.04459 \\ 0.06306 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.85755 \\ 1.72128 \\ 0.57386 \\ 2.47724 \\ 0.27618 \\ 0.39033 \end{bmatrix}$$

Знаходимо вектор  $\bar{v}$  (2.6):

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \left( \frac{0.85755}{0.13494}, \frac{1.72128}{0.27711}, \frac{0.57386}{0.09256}, \frac{2.47724}{0.38771}, \frac{0.27618}{0.04459}, \frac{0.39033}{0.06306} \right) = \\ &= (6.35481, 6.21135, 6.19963, 6.38937, 6.19352, 6.18955) \end{aligned}$$

І знаходимо головне власне значення (2.7):

$$\begin{aligned} \lambda_{max} &= \frac{1}{7} (6.35481 + 6.21135 + 6.19963 + 6.38937 + 6.19352 + 6.18955) = \\ &= 6.25637 \end{aligned}$$

Шукаємо індекс узгодженості (2.8):

$$CI = \frac{6.25637 - 1}{6 - 1} = 0.05127$$

Оскільки матриця розміру  $6 \times 6$ , то випадковий індекс дорівнює:

$$RI(6) = 1.24$$

Звідси відношення узгодженості дорівнює:

$$CR = \frac{0.05127}{1.24} = 0.04135$$

Оскільки отримане значення  $CR < 0.1$ , то матриця є ідеально узгодже-

ною.

- V. Тепер детально розглянемо попарне порівняння альтернатив по першому критерію - "Ціна". Усі дії такі ж самі як і для матриці попарних порівнянь критеріїв. Тобто, розпочинаємо з побудови матриці попарних порівнянь альтернатив по першому критерію.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>A</b>	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{7}$
<b>B</b>	4	1	$\frac{1}{2}$
<b>C</b>	7	2	1

Табл. 2.6. Матриця попарних порівнянь альтернатив по критерію "Ціна"

Далі знаходимо нормалізовані оцінки вектора пріоритетів. Для цього оцінюємо компоненти головного власного вектору:

$$\tilde{w}_1 = \sqrt[3]{1 \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{7}} \approx 0.32931$$

$$\tilde{w}_2 = \sqrt[3]{4 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2}} \approx 1.25992$$

$$\tilde{w}_3 = \sqrt[3]{7 \cdot 2 \cdot 1} \approx 2.41014$$

І нормалізуємо отримані значення:

$$w_1 = \frac{0.32931}{3.99938} \approx 0.08234$$

$$w_2 = \frac{1.25992}{3.99938} \approx 0.31502$$

$$w_3 = \frac{2.41014}{3.99938} \approx 0.60262$$

Тепер перевіряємо матрицю на узгодженість. За формулою (2.5) зна-

ходимо вектор:

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{7} \\ 4 & 1 & \frac{1}{2} \\ 7 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.08234 \\ 0.31502 \\ 0.60262 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.24718 \\ 0.94571 \\ 1.80908 \end{bmatrix}$$

Знаходимо вектор  $\bar{v}$  (2.6):

$$\bar{v} = \left( \frac{0.24718}{0.08234}, \frac{0.94571}{0.31502}, \frac{1.80908}{0.60262} \right) = (3.00198, 3.00198, 3.00198)$$

І знаходимо головне власне значення (2.7):

$$\lambda_{max} = \frac{1}{3} (3.00198 + 3.00198 + 3.00198) = 3.00198$$

Шукаємо індекс узгодженості (2.8):

$$CI = \frac{3.00198 - 3}{3 - 1} \approx 0.00099$$

Оскільки матриця розміру  $3 \times 3$ , то випадковий індекс дорівнює:

$$RI(3) = 0.58$$

Звідси відношення узгодженості дорівнює:

$$CR = \frac{0.00099}{0.58} \approx 0.00171$$

Оскільки отримане значення  $CR < 0.05$ , то матриця є ідеально узгодженою. Побудови та розрахунки для матриць попарних порівнянь альтернатив для по інших критеріям за посиланням у Додатку Ж.

**VI.** Залишилося порахувати глобальні пріоритети наявних альтернатив

за формулою (2.10):

$$w_A = 0.13494 \cdot 0.08234 + 0.27711 \cdot 0.76924 + 0.09256 \cdot 0.21763 + \\ + 0.38771 \cdot 0.55842 + 0.04459 \cdot 0.09140 + 0.06306 \cdot 0.34199 \approx 0.48658$$

$$w_B = 0.13494 \cdot 0.31502 + 0.27711 \cdot 0.14760 + 0.09256 \cdot 69095 + \\ + 0.38771 \cdot 31961 + 0.04459 \cdot 0.69096 + 0.06306 \cdot 0.57690 \approx 0.33825$$

$$w_C = 0.13494 \cdot 0.60262 + 0.27711 \cdot 0.08399 + 0.09256 \cdot 0.09140 + \\ + 0.38771 \cdot 0.12196 + 0.04459 \cdot 0.21764 + 0.06306 \cdot 0.08109 \approx 0.17516$$

