

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра фундаментальної та прикладної математики

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему: «Застосування методології системного аналізу  
до розв'язання неструктурованих проблем»

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1130  
спеціальності 113 прикладна математика  
(шифр і назва спеціальності)

Освітньої програми прикладна математика  
(назва освітньої програми)

А.В. Паюнін

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри фундаментальної та  
прикладної математики, доцент,  
к.ф.-м.н. Леонтєва В.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Доктор технічних наук, професор  
Гоменюк С.І.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет математичний

Кафедра фундаментальної та прикладної математики

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 113 прикладної математики

(шифр і назва)

Освітня програма комп'ютерне моделювання

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри фундаментальної  
та прикладної математики,  
д.т.н., професор

Гребенюк С.М.

(підпис)

“ ” 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Паюніну Андрію Віталійовичу

(прізвище, ім'я та по-батькові)

1. Тема роботи Застосування методології системного аналізу до розв'язання  
неструктурованих проблем

керівник роботи Леонтєва Вікторія Володимирівна, к. ф.-м. н., доцент  
(прізвище, ім'я та по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «21» грудня 2023 р. № 2180-с

2. Строк подання студентом роботи 17.06.2024 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Основні теоретичні відомості  
2. Постановка задачі.  
3. Перелік літератури.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
1. Теоретичні засади та базові концепції системного аналізу.  
2. Методи експертних оцінок систем.  
3. Практичне розв'язання неструктурованих проблем з використанням методів експертного оцінювання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 22.12.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка плану роботи.	25.12.2023	виконано
2.	Збір вихідних даних та інформації.	27.12.2023	виконано
3.	Обробка методичних та теоретичних та практичних джерел.	20.01.2024	виконано
4.	Розробка і написання першого і другого розділу.	20.03.2024	виконано
5.	Розробка і рішення третього розділу.	20.04.2024	виконано
6.	Оформлення і нормоконтроль кваліфікаційної роботи.	22.05.2024	виконано
7.	Захист кваліфікаційної роботи.	19.06.2024	виконано

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

А.В. Паюнін  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

В.В. Леонтєва  
(ініціали та прізвище)

### Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер \_\_\_\_\_  
(підпис)

О.Г. Спиця  
(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра «Застосування методології системного аналізу до розв'язання неструктурованих проблем»: 41с., 7 рис., 6 табл., 16 джерел.

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, НЕСТРУКТУРОВАНІ ТА СЛАБОСТРУКТУРОВАНІ ПРОБЛЕМИ, ЕКСПЕРТНИЙ МЕТОД, ПАРНІ ПОРІВННЯ, МЕТОД РАНЖУВАННЯ, ОПИТУВАННЯ ТА АНКЕТУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – неструктуровані проблеми, які потребують системного підходу до аналізу та прийняття рішень.

Мета роботи: розробка та вдосконалення методологічних підходів до неструктурованих проблем з використанням методу експертних оцінок.

Метод дослідження – аналітичний.

У дипломній роботі описано про застосування системного аналізу та його концепції, розглянуто основні поняття теорії прийняття рішень, встановлено методологічні засади неструктурованих проблем. Розглянуто та описано підходи до рішення неструктурованих задач методами експертних оцінок. На основі цього матеріалу показано аналітичні підходи до вирішення задач, наведені приклади для використання практичних завдань.

Результати можуть бути використані у дослідженнях неструктурованих проблем.

## **SUMMARY**

The bachelor's qualification work «An application of a system analysis methodology to solving unstructured problems»: 41 pages, 7 figures, 6 tables, 16 sources.

**SYSTEM ANALYSIS, DECISION MAKING, UNSTRUCTURED AND WEAKLY STRUCTURED PROBLEMS, EXPERT METHOD, PAIRED COMPARISONS, RANKING METHOD, SURVEYS AND QUESTIONNAIRES.**

The object of research is unstructured problems that require a systematic approach to analysis and decision-making.

The aim of the study is development and improvement of methodological approaches to unstructured problems using the method of expert evaluations.

The method of research is analytical.

The thesis describes the application of system analysis and its concepts, considers the basic concepts of decision-making theory, and establishes the methodological foundations of unstructured problems. Approaches to solving unstructured problems using expert evaluation methods are considered and described. On the basis of this material, analytical approaches to solving problems are shown, and examples for the use of practical problems are given.

The results can be used in research on unstructured problems.

# ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу .....	2
Реферат.....	4
Abstract.....	5
Вступ.....	7
1 Теоретичні засади та базові концепції системного аналізу.....	9
1.1 Предмет системного аналізу та його методологічні засади .....	9
1.2 Загальна теорія систем та їх класифікація.....	16
2 Методи експертних оцінок систем.....	20
2.1 Неструктуровані проблеми та принципи їх рішення.....	20
2.1.1 Метод Делфі.....	23
2.1.2 Метод виключення експертних думок.....	23
2.1.3 Метод ранжування.....	25
2.2 Сутність експертного методу та його властивості.....	28
3 Практичне розв'язання неструктурованих проблем з використанням методу експертних оцінок.....	38
3.1 Практичне застосування методу Делфі.....	38
3.2 Практичне застосування методу парних порівнянь.....	44
Висновки.....	47
Перелік посилань.....	49

## ВСТУП

У контексті сучасного розвитку науки і технологій, вивчення та застосування системного аналізу у прийнятті рішень набуває особливої актуальності. Існують такі проблеми, які вирішити неможливо навіть використовуючи математику і тому для їх вирішення зазвичай використовують методи експертних оцінок. Метод експертних оцінок має вагомий вплив на прийняття рішень та його можна використовувати у багатьох сферах науки та у повсякденному житті.

Актуальність теми полягає у дослідженні неструктурованих проблем і способу їх вирішення методами експертних оцінок.

Метою даної дипломної роботи є розробка та вдосконалення методологічних підходів до неструктурованих проблем з використанням методу експертних оцінок.

Основним завданням є інтеграція цих методів для підвищення ефективності та точності прийнятих рішень у неструктурованих проблемах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- здійснити методологічний підхід до застосування системного аналізу;
- дослідити теоретичні основи прийняття рішень в умовах невизначеності;
- проаналізувати метод експертних оцінок та його застосування в системному аналізі;
- розробити практичну інтеграцію експертних оцінок у процес прийняття рішень неструктурованих проблем.

Предметом дослідження є практичний та теоретичний підхід до дослідження неструктурованих проблем.

Об'єктом дослідження є неструктуровані проблеми, які потребують системного підходу до аналізу та прийняття рішень.

Наукова новизна полягає у дослідженні нового методологічного підходу до інтеграції методу експертних оцінок у процес системного аналізу та

прийняття рішень. Запропонована практична частина дозволяє підвищити точність та обґрунтованість рішень за рахунок залучення знань і досвіду експертів.

За результатами дослідження було проаналізовано літературу таких авторів: Наконечний О.Г., Гребінник І.В., Романова Т.Є., Тевяшев А.Д., Панкратова Н.Д.

Структура роботи складається з трьох розділів.

У першому розділі було представлено методологічний підхід системного аналізу та його можливості застосування в теорії прийняття рішень.

Другий розділ присвячено характеристиці неструктурованих проблем та методиці їх вирішення. Було описано методи експертних оцінок за допомогою яких можна вирішити такі проблеми.

Третій розділ є практичною частиною роботи. У ньому представлено дві задачі, які мають неструктуровані проблеми та два різні методи експертних оцінок, якими можна скористатися для вирішення даних проблем.

Кваліфікаційна робота спрямована на вдосконалення підходів до системного аналізу та прийняття рішень, що дозволяє більш ефективно вирішувати складні завдання у різних галузях науки з урахуванням практичних знань.



# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА БАЗОВІ КОНЦЕПЦІЇ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Для більш детального розуміння системного аналізу та його концепцій у підрозділах даного розділу використаємо методологічний підхід. Проаналізуємо відмінність системного підходу від системного аналізу. Представимо основні принципи системного аналізу та базові основи. Досліджуючи та поринаючи у світ системного аналізу покажемо, які бувають проблеми в прийнятті рішень.

На мою думку, цікавим є те, що концептуальний апарат системного аналізу базується саме на його ролі у структурі знань.

## 1.1 Предмет системного аналізу та його методологічні засади

Предметом системного аналізу виступає саме його роль у структурі наукових знань, він практично реалізує дослідження явищ для розв'язання неструктурованих проблем. Концептуальний апарат, методи і прийоми системного аналізу базуються на принципах досліджень, які адаптовані до конкретних завдань.

Однак, системний підхід і системний аналіз є різними науковими напрямками. Системний підхід виступає як фундамент для ідей та філософської основи для системного аналізу.

Системний аналіз не тільки застосовує ідеї та концепції системного підходу, але й надає їм конкретного змісту та інтерпретації. В історичній частині системний аналіз є правонаступником дослідження операцій – напрямку кібернетики, заснованого на методах оптимального математичного програмування, математичної статистики та теорії ігор.

Опираючись на те, що операційні методи раніше були недостатньо ефективними та надійними, виникнення системного аналізу було реакцією прикладних наук на загальну потребу вирішення неструктурованих проблем.

Однак, сьогодні методи теорії операційного дослідження залишаються методологічною основою системної аналітики. Зараз накопичено значний досвід практичного використання методології системного аналізу для вирішення завдань різного рівня важливості.

В процесі свого розвитку системний аналіз вийшов за межі методу, що «допомагає керівнику обирати найкращий курс дій» у складних ситуаціях, і нині є міждисциплінарним науковим напрямком, а саме [15, с. 270]:

- концепції та принципи формулювання та вирішення практичних задач на основі системної ідеології;
- способи інтеграції методів та результатів досліджень щодо спеціальних дисциплін у практичну та технологічну частину, спрямовану на вирішення проблеми, що виникла;
- моделі комплексного дослідження для проектування різних системних об'єктів.

Об'єктом системного аналізу є утилітарні проблеми різного ієрархічного рівня, пов'язані зі створенням нових та вдосконаленням існуючих організаційних, технологічних, концептуальних, інформаційних, економічних, військових систем.

До таких проблем відноситься [2, с. 412]:

- формування соціально–економічної політики держави, визначення стратегії розвитку країни, регіону, міста або району;
- планування розвитку систем озброєння у контексті змін військово–політичної ситуації та обґрунтування тактико–технічних вимог до нових зразків озброєння і військової техніки;
- обґрунтування методів комплексного вирішення глобальних і регіональних протиріч економічного, політичного, екологічного та техногенного характеру;
- техніко–економічне обґрунтування та проектування систем різного функціонального призначення;

- удосконалення організаційно–управлінських структур установ, підприємств, фірм та промислових об'єднань в умовах нових форм господарювання;

- вибір стратегії та тактики піар–кампаній і рекламних заходів для просування кандидатів у різні органи влади, а також товарів та послуг на нові ринки;

- розробка бізнес–планів і обґрунтування маркетингових стратегій розвитку підприємств та фірм з урахуванням конкуренції, нестабільності ринків збуту продукції, економічних криз та фінансових дефолтів.

З розширенням предметної області та об'єкта системного аналізу значно змінився тип користувача цієї теорії. Якщо раніше системний аналіз в основному служив керівникам високого рівня, то в останні роки до них приєдналися інженери проєктів, технологи виробництва, науковці, менеджери малих та середніх підприємств.

Загалом усі ті спеціалісти, чия діяльність пов'язана з вирішенням технічних, наукових, фінансових та інших системних проблем локального або особистісного рівня.

Також, цей напрямок все більше привертає увагу фахівців гуманітарних галузей знань (соціологів, філологів, юристів, політологів, економістів), які бачать у ньому не лише інструмент для вирішення різних проблем, але й ефективний засіб міждисциплінарної комунікації.

Це особливо примітно, оскільки традиційно таким засобом виступала філософія, точніше її операційний компонент – теорія філософії. Проте за останні десятиліття вона втратила свої позиції у цьому важливому аспекті. У результаті виник певний вакуум у засобах міждисциплінарної комунікації, який зараз заповнюється системною ідеологією.

На початкових етапах системного аналізу відомий американський експерт у галузі операційних досліджень Г. Саймон запропонував класифікацію, згідно з якою всі науково–дослідницькі проблеми поділяються на три категорії: добре структуровані або кількісно сформульовані завдання, де основні залежності

визначені настільки чітко і повністю, що їх можна виразити числовими або символічними показниками, що дозволяє отримати кількісні оцінки. Ці завдання є предметом досліджень у теорії операцій і різних її математичних розділах, таких як теорія масового обслуговування, теорія марковських процесів, теорія ігор, математичне програмування [1, с. 280].

Тому, узагальнюючи досвід наукових досліджень, можна виділити дев'ять ознак, що дозволяють у сукупності ідентифікувати проблеми цього класу (рис. 1.1).

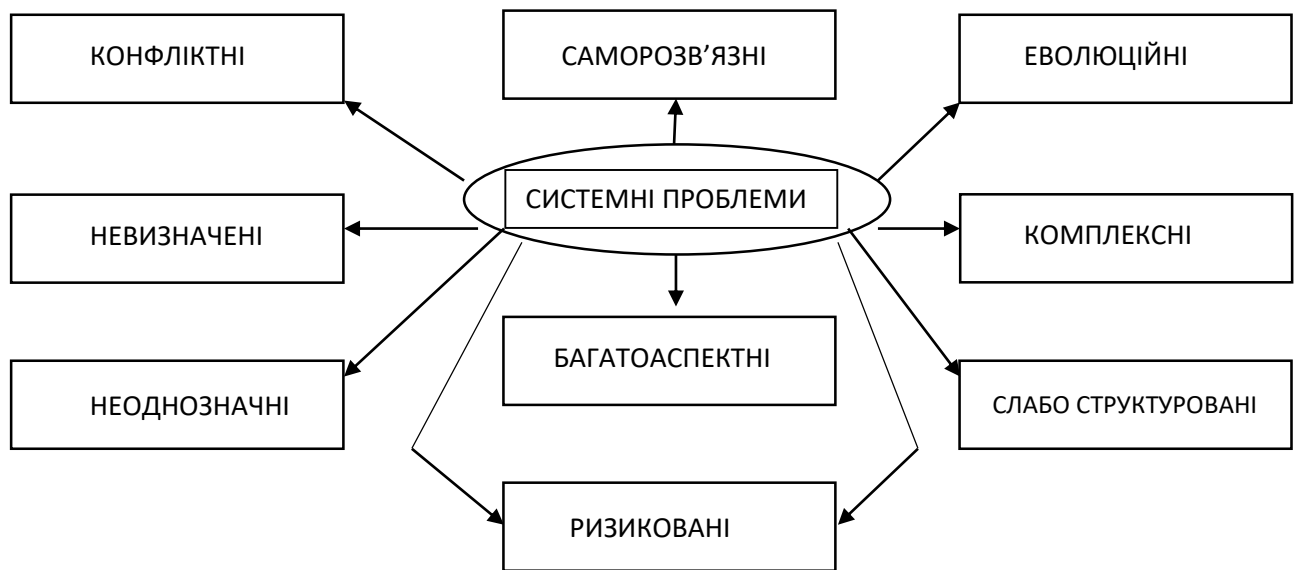


Рисунок 1.1 – Зображення системних проблем

– Неструктуровані, або якісно виражені проблеми, які містять лише словесні описи ключових аспектів об'єкта вивчення, його характеристик і ознак, без відомих кількісних залежностей між ними. Ці завдання становлять інтерес для гуманітарних наук – соціології, психології, економіки, політології, юриспруденції та інших.