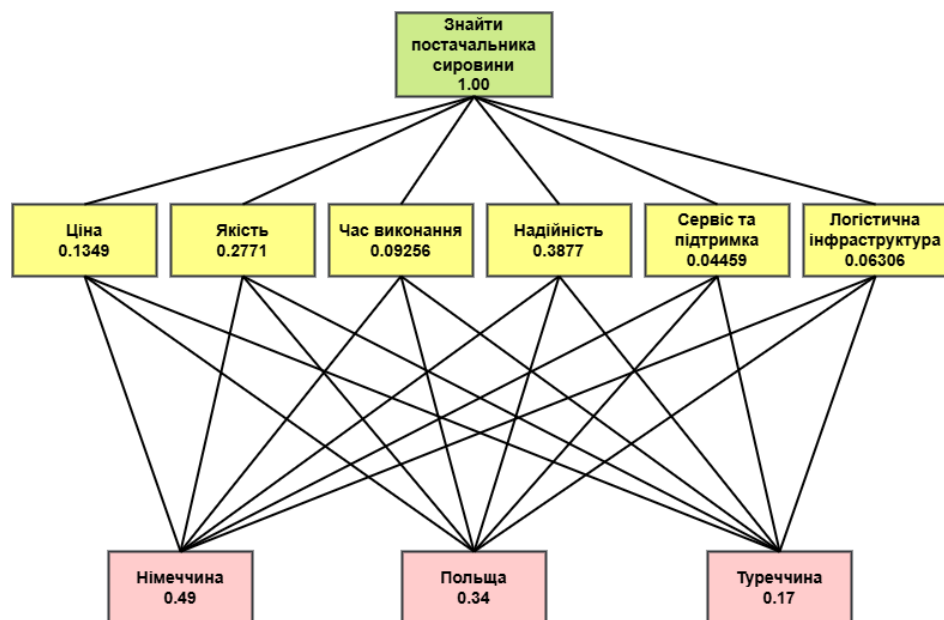


Рис. 2.7. Ієрархічна модель задачі з відповідними оцінками

Оскільки  $w_A > w_B > w_C$ , то найкращим постачальником сировини за всіма критеріями буде альтернатива А Німеччина.

Результати виконання програми для цієї задачі у Додатку 3.

## ВИСНОВКИ

У рамках цієї дипломної роботи було розглянуто низку експертних методів оцінки ризиків таких як: SWOT-аналіз, «Троянда» ризиків, «Спіраль» ризиків, оцінка ризику стадій (етапів) для інвестиційних проєктів, метод Дельфі та метод аналізу ієрархій.

Методи SWOT-аналіз та Дельфі застосували на практиці для аналізу ризиків у проєкті побудови сонячної електростанції. Для кожного методу було знайдено детальний розв'язок задачі із дотриманням усіх необхідних етапів (Задача 1-2).

Окремий акцент був зроблений на методі аналізу ієрархії. Цей метод був застосований до трьох задач оцінки ризиків та прийняття рішень (Задача 3-5). Детально було розібрано кожний етап методу аналізу ієрархій, щоб в результаті отримати відповіді на поставлені цілі.

У рамках практичної частини також було створено програмний додаток на мові програмування Javascript, використовуючи фреймворк Angular, який дозволяє спростити та автоматизувати процес аналізу ризиків та прийняття рішень на основі методу аналізу ієрархій. Цей інструмент може полегшити роботу керівникам, аналітикам тощо, прискорюючи ухвалення рішень на основі багатокритеріального аналізу та оцінці ризиків для зменшення їх негативного впливу.

Слід зазначити, що розглянуті задачі були спрощені, без урахування факторів, таких як повнота вхідних даних, вплив зовнішніх змінних чи непередбачуваних подій. У реальному житті, щоб побудувати ефективну систему оцінок ризиків чи прийняття рішень, потрібен більш глибокий аналіз, багаторівнева перевірка гіпотез та залучення міждисциплінарних підходів і спеціалістів.

Проте навіть в обмеженому вигляді застосування МАІ демонструє свою ефективність та практичну значущість, що робить цей метод цінним інструментом для бізнесу, державного управління, стратегічного планування тощо.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захарченко Н. В. Інвестування : навч.-метод. посіб. Одеса : «Атлант ВОИ СОИУ», 2018. 184 с.
2. Луців Б. Л., Кравчук І. С., Сас Б. Б. Інвестування : підручник. Тернопіль : Екон. думка, 2014. 544 с.
3. Мічківський С. М., Прігунов О. В., Римар П. В. Системи та методи прийняття рішень : метод. вказівки. Вінниця : ДНУ ім. Василя Стуса, 2019. 76 с.
4. Тов «фрідом фінанс україна». Freedom Finance. URL: <https://ffin.ua/blog/articles/investopediia/post/shcho-take-investytsii-zvychainymu-slovamy> (дата звернення: 17.05.2025).
5. Що таке інвестиції звичайними словами: суть поняття «інвестиція». Rates – Manage Your Finances Smartly. URL: <https://rates.fm/ua-uk/invest/sho-take-investiciyi-zvichajnimi-slovami/> (дата звернення: 17.05.2025).
6. Contributors to Wikimedia projects. SWOT analysis - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/SWOT\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/SWOT_analysis) (date of access: 17.05.2025).
7. Delphi method. Corporate Finance Institute. URL: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/economics/delphi-method/> (date of access: 17.05.2025).
8. Hayes A. Investment: how and where to invest. Investopedia. URL: <https://www.investopedia.com/terms/i/investment.asp> (date of access: 17.05.2025).
9. Investment in real estate projects | PROFITUS. URL: <https://www.profitus.com/news/investment-projects-their-types-and-management> (дата звернення: 17.05.2025).
10. Project Management Institute. Guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide) - seventh edition and the standard for project management (ENGLISH). Project Management Institute, 2021. 842 p.

11. Saaty T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York : McGraw-Hill International Book Co., 1980. 287 p.
12. Twin A. What is the delphi method, and how is it useful in forecasting?. Investopedia. URL: <https://www.investopedia.com/terms/d/delphi-method.asp#toc-delphi-method-process> (date of access: 17.05.2025).