– Слабо структуровані проблеми, що включають як якісні, так і кількісні елементи, причому якісні, невизначені сторони мають тенденцію переважати. Ці завдання є основним об'єктом системного аналізу. Класифікація, запропонована Саймоном, відображає важливий аспект системних проблем – їх переважно

якісний, неповністю формалізований характер, проте не розкриває їх внутрішнього змісту.

Тому варто вказати інші важливі особливості цих проблем. Конфліктність. Системні проблеми виникають із суперечностей між природним і суспільним прагненням до розвитку та обмеженими можливостями практичного здійснення цих прагнень.

Суперечності проявляються як явні або приховані конфлікти різного масштабу і важливості, які можуть перерости в кризу. Іншими словами, проблеми такого типу мають конфліктну природу. Тому системні проблеми відзначаються компромісним характером їхнього вирішення, що пов'язано з багатофакторністю і множинністю критеріїв якості. Їхнє вирішення фактично відбувається шляхом врегулювання протиріч у динаміці їх розвитку і пошуку компромісу між бажанням досягти певних цілей і можливостями для цього.

– Невизначеність. Динаміка системних проблем може бути описана лише можливими сценаріями розвитку подій, які не містять вичерпних даних щодо обставин, що супроводжують цю проблему, її зв'язків з іншими проблемами та ресурсів, необхідних для її вирішення. Заздалегідь врахувати всі ситуації, з якими доведеться зіткнутися під час вирішення системної проблеми, неможливо.

Досвід науково–дослідних робіт показує, що попередньо виявлена частина системної проблеми становить не більше 5–10% від загального обсягу інформації, необхідної для її вирішення, тоді як решта інформації починає з'являтися лише у процесі дослідження.

Крім того, для системних проблем характерний широкий спектр неочевидних способів та прийомів їх вирішення, але повний набір можливих варіантів не може бути визначений заздалегідь.

Вирішення системної проблеми часто пов'язане з переглядом традиційних уявлень про природу речей і пошуком нових напрямків дій, що виходять за межі звичайного розуміння фізичних, біологічних та соціальних процесів.

– Неоднозначність. Системна проблема зазвичай має декілька варіантів вирішення, які важко впорядкувати за перевагою. У системній проблематиці

існує область толерантності, доступна інтуїтивному сприйняттю, але недоступна для наукових методів. Тому інтуїція і наукова творчість грають значну роль у системному аналізі, виступаючи джерелом нових ідей та способів вирішення системних протиріч.

– Ризик. Вирішення системної проблеми потребує певних ресурсів (фінансових, матеріальних, інформаційних та інших), вкладення яких супроводжується елементами ризику, зумовленими протидією з боку зовнішніх і внутрішніх сил. Протидія об'єктивна і пов'язана з тим, що будь-який варіант вирішення системної проблеми відповідає інтересам одних суб'єктів і обмежує інтереси інших.

– Багатоаспектність. Системні проблеми охоплюють безліч різних аспектів тієї сутності, де вони виникають і розвиваються, причому між цими аспектами існують взаємозв'язки. Наприклад, у випадку соціальних проблем розвитку суспільства до аналізу залучаються гуманітарні, економічні, політичні, етнічні та інші пов'язані питання. Водночас прагнення врахувати всі аспекти робить проблему величезною і важко вирішуваною. В просторі параметрів будь-якої системної проблеми існує область «золотої середини», пошук якої є важливим завданням системного аналізу.

– Комплексність. Системні проблеми зазвичай торкаються інтересів багатьох наукових дисциплін (математики, фізики, хімії, біології, кібернетики, соціології тощо), проте жодна з них окремо не може запропонувати ефективні методи їх цілісного вирішення. Це пояснюється вузькою спеціалізацією традиційних наук, які обмежують свої інтереси. Системний аналіз базується на іншій концепції — науково-практичні інтереси не повинні обмежуватися однією теорією, якою б ефективною вона не була. Ефективне вирішення системної проблеми можливе лише за умови застосування комплексу наукових методів і знань, які охоплюють всю різноманітність аспектів досліджуваного об'єкта. Для цього потрібен механізм, який здатний керувати складовими, узгоджувати результати досліджень і концентрувати зусилля на важливих напрямках. Виконання цієї функції є основним призначенням системного аналізу.

– Само розв'язність полягає у здатності вирішення проблем природним чинном, тобто не використовуючи наукові підходи. Головна ціль аналізу систем полягає у вивченні конструктивних способів і технологій вирішення проблем, які виключають негативний розвиток подій у даній сфері.

– Еволюційність – системна проблема є продовженням проблеми із минулого та одночасно породженням нових проблем.

Системний аналіз, використовуючи принципи системного підходу, формує контекст або дослідницьке поле, де спеціальна наука вивчає характер, стан і відповідність (чи невідповідність) існуючих або створюваних методологічних засобів до специфічних завдань дослідження у систему знань та методів із чіткою цільовою спрямованістю та керованою ієрархічною структурою при вирішенні системної проблеми.

Координуюча та інтегруюча роль системного аналізу у структурі наукових дисциплін часто стає джерелом конфліктів між фахівцями у спеціальних галузях знань та системними аналітиками. Ці конфлікти, як правило, пов'язані не з науковими, а з організаційними аспектами взаємовідносин у дослідницькому колективі.

Системний аналіз в сучасній інтерпретації є науковою дисципліною, що спрямована на вирішення системних завдань, які виникають у різних сферах людської діяльності, шляхом об'єднання окремих наукових знань та методів у цілісний технологічний процес комплексного дослідження, заснований на системній ідеології [16, с. 360].

Таким чином, він на практиці втілює основний принцип системного підходу до вивчення явищ: системну проблему можна вирішити лише тоді, коли протиставити їй відповідний за складністю керований та координований комплекс наукових методів і знань, що охоплює найбільш важливі аспекти явищ, які спричинили виникнення та розвиток цієї проблеми.

Спираючись на сучасні комп'ютерні технології, системний аналіз все більше набуває рис інформаційної технології, необхідної як для індивідуумів, так і для суспільства в цілому, для вирішення виникаючих соціальних,

економічних, технічних та інших проблем, де відбулися суттєві зміни до його основних концепцій.

## 1.2 Загальна теорія систем та їх класифікація

Фундаментальним концептом системного аналізу і таких основоположних теоретичних напрямків, як теорія систем, кібернетика та дослідження операцій, є поняття «система». Незважаючи на очевидність і важливість цього терміну для наукових досліджень, досі не існує однозначного визначення. У різних визначеннях поняття «система» міститься багато спільного, тому краще використовувати найбільш загальне [6, с. 55–70]:

- об'єкт, що складається з множин під об'єктів;
- спостерігач як суб'єкт для дослідження;
- завдання, яке визначає взаємозв'язок між спостерігачем та об'єктом;
- наявність зв'язку між об'єктом, спостерігачем та завданням через мову описування. Покажемо це схематично (рис. 1.2).

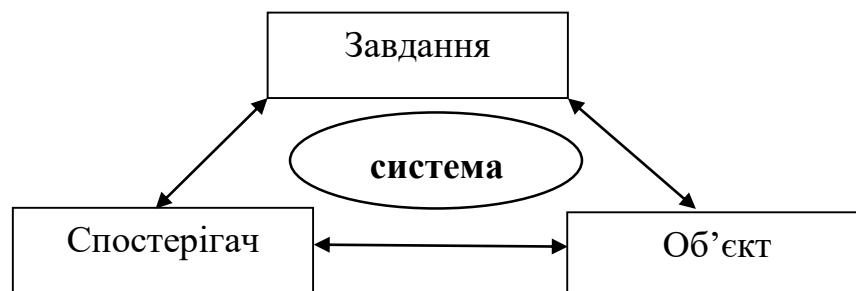


Рисунок 1.2 – Умови існування системи

Тоді визначення системи можна представити таким чином:

$$S \rightarrow_l^n \Omega(e, r)^p, \quad (1.1)$$



система  $S$  показує властивості під об'єктів  $e$  та їх співвідношення  $r$  для спостерігача  $n$  по завданню  $p$  в мові опису  $l$ , де  $S$  — система,  $n$  — спостерігач,  $l$  — мова описування,  $p$  — завдання,  $e$  — множина під об'єктів,  $r$  — множина відношень між ними.

Кожен з цих підходів вимагає відповідну наукову інструментарію для розв'язання різних видів завдань.

Системи є складовою частиною нашого оточення: вони представлені різноманітними об'єктами та процесами, включаючи живі організми і технічні пристрої. Підсистеми об'єднують елементи, які спільно виконують операцію для досягнення цілі системи.

Над система включає досліджувану систему як частину ширшої системи. Елементи системи виконують специфічні функції і взаємодіють з іншими елементами, впливаючи на поведінку системи. Враховуючи, що система має різні складові та між різними системами існують взаємозв'язки, що забезпечують їх взаємодію. Такі зв'язки можуть включати обмін матеріалами, енергією або інформацією між складовими системи або між самими системами.

Також, система може мати зв'язки як всередині себе, так і з зовнішнім середовищем. Ці зв'язки можуть бути як прямими, так і зворотними. Ієрархічний підхід дозволяє представити складні системи через їх складові частини – від підсистем до окремих елементів. Структуру системи можна представити графічно, у вигляді матриць або іншими способами (рис. 1.3).

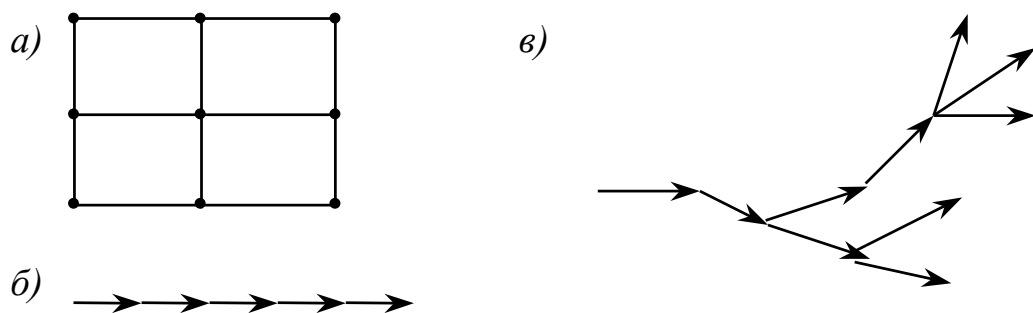


Рисунок 1.3 – Графи у матричній (а), лінійній (б), деревоподібній (в) структурі

Ієрархія в системі розуміється, як упорядковане розміщення підсистем або складових від вищого до нижчого рівня (рис. 1.4). Функція виступає як основний фактор утворення системи, але існує кілька підходів до її визначення.

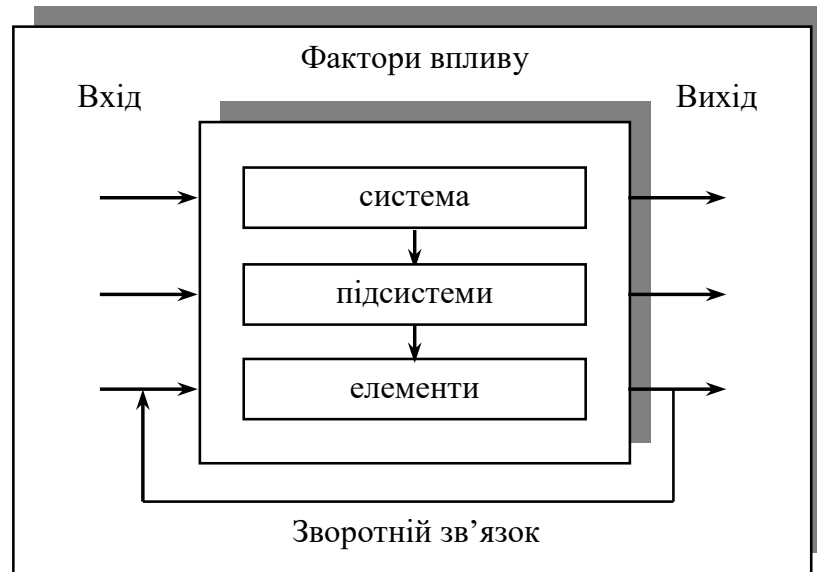


Рисунок 1.4 – Графічне зображення системи

Стан системи відображається через кількісні та якісні характеристики її внутрішніх параметрів на даний момент. Поведінка або рух системи визначається її функціонуванням та змінами стану протягом часу.

Рівновага означає, що система може тримати свій стан тривалий період, навіть при впливі зовнішніх факторів.

Стійкість показує, наскільки швидко система повертається до рівноважного стану після впливу зовнішніх змін. Управління системою важливе для забезпечення її спрямованої дії в умовах змін.

Системи, які керуються, відомі як кібернетичні. Взаємодія системи з оточуючим середовищем показує, що середовище надає ресурси для системи та споживає її продукти. Системи формуються для вирішення проблемних ситуацій або невдоволених потреб. Існують природні та штучні системи, відкриті та замкнені, статичні та динамічні, детерміновані та стохастичні, а також системи різної складності, від простих до дуже складних.

Існує розрізнення між великими системами, які через свої розміри стають складними у моделюванні, хоча часто ці поняття у літературі змішуються.

Соціально–економічні системи, такі як міста або організації, є складними структурами, що включають економічні, виробничо–технічні та соціальні складові, які мають різні цілі.

Аналіз різних визначень терміну «система» показує, що можна виділити основні групи властивостей, що притаманні системам, які описують їх сутність, зв'язок з зовнішнім середовищем, цільовий спрямованість та параметри розвитку.