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Посилання на розрахунки у Google Sheets для **Задача 2. Метод Дельфі для аналізу ризиків**: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/15vKbaIwnvnr-Ex6b7aQ2x0cYlsPIa2uW/edit?usp=sharing&ouid=112381482626rtpof=true&sd=true>

## Додаток Б

## Фундаментальна шкала

Ступінь надання переваги	Визначення	Коментарі
1	Рівна перевага	Дві альтернативи однакові з точки зору цілі
2	Слабкий ступінь переваги	Проміжна градація між рівною та середньою перевагою
3	Середній ступінь переваги	Досвід експерта дозволяє вважати одну з альтернатив трохи прийнятніше за іншу
4	Перевага вище середнього	Проміжна градація між середньою та помірно сильною перевагою
5	Помірно сильна перевага	Досвід експерта дозволяє вважати одну з альтернатив явно прийнятніше за іншу
6	Сильна перевага	Проміжна градація між помірно сильною та дуже сильною перевагою
7	Дуже сильна (очевидна) перевага	Досвід експерта дозволяє вважати одну з альтернатив набагато прийнятніше за іншу: домінування альтернативи підтверджено практикою
8	Дуже, дуже сильна перевага	Проміжна градація між дуже сильною та абсолютною перевагою
9	Абсолютна перевага	Очевидність домінуючої переваги однієї над іншою має незаперечне підтвердження
Зворотні значення оцінок переваги	Якщо перевага і-тої альтернативи в порівнянні з j-тою має одне з наведених вище значень, то оцінка переваги j-тої альтернативи перед і-тою буде мати зворотне значення	Якщо $x$ прийнятніше $y$ у п'ять разів, тобто $x = 5y$ , тоді $y = \frac{x}{5}$ або $y = \frac{1}{5}x$
Послідовність суджень	Відношення, отримане на основі шкали	Експертні переваги в матрицях попарних порівнянь повинні бути узгодженими

## Значення випадкового індексу узгодженості

$n$	$RI(n)$
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51
12	1.48
13	1.56
14	1.57
15	1.59

## Додаток Г

Посилання на розрахунки у Google Sheets для **Задача 3. Метод аналізу ієрархії для оцінки ризиків**: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1zBPvLm79dNCeyV895dA9PIDMAWiOfCun/edit?usp=sharing&ouid=112381482626rtpof=true&sd=true>

## Додаток Г

Посилання на код програми для розрахунків методом аналізу ієрархій:  
<https://glitch.com/edit/#!/cedar-fast-windshield>

## Скріншоти роботи програми для **Задача 3. Метод аналізу ієрархії** для оцінки ризиків:

**AHP Calculator**

1. Заповнення альтернатив та критеріїв

Альтернатива: сонячна електростанція, тепличне господарство, житлова нерухомість

Мін. 2 альтернативи

Критерій: вартість, тривалість, якість

Мін. 2 критерії

Наступний Крок

2. Порівняння критеріїв

3. Порівняння альтернатив

4. Результат

**AHP Calculator**

2. Порівняння критеріїв

Критерій	вартість	тривалість	якість	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{max}$	$\nu$
вартість	1	5	1/3	1.18563110	0.27177591	0.82730388	3.04406630
тривалість	1/5	1	1/8	0.29240177	0.06702570	0.20403068	3.04406630
якість	3	8	1	2.88449914	0.66119839	2.01273174	3.04406630

$w = (0.27177591, 0.06702570, 0.66119839)$   
 $\lambda_{max} = 3.044066302416886$ ;  $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) = 0.022033151620844293$ ;  $RI = 0.58$ ;  $CR = CI/RI = 0.03798819244973154 (< 0.05)$

Обробка Наступний Крок

3. Порівняння альтернатив

4. Результат

cedar-fast-windshield.glitch.me

### Обробка ВАРТІСТЬ

$w = (0.08522005, 0.27055678, 0.64422317)$   
 $\lambda_{max} = 3.053621575878973$   
 $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) = 0.026810787939486547$   
 $RI = 0.58$   
 $CR = CI/RI = 0.0462254964473906 (< 0.05)$

Альтернатива	сонячна електростанція	теплічне господарство	житлова нерухомість	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{w}$	$v$
сонячна електростанція	1 1.00	1/4 0.25	1/6 0.17	0.34668064	0.08522005	0.26022977	3.05362158
теплічне господарство	4 4.00	1 1.00	1/3 0.33	1.10064242	0.27055678	0.82617802	3.05362158
житлова нерухомість	6 6.00	3 3.00	1 1.00	2.62074139	0.64422317	1.96721379	3.05362158

### Обробка ТРИВАЛІСТЬ

$w = (0.20509063, 0.07825672, 0.71665265)$   
 $\lambda_{max} = 3.0182947072896305$   
 $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) = 0.009147353644815226$   
 $RI = 0.58$   
 $CR = CI/RI = 0.0157129938761246 (< 0.05)$

Альтернатива	сонячна електростанція	теплічне господарство	житлова нерухомість	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{w}$	$v$
сонячна електростанція	1 1.00	3 3.00	1/4 0.25	0.90856030	0.20509063	0.61902395	3.01829471
теплічне господарство	1/3 0.33	1 1.00	1/8 0.13	0.34668064	0.07825672	0.23620184	3.01829471
житлова нерухомість	4 4.00	8 8.00	1 1.00	3.17480210	0.71665265	2.16306892	3.01829471

cedar-fast-windshield.glitch.me

сонячна електростанція	1 1.00	3 3.00	1/4 0.25	0.90856030	0.20509063	0.61902395	3.01829471
теплічне господарство	1/3 0.33	1 1.00	1/8 0.13	0.34668064	0.07825672	0.23620184	3.01829471
житлова нерухомість	4 4.00	8 8.00	1 1.00	3.17480210	0.71665265	2.16306892	3.01829471

### Обробка ЯКІСТЬ

$w = (0.70493601, 0.08414415, 0.21091984)$   
 $\lambda_{max} = 3.0323666170045818$   
 $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) = 0.016183308502290883$   
 $RI = 0.58$   
 $CR = CI/RI = 0.02790225603843256 (< 0.05)$

Альтернатива	сонячна електростанція	теплічне господарство	житлова нерухомість	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{w}$	$v$
сонячна електростанція	1 1.00	7 7.00	4 4.00	3.03658897	0.70493601	2.13762442	3.03236662
теплічне господарство	1/7 0.14	1 1.00	1/3 0.33	0.36246012	0.08414415	0.25515591	3.03236662
житлова нерухомість	1/4 0.25	3 3.00	1 1.00	0.90856030	0.21091984	0.63958629	3.03236662

Обробка  
Наступний Крок

4 Результат

cedar-fast-windshield.glitch.me

### ANP Calculator

- Заповнення альтернатив та критеріїв
- Порівняння критеріїв
- Порівняння альтернатив
- 4 Результат

Альтернативи	Критерії			Глобальні пріоритети
	вартість	тривалість	якість	
	Числові значення вектора пріоритету			
сонячна електростанція	0.08522005	0.20509063	0.70493601	0.50300965
теплічне господарство	0.27055678	0.07825672	0.08414415	0.13441200
житлова нерухомість	0.64422317	0.71665265	0.21091984	0.36257835

## Додаток Е

Посилання на розрахунки у Google Sheets для **Задача 4. Метод аналізу ієрархії для загроз**: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1EBgsu7c0BJzgXpqzoAyLWdZLj3W0F05s/edit?usp=sharing&ouid=11238148262608rtpof=true&sd=true>

## Скріншоти роботи програми для **Задача 4. Метод аналізу ієрархії** для загроз:

The screenshot shows the 'AHP Calculator' interface at the first step: 'Заповнення альтернатив та критеріїв'. The user has selected 11 alternatives (A1 through A11) and 4 criteria (K1 through K4). The interface includes a sidebar with progress indicators for steps 1 through 4, and a 'Наступний Крок' (Next Step) button.

The screenshot shows the 'AHP Calculator' interface at the second step: 'Порівняння критеріїв'. It displays a comparison matrix for the four criteria (K1, K2, K3, K4). The matrix includes pairwise comparison values and calculated priority weights. Below the matrix, the maximum eigenvalue and consistency index are provided.

Критерій	K1	K2	K3	K4	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{max}$	$CI$
K1	1 1.0000	7 7.0000	4 4.0000	4 4.0000	3.25315312	0.58545272	2.45572015	4.19456615
K2	1/7 0.1429	1 1.0000	1/2 0.5000	1/3 0.3333	0.39281465	0.07069277	0.28678165	4.05673242
K3	1/4 0.2500	2 2.0000	1 1.0000	1/4 0.2500	0.59460356	0.10700765	0.45396808	4.24238909
K4	1/4 0.2500	3 3.0000	4 4.0000	1 1.0000	1.31607401	0.23684686	1.02331895	4.32059323

$w = (0.58545272, 0.07069277, 0.10700765, 0.23684686)$   
 $\lambda_{max} = 4.203570221045541$ ,  $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) = 0.06785674034851367$ ,  $RI = 0.9$ ;  $CR = CI/RI = 0.0753963781650152 (< 0.08)$

Обробка    Наступний Крок

cedar-fast-windshield.glitch.me

Оборудование K1

Альтернативы	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Одним количеством внешнего электродвигателя	Нормализованный единичный вектор приоритета	Alt	P	
A1	1 → 8 → 3 → 4 → 2 → 6 → 5 → 4 → 4 → 8 → 9 →	1.00	8.00	3.00	4.00	2.00	6.00	5.00	4.00	4.00	8.00	9.00	4.17033028	0.25916041	3.11810370	12.03158996
A2	1/3 → 1 → 1/7 → 1/3 → 1/5 → 3 → 1/3 → 1/4 → 1/5 → 3 → 4 →	1/3 →	1.00	0.14	0.33	0.30	3.00	0.33	0.25	0.30	4.00	0.51759206	0.03216522	0.42637375	13.25573752	
A3	1/3 → 7 → 1 → 4 → 2 → 6 → 5 → 3 → 3 → 7 → 8 →	0.33	7.00	1.00	4.00	2.00	6.00	5.00	3.00	3.00	7.00	8.00	3.12975815	0.19449524	2.28497099	11.74821027
A4	1/4 → 3 → 1/4 → 1 → 1/5 → 3 → 3 → 1/3 → 1/2 → 3 → 4 →	0.25	3.00	0.33	1.00	0.33	3.00	3.00	0.50	3.00	4.00	1.01076508	0.06281284	0.72033538	11.46736386	
A5	1/2 → 5 → 1/2 → 3 → 1 → 6 → 5 → 2 → 3 → 5 → 7 →	0.50	5.00	0.50	3.00	1.00	6.00	5.00	2.00	3.00	5.00	7.00	2.40792420	0.15523064	1.77184036	11.41424348
A6	1/6 → 1/3 → 3/6 → 1/2 → 1/6 → 1 → 2 → 1/4 → 1/4 → 1/2 → 4 →	0.17	0.33	0.17	0.33	0.17	1.00	2.00	0.33	0.33	0.33	4.00	0.44288899	0.02752283	0.33044337	12.73282480
A7	1/5 → 3 → 1/5 → 1/3 → 1/5 → 1/2 → 1 → 1/5 → 1/4 → 1/3 → 4 →	0.20	3.00	0.33	0.33	0.33	0.50	1.00	0.33	0.33	4.00	0.47324721	0.02940941	0.40368960	13.72654686	
A8	1/4 → 4 → 1/3 → 3 → 1/2 → 4 → 5 → 1 → 2 → 4 → 6 →	0.25	4.00	0.33	3.00	0.50	4.00	5.00	1.00	2.00	4.00	6.00	1.75286796	0.10892997	1.27060477	11.65441805
A9	1/4 → 5 → 1/3 → 2 → 1/3 → 4 → 4 → 1/2 → 1 → 4 → 5 →	0.25	5.00	0.33	2.00	0.33	4.00	4.00	0.50	1.00	4.00	5.00	1.41189236	0.08774044	1.02517705	11.64420280
A10	1/8 → 1/3 → 1/7 → 1/3 → 1/5 → 2 → 3 → 1/4 → 1/4 → 1 → 1/3 →	0.13	0.33	0.14	0.33	0.30	3.00	3.00	0.25	0.25	1.00	0.33	0.40614647	0.02523951	0.34633106	13.72178335
A11	1/9 → 1/4 → 3/9 → 1/4 → 1/2 → 1/4 → 1/4 → 1/6 → 1/5 → 3 → 1 →	0.11	0.25	0.13	0.25	0.14	0.25	0.25	0.17	0.25	3.00	1.00	0.27828161	0.01729349	0.24197598	13.99231477