Система — це цілісна сукупність елементів, але не компоненти створюють ціле, а навпаки, при розгляді цілого виявляються компоненти системи. Не адаптивність системи виражається у тому, що властивості системи не зводяться до властивостей окремих елементів, а сукупне функціонування взаємопов'язаних елементів породжує нові функціональні властивості.

Синергетика вивчає взаємозв'язки між елементами систем, які утворюються завдяки інтенсивному обміну речовинами та енергією з навколишнім середовищем.

В складних системах спостерігається погоджена поведінка підсистем, що призводить до зменшення ентропії. Ієрархічність системи полягає у різноманітності компонентів та зв'язків, складності поведінки та управління системою.

Взаємодія системи з оточуючим середовищем є ключовою для формування та прояву її властивостей. Система змінюється під впливом факторів, але зберігає при цьому свою якісну визначеність та стійкість.

Принципи системного підходу включають принцип системності та принцип ізоморфізму. Обидва ці принципи підкреслюють наявність загальних системних закономірностей, але вони не виключають специфіки будови, функціонування та руху систем різних типів.

Отже, цілю теоретичного поняття «системного аналізу» є знаходження принципів для різних складних об'єктів або неструктурованих, який базується на підґрунті встановлення емпіричними дослідженнями їх ізоморфізму.

## 2 МЕТОДИ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК СИСТЕМ

Даний розділ має теоретичний зміст щодо неструктурованих проблем та їх принципів вирішення. Неструктуровані проблеми використовуються не тільки у математиці, а й в повсякденному житті. Такі задачі набирають обертів, але вирішити їх можна тільки методами експертних оцінок.

### 2.1 Неструктуровані проблеми та принципи їх рішення

Прийняття рішень означає обирати найбільш переважний варіант з доступних альтернатив або впорядковувати їх. Це може бути вибір варіантів або більш складне розподіл ресурсів, таких як технічне обладнання, людські ресурси, частотні, часові та просторові діапазони, канали зв'язку, фінансові та нематеріальні активи, енергія та інше.

Задача з визначеною множиною альтернатив  $\Omega$  та принципом оптимальності ОП відома як загальна задача оптимізації. Головна мета полягає у виборі множини «найкращих» альтернатив ОП( $\Omega$ ). У процесі вирішення загальних завдань прийняття рішень, зазвичай, беруть участь три основні групи: особи, які вирішують (ОВ), експерти (Е) та консультанти (К).

ОВ – це особа або колективний орган, наприклад, науковий заклад чи парламент, які мають чітку мету, що визначає завдання та пошук рішення. Вони також визначають, які методи припустимі (чи не припустимі) для досягнення мети.

Експерти – це фахівці у відповідній галузі, які мають інформацію про проблему, але не несуть безпосередньої відповідальності за результати її вирішення. Експерти допомагають ОВ на всіх етапах постановки та вирішення завдання.

Консультанти (аналітики, дослідники) – це спеціалісти у теорії прийняття рішень, які розробляють модель (математичну, інформаційну) завдання прийняття рішень, процедури прийняття рішень та організують роботу експертів.

Експерти, відповідаючи на поставлені питання, надають інформацію, яка аналізується та узагальнюється. Кожен метод експертних оцінок складається з процедур для збору евристичної інформації та її обробки за допомогою математико–статистичних методів. Представимо схему прийняття рішень (рис. 2.1).

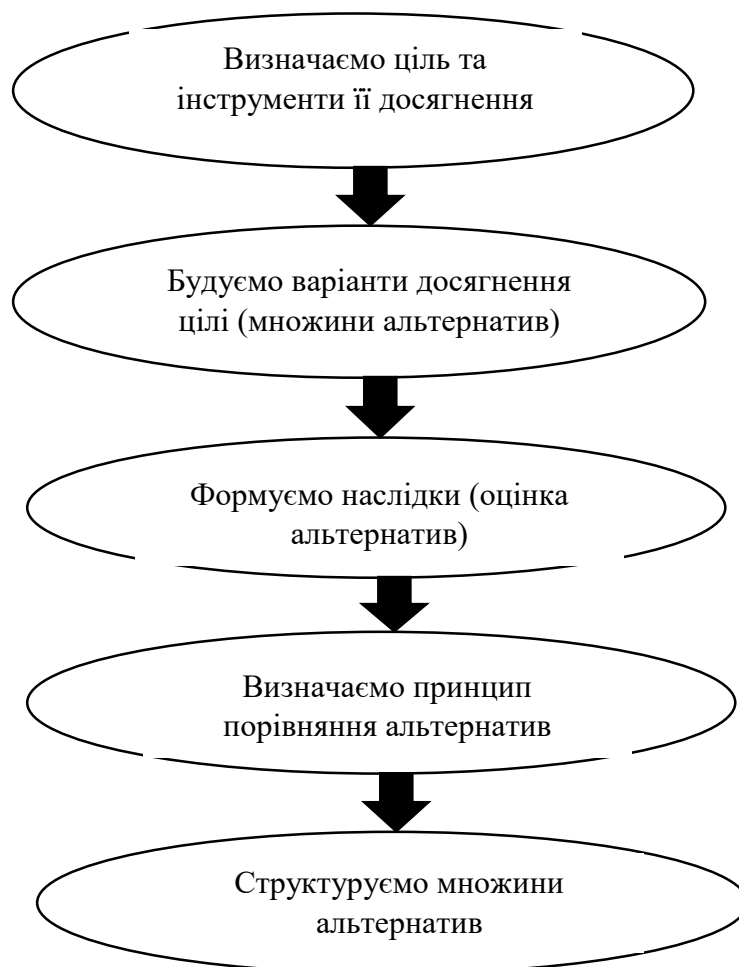


Рисунок 2.1 – Структурована схема прийняття рішень

Для вирішення проблем такого роду ефективно використовувати методи експертних оцінок. Ці методи використовуються, коли математична

інтерпретація проблеми складна або неможлива у вирішені, або коли її реалізація потребує значних зусиль та ресурсів. Вони базуються на досвіді, порадах та інтуїції експертів, що виконують функцію консультантів.

Процес підготовки та проведення експертизи включає такі етапи [8, с. 256]:

- визначення етапів експертизи;
- створення групи фахівців;
- створення групи експертів;
- розробка процедур експертизи;
- збір та аналіз експертної інформації;
- обробка інформації від експертів;
- аналіз дослідження показників експертизи та прийняття рішень.

При формуванні групи експертів необхідно враховувати їх індивідуальні характеристики:

- відповідність;
- креативність;
- конструктивність;
- вплив факторів;
- відношення до експертизи;
- самокритичність.

Усі методи експертних оцінок доцільно розбити на 2 класи [9, с. 347]:

– Методи формування індивідуальних експертних оцінок, причому окремий експерт може використовуватися: для отримання інформації типу інтерв'ю, вільна бесіда, бесіда за принципом питання–відповідь, перехресний допит; для збору вихідних даних у методі парних порівнянь та інших; для консультацій ЛПР та системних аналітиків.

– Методи формування колективних експертних оцінок, причому група експертів може використовуватися: для колективної роботи за круглим столом, для збору вихідних даних у методі Делфі, для проведення ділової гри.

Методи експертних оцінок для розв'язання неструктурованих проблем є ключовими інструментами для прийняття рішень в умовах невизначеності.