Оборудование K2

Альтернативы	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Одним количеством внешнего электродвигателя	Нормализованный единичный вектор приоритета	Alt	P	
A1	1 → 7 → 1/3 → 5 → 2 → 8 → 7 → 4 → 3 → 8 → 8 →	1.00	7.00	0.33	5.00	2.00	8.00	7.00	4.00	3.00	8.00	8.00	3.91231302	0.21081112	2.57816924	12.22975927
A2	1/7 → 1 → 1/8 → 1/5 → 1/5 → 2 → 3 → 1/5 → 1/3 → 3 → 6 →	0.14	1.00	0.13	0.20	0.20	2.00	3.00	0.33	3.00	6.00	0.61933793	0.03717303	0.50071070	13.46073215	
A3	3 → 8 → 1 → 6 → 2 → 6 → 7 → 2 → 4 → 7 → 7 →	1.00	8.00	1.00	6.00	2.00	6.00	7.00	2.00	4.00	7.00	7.00	4.04483103	0.24277433	2.98881440	12.31108009
A4	1/5 → 5 → 1/6 → 1 → 1/5 → 2 → 1/2 → 1/4 → 1/5 → 1/2 → 5 →	0.20	5.00	0.17	1.00	0.33	2.00	0.50	0.25	0.33	0.50	5.00	0.60759915	0.03646846	0.52999772	14.53304444
A5	1/2 → 5 → 1/2 → 5 → 1 → 6 → 5 → 2 → 2 → 6 → 8 →	0.50	5.00	0.50	5.00	1.00	6.00	5.00	2.00	2.00	6.00	8.00	2.59542999	0.15577923	1.76887181	11.35499138
A6	1/8 → 1/2 → 3/8 → 1/2 → 3/8 → 1 → 1/2 → 1/5 → 1/5 → 1/2 → 5 →	0.13	0.50	0.17	0.50	0.17	1.00	0.50	0.20	0.20	0.50	5.00	0.40124597	0.02408502	0.29311747	12.17112665
A7	1/7 → 1/3 → 1/7 → 2 → 1/5 → 2 → 1 → 1/4 → 1/4 → 2 → 2 →	0.14	0.33	0.14	2.00	0.33	2.00	1.00	0.25	0.25	3.00	2.00	0.54881810	0.03294038	0.39862152	12.10130132
A8	1/4 → 5 → 1/2 → 4 → 1/2 → 5 → 4 → 1 → 3 → 5 → 9 →	0.25	5.00	0.50	4.00	0.50	5.00	4.00	1.00	3.00	5.00	9.00	2.09291775	0.12561815	1.49821907	11.92072211
A9	1/3 → 3 → 1/4 → 5 → 1/2 → 5 → 4 → 1/3 → 1 → 4 → 8 →	0.33	3.00	0.33	5.00	0.50	5.00	4.00	0.33	1.00	4.00	8.00	1.56018554	0.09364325	1.10547432	11.80517014
A10	1/8 → 1/3 → 1/7 → 2 → 1/6 → 2 → 1/2 → 1/5 → 1/4 → 1 → 2 →	0.13	0.33	0.14	2.00	0.17	2.00	0.30	0.20	0.25	1.00	2.00	0.46069702	0.02745131	0.39320199	12.26929330
A11	1/8 → 1/6 → 1/7 → 1/5 → 1/8 → 1/5 → 1/2 → 1/5 → 1/8 → 1/2 → 1 →	0.13	0.17	0.14	0.20	0.13	0.30	0.50	0.11	0.12	0.50	1.00	0.21735402	0.01305772	0.16782818	12.85279400