### **2.1.1 Метод Делфі**

Даний метод передбачає багатоетапне опитування групи експертів, яке проводиться анонімно. Після кожного етапу узагальнені результати повертаються експертам для повторного аналізу і коригування своїх оцінок. Процедура повторюється кілька разів, доки не буде досягнуто консенсусу.

Основні етапи:

- формування групи експертів (n);
- формулювання проблеми і підготовка анкети;
- проведення першого туру опитування;
- аналіз результатів;
- повторні тури опитування;
- завершення процесу.

### **2.1.2 Метод виключення експертних думок**

Методика отримання експертних знань складається з кількох етапів і передбачає діалог з експертом. На першому етапі здійснюється структуризація предметної галузі. Наприклад, у сфері медицини під час діалогу з експертом визначаються основні ознаки захворювань, симптоми (значення ознак) та ступені розвитку захворювань. Як результат, усі можливі пацієнти описуються комбінаціями симптомів за всіма ознаками.

Перший етап включає такі кроки:

- обговорення постановки завдання та формулювання якості (G).
- виділення експертом множини критеріїв (K).
- побудова шкал критеріїв, перевірка того, що оцінки на шкалах упорядковані за зменшенням характерності властивості (G).

– виділення експертом множини класів рішень (С).

Для створення бази експертних знань у розглянутій галузі експерт повинен визначити захворювання для кожної комбінації симптомів.

Це означає, що він має зарахувати кожен об'єкт до одного із зазначених класів. При цьому аналізується множина (Y), з якої видаляються випадки, що не зустрічаються в реальному житті через не поєднання деяких ознак.

Другий етап методики полягає в експертній класифікації, яка передбачає пред'явлення експерту послідовності комбінацій значень ознак.

Цей етап є тривалою процедурою, оскільки кількість можливих комбінацій ознак зазвичай дуже велика. Тривала рутинна робота може знижувати увагу експерта і призводити до помилок.

Тому методика передбачає виділення зі складного завдання класифікації спрощених завдань, що містять лише два значення для кожної ознаки. Розв'язання таких спрощених завдань відбувається значно швидше, що дозволяє отримати більш надійні результати.

Правила, отримані в результаті розв'язання спрощених завдань, вводяться в систему, і експерт вирішує завдання у повному обсязі.

У ході класифікації може виявитися, що деякі комбінації значень ознак практично нереалізовані. В такому випадку об'єкти з такими комбінаціями виключаються з предметної галузі. Класифікація завершується, коли всім невиключеним об'єктам буде призначено клас (діагноз).

Третій етап методики полягає у перевірці меж класів. Оскільки експерт може помилятися, необхідно перевірити призначений клас, для чого кожен граничний елемент повторно пред'являється експерту.

На четвертому етапі отримані межі класів перетворюються на експертні вирішальні правила спеціального виду.

Вирішальні правила мають вигляд дворівневого дерева, де на першому рівні знаходяться значення ключових ознак, а на нижньому рівні – комбінації значень другорядних ознак. Виявлені правила відповідають неявним експертним знанням.



У результаті застосування цієї методики отримується повна та несуперечлива база експертних знань у заданій галузі. Найкраще ця методика застосовна до слабо структурованих областей, таких як медицина.

### 2.1.3 Метод ранжування

Мета цього методу – отримати ранжування альтернатив за результатами одноразового опитування експертів.

Кожен експерт дає своє значення ранжування альтернатив, для еквівалентних альтернатив і ранг встановлюється як середнє арифметичне. Результуючий ранг визначається сумою рангів:

$$R_{rang} = \sum_{i=1}^n R_{ij}; \quad (2.1)$$

де  $R_{ij}$  – ранг,  $i$  – присвоєння значення  $i$ -м експертом,  $j$  – присвоєння значення альтернатив. Значення  $k_{ij}$  визначається так:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \omega_i > \omega_j; \\ 0, \text{ якщо } \omega_i \approx \omega_j; \\ -1, \text{ якщо } \omega_i < \omega_j; \end{cases} \quad (2.2)$$

де  $\omega_i, \omega_j$  – порівняні альтернативи. Загальна матриця матиме вид:

$$A = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \sum_{x=1}^N a_{11}^x & \sum_{x=1}^N a_{12}^x & \dots & \sum_{x=1}^N a_{1n}^x \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline \sum_{x=1}^N a_{n1}^x & \sum_{x=1}^N a_{n2}^x & \dots & \sum_{x=1}^N a_{nn}^x \\ \hline \end{array}$$

При цьому, діагональні елементи матриці дорівнюють 0.

Цей метод полягає в розташуванні об'єктів у порядку зменшення або збільшення певної властивості, притаманної цим об'єктам.

Зазвичай ступінь, з якою та чи інша властивість притаманна об'єктам, не піддається кількісному вимірюванню і оцінюється лише якісно.

Наприклад, думки семи експертів про п'ять об'єктів експертизи можна виразити таким чином:

Таблиця 2.1 – Результати експертизи

№ експерта	Дані експертизи
1	$E_5 \rightarrow E_4 \rightarrow E_3 \rightarrow E_2 \rightarrow E_1$
2	$E_4 \rightarrow E_5 \rightarrow E_3 \rightarrow E_2 \rightarrow E_1$
3	$E_5 \rightarrow E_4 \rightarrow E_3 \rightarrow E_1 \rightarrow E_2$
4	$E_5 \rightarrow E_4 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3 \rightarrow E_1$
5	$E_5 \rightarrow E_4 \rightarrow E_1 \rightarrow E_3 \rightarrow E_2$
6	$E_3 \rightarrow E_4 \rightarrow E_5 \rightarrow E_2 \rightarrow E_1$
7	$E_5 \rightarrow E_3 \rightarrow E_4 \rightarrow E_2 \rightarrow E_1$

Результати опитування експертів можна представити у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.2 – Результати опитування експертів

Показники	експерти							Суми рангів
	1	2	3	4	5	6	7	
$E_1$	5	5	4	5	3	5	5	32
$E_2$	4	4	5	3	5	4	4	29
$E_3$	3	3	3	4	4	1	2	20
$E_4$	2	1	2	2	2	2	3	14
$E_5$	1	2	1	1	1	3	1	10

Результат багатократного виміру має вигляд:

$$E5 \rightarrow E4 \rightarrow E3 \rightarrow E2 \rightarrow E1. \quad (2.3)$$

Вагові коефіцієнти визначаються за формулою:

$$R_{rang} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{i,j}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n G_{i,j}} \quad (2.4)$$

де  $R_{rangj}$  – ваговий коефіцієнт  $j$ -го показника;  $n$  – кіл-ть експертів;  $m$  – кіл-ть показників;  $G_{ij}$  – ранг. Тоді, отримаємо:

$$\begin{aligned} R_{rang_1} &= \frac{32}{105} = 0,3; \\ R_{rang_2} &= \frac{29}{105} = 0,28; \\ R_{rang_3} &= \frac{20}{105} = 0,19; \\ R_{rang_4} &= \frac{14}{105} = 0,13; \\ R_{rang} &= \frac{10}{105} = 0,09; \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\sum_{j=1}^5 R_{rang_i} = 1. \quad (2.6)$$

Особливість методу ранжування показників якості полягає в тому, що показники якості розташовуються в порядку зменшення їх внеску. Внесок кожного показника оцінюється за величиною рангу — місця, яке відведено дослідником (спеціалістом під час опитування або експертом) даному показнику при ранжуванні всіх показників якості з урахуванням їх передбачуваного (кількісно невідомого) впливу на якість продукції. Математична модель

теоретичного порівняння двох розмірів однієї міри за шкалою порядку виглядає як нерівність:

$$E_i \leq E_j \text{ или } E_i \geq E_j, \quad (2.7)$$

або використаємо (рис. 2.2) для розуміння процесу.