Оборудование K3

Альтернативы	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Одним количеством внешнего электродвигателя	Нормализованный единичный вектор приоритета	Alt	P	
A1	1 → 1/5 → 2 → 2 → 1/4 → 3 → 2 → 1/5 → 1/2 → 1/2 → 1/2 →	1.00	0.20	2.00	2.00	0.33	3.00	2.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.72703694	0.04774598	0.64079009	13.42081869
A2	5 → 1 → 5 → 6 → 3 → 7 → 5 → 3 → 3 → 4 → 8 →	1.00	1.00	5.00	6.00	3.00	7.00	5.00	3.00	3.00	4.00	8.00	4.02858095	0.26456500	3.17524509	12.90175776
A3	1/2 → 1/5 → 1 → 4 → 1/2 → 6 → 1/3 → 1/3 → 2 → 3 → 3 →	0.50	0.20	1.00	4.00	0.33	6.00	0.33	0.33	2.00	3.00	3.00	1.04965357	0.06853883	0.91709462	13.38065839
A4	1/2 → 1/6 → 1/4 → 1 → 1/5 → 2 → 1/2 → 1/5 → 1/4 → 1/2 → 2 →	0.50	0.17	0.33	1.00	0.33	2.00	0.30	0.20	0.25	0.50	2.00	0.46274497	0.03039639	0.35578176	11.70756516
A5	4 → 1/3 → 3 → 5 → 1 → 6 → 4 → 2 → 2 → 5 → 6 →	4.00	0.33	3.00	5.00	1.00	6.00	4.00	2.00	2.00	5.00	6.00	2.70872977	0.17788773	2.05971133	11.57871531
A6	1/3 → 1/7 → 3/6 → 1/2 → 1/6 → 1 → 1/3 → 1/8 → 3/6 → 1/2 → 2 →	0.33	0.14	0.17	0.50	0.17	1.00	0.33	0.33	0.17	0.50	2.00	0.32714107	0.02148401	0.26249458	12.21813609
A7	1/2 → 1/5 → 3 → 2 → 1/4 → 3 → 1 → 1/4 → 1/2 → 2 → 3 →	0.50	0.20	0.33	2.00	0.25	3.00	1.00	0.25	0.50	2.00	3.00	0.90597413	0.08949714	0.75762835	12.73886142
A8	5 → 1/3 → 3 → 5 → 1/2 → 8 → 4 → 1 → 2 → 5 → 8 →	5.00	0.33	3.00	5.00	0.50	8.00	4.00	1.00	2.00	5.00	8.00	2.56778755	0.16863177	1.94897870	11.55760116
A9	2 → 1/3 → 1/2 → 4 → 1/2 → 6 → 2 → 1/2 → 1 → 4 → 5 →	2.00	0.33	0.50	4.00	0.50	6.00	2.00	0.50	1.00	4.00	5.00	1.48939813	0.09781118	1.14033697	11.65855437
A10	2 → 1/4 → 1/3 → 2 → 1/5 → 2 → 1/2 → 1/5 → 1/4 → 1 → 1/3 →	2.00	0.25	0.33	2.00	0.30	3.00	0.30	0.20	0.25	1.00	0.33	0.53880609	0.03538448	0.40547086	12.90031332
A11	2 → 1/8 → 1/2 → 1/2 → 1/6 → 1/2 → 1/3 → 1/8 → 1/5 → 3 → 1 →	2.00	0.13	0.33	0.50	0.17	0.50	0.33	0.13	0.20	3.00	1.00	0.42734345	0.02806450	0.40168503	14.31292194

Оборудование K4

Альтернативы	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Одним количеством внешнего электродвигателя	Нормализованный единичный вектор приоритета	Alt	P	
A1	1 → 1/5 → 2 → 2 → 1/4 → 3 → 2 → 1/5 → 1/2 → 1/2 → 1/2 →	1.00	0.20	2.00	2.00	0.33	3.00	2.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.72703694	0.04774598	0.64079009	13.42081869
A2	5 → 1 → 5 → 6 → 3 → 7 → 5 → 3 → 3 → 4 → 8 →	1.00	1.00	5.00	6.00	3.00	7.00	5.00	3.00	3.00	4.00	8.00	4.02858095	0.26456500	3.17524509	12.90175776
A3	1/2 → 1/5 → 1 → 4 → 1/2 → 6 → 1/3 → 1/3 → 2 → 3 → 3 →	0.50	0.20	1.00	4.00	0.33	6.00	0.33	0.33	2.00	3.00	3.00	1.04965357	0.06853883	0.91709462	13.38065839
A4	1/2 → 1/6 → 1/4 → 1 → 1/5 → 2 → 1/2 → 1/5 → 1/4 → 1/2 → 2 →	0.50	0.17	0.33	1.00	0.33	2.00	0.30	0.20	0.25	0.50	2.00	0.46274497	0.03039639	0.35578176	11.70756516
A5	4 → 1/3 → 3 → 5 → 1 → 6 → 4 → 2 → 2 → 5 → 6 →	4.00	0.33	3.00	5.00	1.00	6.00	4.00	2.00	2.00	5.00	6.00	2.70872977	0.17788773	2.05971133	11.57871531
A6	1/3 → 1/7 → 3/6 → 1/2 → 1/6 → 1 → 1/3 → 1/8 → 3/6 → 1/2 → 2 →	0.33	0.14	0.17	0.50	0.17	1.00	0.33	0.33	0.17	0.50	2.00	0.32714107	0.02148401	0.26249458	12.21813609
A7	1/2 → 1/5 → 3 → 2 → 1/4 → 3 → 1 → 1/4 → 1/2 → 2 → 3 →	0.50	0.20	0.33	2.00	0.25	3.00	1.00	0.25	0.50	2.00	3.00	0.90597413	0.08949714	0.75762835	12.73886142
A8	5 → 1/3 → 3 → 5 → 1/2 → 8 → 4 → 1 → 2 → 5 → 8 →	5.00	0.33	3.00	5.00	0.50	8.00	4.00	1.00	2.00	5.00	8.00	2.56778755	0.16863177	1.94897870	11.55760116
A9	2 → 1/3 → 1/2 → 4 → 1/2 → 6 → 2 → 1/2 → 1 → 4 → 5 →	2.00	0.33	0.50	4.00	0.50	6.00	2.00	0.50	1.00	4.00	5.00	1.48939813	0.09781118	1.14033697	11.65855437
A10	2 → 1/4 → 1/3 → 2 → 1/5 → 2 → 1/2 → 1/5 → 1/4 → 1 → 1/3 →	2.00	0.25	0.33	2.00	0.30	3.00	0.30	0.20	0.25	1.00	0.33	0.53880609	0.03538448	0.40547086	12.90031332
A11	2 → 1/8 → 1/2 → 1/2 → 1/6 → 1/2 → 1/3 → 1/8 → 1/5 → 3 → 1 →	2.00	0.13	0.33	0.50	0.17	0.50	0.33	0.13	0.20	3.00	1.00	0.42734345	0.02806450	0.40168503	14.31292194