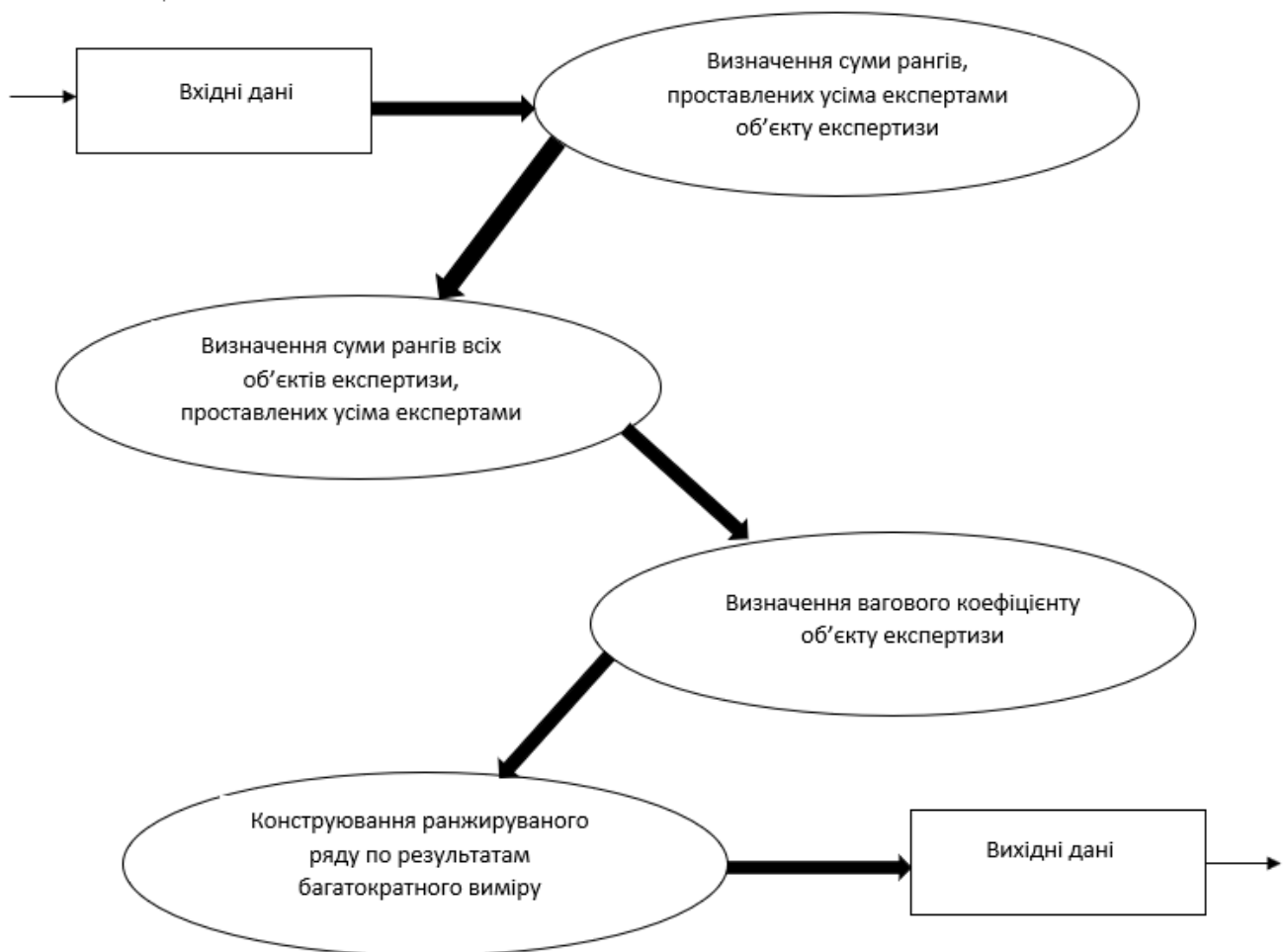


Рисунок 2.2 – Алгоритм обробки результатів експертиз, отриманих методом ранжування

## 2.2 Сутність експертного методу та його властивості

Сутність цього методу полягає у проведенні експертами інтуїтивно-логічного аналізу проблеми з кількісною оцінкою суджень та формальною

обробкою результатів. Виконання своїх функцій експерти здійснюють на основі логічного мислення, інтуїції та власного досвіду у вирішенні подібних проблем, тому велику роль відіграє компетентність експерта, його знання та досвід.

Оскільки експерти підбираються організаторами опитування, то природно виникає одне з найважливіших проблем: правильний підбір експертної групи, причому це єдина проблема, що стоїть перед організаторами експертного опитування.

Загалом для проведення експертного опитування необхідне здійснення цілого ряду організаційних заходів: формування мети майбутнього опитування; визначення термінів виконання; створення групи управління, визначення її завдань, обов'язків та прав; фінансове та матеріально–технічне забезпечення робіт. Подальша діяльність із поведінки експертного опитування здійснюється групою управління.

Саме вона веде основну роботу з формування групи експертів, яка полягає у конкретизації вирішуваної проблеми. Паралельно ведеться робота щодо визначення методики проведення опитування експертів, визначається місце та час проведення, кількість турів опитування, форма проведення опитування, форма фіксації результатів опитування. Визначаються процедури та алгоритми обробки отриманих даних. Заключним етапом роботи групи, що управляє, є оформлення результатів проведення експертного опитування. Формально процедура експертного опитування може бути представлена як порівняння деяких об'єктів за заздалегідь відібраними критеріями. Процедура порівняння включає визначення відносини між об'єктами та способи їх порівняння [10, с. 20–35].

Якщо розглянути множину об'єктів  $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$  та множину типів відносин між об'єктами  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ , то запис виду  $Q_i, T_k, Q_j$  означає, що об'єкт  $Q_i$  знаходиться у відношенні  $T_k$  до об'єкту  $Q_j$ . Таке ставлення називають двомісним. Відносини мають такі властивості: відношення  $R$  рефлексивно, якщо  $Q_i, T_k, Q_j$  істинне, відношення  $T$  антирефлексивно, якщо  $Q_i, T_k, Q_j$  – хибне;

відношення  $R$  симетрично, якщо з  $Q_i, T_k, Q_j$  слідує  $Q_i, T_k, Q_j$ , відношення  $R$  антисиметрично, якщо з  $Q_i, T_k, Q_j$  та  $Q_i, T_k, Q_j$  випливає, що  $Q_i = Q_j$ .

Відношення, яке має властивості рефлексивності, симетричності та транзитивності, називається відношенням еквівалентності ( $\sim$ ). Але під час проведення експертиз, найчастіше зустрічаються відносини порядку, характерні логічними висловлюваннями на кшталт: «краще ніж...», «більше ніж...», «раніше ніж...». Відношення такого типу анти рефлексивно і транзитивно. Але оскільки формалізація завдання передбачає числове вираження відносин переваги, процедуру порівняння доводиться доповнити поняттям шкали.