cedar-fast-windshield.glitch.me

Оборудование K2

Альтернативы	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Одним количеством внешнего электродвигателя	Нормализованный единичный вектор приоритета	Alt	P	
A1	1 → 7 → 1/3 → 5 → 2 → 8 → 7 → 4 → 3 → 8 → 8 →	1.00	7.00	0.33	5.00	2.00	8.00	7.00	4.00	3.00	8.00	8.00	3.91231302	0.21081112	2.57816924	12.22975927
A2	1/7 → 1 → 1/8 → 1/5 → 1/5 → 2 → 3 → 1/5 → 1/3 → 3 → 6 →	0.14	1.00	0.13	0.20	0.20	2.00	3.00	0.33	3.00	6.00	0.61933793	0.03717303	0.50071070	13.46073215	
A3	3 → 8 → 1 → 6 → 2 → 6 → 7 → 2 → 4 → 7 → 7 →	1.00	8.00	1.00	6.00	2.00	6.00	7.00	2.00	4.00	7.00	7.00	4.04483103	0.24277433	2.98881440	12.31108009
A4	1/5 → 5 → 1/6 → 1 → 1/5 → 2 → 1/2 → 1/4 → 1/5 → 1/2 → 5 →	0.20	5.00	0.17	1.00	0.33	2.00	0.50	0.25	0.33	0.50	5.00	0.60759915	0.03646846	0.52999772	14.53304444
A5	1/2 → 5 → 1/2 → 5 → 1 → 6 →															

cedar-fast-windshield.glitch.me

Обробка K4

$w = (0.0656233, 0.20798543, 0.09136709, 0.05557730, 0.18013679, 0.02211028, 0.03524284, 0.17992347, 0.12005489, 0.02755203, 0.01438756)$   
 $\lambda_{max} = 12.063529436933587$   
 $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n(n-1)} = 0.1263529436933587$   
 $RI = 1.51$   
 $CR = CI/RI = 0.083674595992308 < 0.1$

Альтернатива	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Оцінки нормалізовані власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	Aw	v
A1	1	1/4	1/2	2	1/3	5	3	1/4	1/4	3	5	1.01452309	0.0656233	0.78040331	11.88690953
A2	4	1	3	5	2	6	5	1/2	5	6	7	3.21999199	0.20798543	2.64799821	12.73165231
A3	2	1/3	1	3	1/3	5	4	1/3	1/3	5	6	1.41199236	0.09136709	1.09430208	11.97785545
A4	1/2	1/5	1/3	1	1/4	4	3	1/4	1/4	5	6	0.83882096	0.05557730	0.69674266	12.57244786
A5	3	1/2	3	4	1	6	5	2	3	4	6	2.78964728	0.18013679	2.20293790	12.22925002
A6	1/5	1/6	1/5	1/4	1/6	1	1/3	1/5	1/5	1/2	4	0.34166935	0.02211028	0.27516706	12.44520937
A7	1/3	1/3	1/4	1/3	1/5	3	1	1/4	1/4	2	3	0.54466398	0.03524284	0.41571399	11.79568823
A8	4	2	3	4	1/2	5	4	1	2	5	8	2.78900543	0.17992347	2.18949364	12.16830659
A9	4	1/5	3	4	1/3	5	4	1/2	1	4	7	1.85203085	0.12005489	1.53312786	12.77022448
A10	1/3	1/6	1/5	1/5	1/4	2	1/2	1/5	1/4	1	3	0.42576047	0.02755203	0.32962852	11.96022798
A11	1/5	1/7	1/6	1/6	1/6	1/4	1/3	1/8	1/7	1/3	1	0.22233042	0.01438756	0.17784333	12.36105061

cedar-fast-windshield.glitch.me

### AHP Calculator

- Заповнення альтернатив та критеріїв
- Порівняння критеріїв
- Порівняння альтернатив
- Результат

Альтернативи	Критерії				Глобальні пріоритети
	K1	K2	K3	K4	
	Числові значення вектора пріоритету				
	0.58545272	0.07069277	0.10700765	0.23684686	
A1	0.25916041	0.21081112	0.04774598	0.06565233	0.18728772
A2	0.03216522	0.03717303	0.26456500	0.20798543	0.09903026
A3	0.19449524	0.24277433	0.06853883	0.09136709	0.16000434
A4	0.06281284	0.03646846	0.03038939	0.05557730	0.05574721
A5	0.15523064	0.15577923	0.17788773	0.18013679	0.16359285
A6	0.02752283	0.02408302	0.02148401	0.02211028	0.02535151
A7	0.02940941	0.03294038	0.05949714	0.03524284	0.03426027
A8	0.10892997	0.12561815	0.16863177	0.17992347	0.13331521
A9	0.08774044	0.09264325	0.09781118	0.12005489	0.09688895
A10	0.02523951	0.02765131	0.03538448	0.02755203	0.02704331
A11	0.01729349	0.01305772	0.02806450	0.01438756	0.01745837

**Додаток Ж**

Посилання на розрахунки у Google Sheets для **Задача 5. Метод аналізу ієрархії для прийняття рішень**: [https://docs.google.com/spreadsheets/d/1GZez8s35Q4xyU16LvaSVGgM7\\_BQVnxrK/edit?usp=sharing&oid=112381482626085521457&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1GZez8s35Q4xyU16LvaSVGgM7_BQVnxrK/edit?usp=sharing&oid=112381482626085521457&rtpof=true&sd=true)

## Скріншоти роботи програми для **Задача 5. Метод аналізу ієрархії** для прийняття рішень:

**AHP Calculator**

1. Заповнення альтернатив та критеріїв

Альтернатива: A, B, C

Критерій: K1, K2, K3, K4, K5, K6

Наступний Крок

2. Порівняння критеріїв

3. Порівняння альтернатив

4. Результат

**2. Порівняння критеріїв**

Критерій	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{max}$	CI
K1	1	1/3	2	1/5	4	3	1.08148375	0.13494522	0.85755253	6.35481978
K2	3	1	4	1/2	5	4	2.22090615	0.27711990	1.72128955	6.21135319
K3	1/2	1/4	1	1/3	2	2	0.74183638	0.09256475	0.57386796	6.19963830
K4	5	2	3	1	6	5	3.10723251	0.38771379	2.47724837	6.38937387
K5	1/4	1/5	1/2	1/6	1	1/2	0.35737689	0.04459272	0.27618616	6.19352575
K6	1/3	1/4	1/2	1/5	2	1	0.50540724	0.06306363	0.39033591	6.18955681

$\omega = (0.13494522, 0.27711990, 0.09256475, 0.38771379, 0.04459272, 0.06306363)$   
 $\lambda_{max} = 6.256377952429589$ ,  $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) = 0.05127559048591781$ ,  $RI = 1.24$ ,  $CR = CI/RI = 0.041351282649933714 (< 0.1)$

Обробка Наступний Крок

3. Порівняння альтернатив

cedar-fast-windshield.glitch.me

Порівняння альтернатив

**Обробка K1**

Альтернатива	A	B	C	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{\max}$	$\nu$
A	1	1/4	1/7	0.32931688	0.08234198	0.24718910	3.00198151
B	4	1	1/2	1.25992105	0.31502908	0.94571146	3.00198151
C	7	2	1	2.41014226	0.60262894	1.80908095	3.00198151

$w = (0.08234198, 0.31502908, 0.60262894)$   
 $\lambda_{\max} = 3.0019815085356147$   
 $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0.00099075426780737$   
 $RI = 0.58$   
 $CR = CI/RI = 0.0017081970134609828 (< 0.05)$

**Обробка K2**

Альтернатива	A	B	C	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{\max}$	$\nu$
A	1	6	8	3.63424119	0.76924067	2.32179505	3.01829471
B	1/6	1	2	0.69336127	0.14676013	0.44296531	3.01829471
C	1/8	1/2	1	0.39685026	0.08399920	0.25353435	3.01829471

$w = (0.76924067, 0.14676013, 0.08399920)$   
 $\lambda_{\max} = 3.0182947072896305$   
 $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0.009147353644815226$   
 $RI = 0.58$   
 $CR = CI/RI = 0.01577129938761246 (< 0.05)$

**Обробка K3**

$w = (0.21763848, 0.69095909, 0.09140243)$   
 $\lambda_{\max} = 3.0536215758789726$

cedar-fast-windshield.glitch.me

**Обробка K3**

Альтернатива	A	B	C	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{\max}$	$\nu$
A	1	1/4	3	0.90856030	0.21763848	0.66485855	3.05362158
B	4	1	6	2.88449914	0.69095909	2.10992759	3.05362158
C	1/3	1/6	1	0.38157141	0.09140243	0.27910844	3.05362158

$w = (0.21763848, 0.69095909, 0.09140243)$   
 $\lambda_{\max} = 3.0536215758789726$   
 $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0.009147353644815226$   
 $RI = 0.58$   
 $CR = CI/RI = 0.01577129938761246 (< 0.05)$

**Обробка K4**

Альтернатива	A	B	C	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{\max}$	$\nu$
A	1	2	4	2.00000000	0.55842454	1.68548984	3.01829471
B	1/2	1	3	1.14471424	0.31961826	0.96470211	3.01829471
C	1/4	1/3	1	0.43679023	0.12195719	0.36810275	3.01829471

$w = (0.55842454, 0.31961826, 0.12195719)$   
 $\lambda_{\max} = 3.0182947072896305$   
 $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0.009147353644815226$   
 $RI = 0.58$   
 $CR = CI/RI = 0.01577129938761246 (< 0.05)$

**Обробка K5**

$w = (0.09140243, 0.69095909, 0.21763848)$   
 $\lambda_{\max} = 3.0536215758789726$

cedar-fast-windshield.glitch.me

**Обробка K5**

Альтернатива	A	B	C	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{\max}$	$\nu$
A	1	1/6	1/3	0.38157141	0.09140243	0.27910844	3.05362158
B	6	1	4	2.88449914	0.69095909	2.10992759	3.05362158
C	3	1/4	1	0.90856030	0.21763848	0.66485855	3.05362158

$w = (0.09140243, 0.69095909, 0.21763848)$   
 $\lambda_{\max} = 3.0536215758789726$   
 $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0.009147353644815226$   
 $RI = 0.58$   
 $CR = CI/RI = 0.01577129938761246 (< 0.05)$

**Обробка K6**

Альтернатива	A	B	C	Оцінки компонентів власного вектора	Нормалізовані оцінки вектора пріоритетів	$\lambda_{\max}$	$\nu$
A	1	1/2	5	1.35720881	0.34199825	1.03593451	3.02906377
B	2	1	6	2.2942849	0.57690499	1.74746202	3.02906377
C	1/5	1/6	1	0.32182979	0.08109675	0.24564724	3.02906377

$w = (0.34199825, 0.57690499, 0.08109675)$   
 $\lambda_{\max} = 3.029063765798437$   
 $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0.014531883399218515$   
 $RI = 0.58$   
 $CR = CI/RI = 0.02505497137796296 (< 0.05)$

Обробка  
 Наступний крок

cedar-fast-windshield.glitch.me

New Chrome available

### AHP Calculator

- ✓ Заповнення альтернатив та критеріїв
- ✓ Порівняння критеріїв
- ✓ Порівняння альтернатив
- 4 Результат

Альтернативи	Критерії						Глобальні пріоритети
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
	Числові значення вектора пріоритету						
A	0.13494522	0.27711990	0.09256475	0.38771379	0.04459272	0.06306363	0.48658163
B	0.08234198	0.76924067	0.21763848	0.55842454	0.09140243	0.34199825	0.33825415
C	0.31502908	0.14676013	0.69095909	0.31961826	0.69095909	0.57690499	0.17516422