Шкала найменувань чи класифікації використовується для опису належності об'єктів до певних класів. Всім об'єктам того самого класу присвоюється одне й те саме число, а елементам різних класів – різні числа. Шкала найменувань зберігає відносини еквівалентності та різницю між об'єктами. Шкала порядку застосовується для вимірювання впорядкування об'єктів за однією чи декількома ознаками. Наприклад, шкала жорсткості бетону. Числа в шкалі порядку відображають тільки порядок прямування об'єктів і не дають можливості сказати, наскільки один об'єкт кращий за інший. Шкала інтервалів застосовується для відображення величини різницю між властивостями об'єктів. Під час проведення експертного опитування ця шкала використовується з метою оцінки корисності об'єктів.

Основною властивістю її є рівність інтервалів. Шкала може мати довільні точки відліку та масштаб. Шкала відносин використовується щодо вимірювань, наприклад, маси, довжини тощо. Ця шкала показує, скільки разів властивості одного об'єкта відрізняються від аналогічних властивостей іншого об'єкта. Ця шкала є окремим випадком шкали інтервалів. Шкала різниць використовується для вимірювання властивостей об'єктів при необхідності виразу: наскільки один об'єкт перевершує інший за однією чи декількома ознаками. Ця шкала є окремим випадком шкали інтервалів у тому випадку, якщо для останньої вибрано одиничний масштаб.

Якщо в шкалі застосувати нульову точку відліку та одиничний масштаб одночасно, то отримана шкала має назву абсолютної або універсальної шкали. У процесі експертного опитування здійснюється встановлення відносин між об'єктами дослідження. Ця процедура отримала узагальнену назву вимірів і може здійснюватися різними методами.

Ранжування здійснюється експертом на основі своїх знань та досвіду, маючи об'єкти в порядку переваги. Якщо серед об'єктів немає однакових за порівнюваними показниками (це означає, що відносини еквівалентності в даному випадку виключено), то між об'єктами, що вивчаються, існують тільки відносини суворого порядку, що володіє властивостями несиметричності, транзитивності і зв'язності.

Результатом роботи експерта буде розташування об'єктів у впорядкованій послідовності, де об'єкт з №1 буде найкращим. При ранжируванні відношення переваги найчастіше видаються у вигляді натуральних чисел  $r_1, r_2, \dots, r_n$  – рангів.

Якщо серед об'єктів може бути еквівалентні, це означає, що можливі відносини як суворого порядку, а й еквівалентності. Тоді результат експертного опитування є впорядкованою послідовністю, в якій деякі об'єкти можуть бути еквівалентні  $Q_1 > Q_2 > Q_3 \sim Q_4 \sim Q_5 > \dots > Q_{n-1} \sim Q_n$ . У цій послідовності при ранжируванні об'єктів, між якими допускаються відносини строгого порядку, і еквівалентності найкращому об'єкту присвоюється ранг, рівний одиниці, інші також нумеруються натуральними числами.

Для еквівалентних об'єктів потрібно призначити однакові ранги, тому знаходиться середнє арифметичні значення номерів, присвоєних однаковим об'єктам і це значення вважається рангом і називається пов'язаним рангом.

Якщо розглянути приклад вище, то об'єкти  $Q_1, Q_2, Q_3$  знаходяться у відношенні еквівалентності між собою та повинні мати однакові ранги та знаходяться за формулою:

$$R_{rang_3} = R_{rang_4} = R_{rang_5} = \frac{3+4+5}{3} = 4. \quad (2.8)$$

Таким чином, у знаходженні пов'язаних рангів використовується операція поділу, а це означає, що пов'язані ранги можуть виявитися дробовими числами. Ранги визначають лише порядок розташування об'єктів за показниками порівняння. Але не дають можливості дійти невтішного висновку про кількісному вираженні відношення переваги.

Достоїнством ранжирування [11, с. 76] є простота і наочність здійснення процедури, але якщо кількість об'єктів більше 15–20, то експерти не можуть у побудові ранжованого ряду і можуть припуститися суттєвих помилок.

Таким чином, цей метод застосовується при невеликій кількості об'єктів. Від цього недоліку вільний метод парного порівняння, що є процедурою встановлення переваги при порівнянні всіх можливих пар.

Таким чином, єдина задача ранжирування розпадається на більшу кількість простих завдань, які полягають у парному порівнянні об'єктів. Через війну порівняння пари об'єктів експерт впорядковує цю пару чи встановлює еквівалентність цієї пари. Результати парних порівнянь найзручніше представляти у вигляді матриці, елементи якої  $a_{ij}$  показує відношення між об'єктами.

Порівняння об'єктів по парах не дає повного впорядкування, але дозволяє побудувати алгоритм, який може це отримати. Безпосередня оцінка є процедурою присвоєння об'єктам числових значень шкали інтервалів.

Експерт повинен поставити у відповідність кожному об'єкту точку на безперервній числовій осі. Природно, що еквівалентні об'єкти в результаті опитування повинні одержати те саме число. Часто експерту пропонують визначити не точкову цифрову оцінку об'єкта, а вказати інтервал.

Навіть аналіз методів порівняння показує всю важливість проблеми підбору експертів, який може бути описаний набором параметрів переважно якісного характеру.

Компетентність [12, с. 187] – ступінь поінформованості експерта у певній галузі знань. Виникає завдання кількісного визначення цієї якості. У принципі можна виділити два напрями: опитування одного експерта про рівень власної



компетенції та опитування групи експертів про можливий склад експертної групи. Перші проводяться, як правило, в один тур, а другі характеризуються великою кількістю етапів. Природно за часом процедури другого типу займають набагато більше часу, але й результати виходять точніше.

Найбільш простим підходом є застосування гіпотези про те, що компетентність еквівалентна такому поняття як науковий авторитет і робляться спроби оцінити це поняття за допомогою числа публікацій, наявності вчених ступенів, звань та посад.

Більш об'єктивною є методика отримання коефіцієнтів компетентності, які будуються на підставі суджень експерта про ступінь своєї поінформованості з проблеми експертизи із зазначенням джерел, що є аргументацією пропозицій, що висловлюються експертом. Коефіцієнт компетентності визначається за формулою:

$$pr = \frac{pr_i + pr_a}{2}, \quad (2.9)$$

де  $pr$  – коефіцієнт про інформованості, отриманий на основі самооцінки експерта за десятибальною шкалою, а потім помножений на 0,1;  $pr_a$  – коефіцієнт аргументації, отриманий за еталонною таблицею (зразок наведено в табл. 2.1).

Таблиця 2.3 – Зразок таблиці

Вихідні значення	Степінь впливу джерела на Вашу думку		
	Значна (В)	Середня (С)	Не значна (Н)
Виконаний аналіз значень			
Професійні якості	0,3	0,2	0,1
Загальне значення робіт в Україні	0,5	0,4	0,2
Загальне значення робіт закордоном	0,05	0,05	0,05
Значення закордону	0,05	0,05	0,05
Обставини непереборної сили	0,05	0,05	0,05

Експерту подається таблиця виду 2.3 тільки без цифрових даних, в якій він зазначає, яке джерело він оцінює за градаціями, В, С, Н. Після чого підраховуються бали; якщо  $pr_a = 1$ , то рівень впливу високий, якщо  $pr_a = 0,8$  – то середня,  $pr_a = 0,5$  відповідає низькому ступеню джерела аргументації. Межі зміни коефіцієнта компетентності експерта – від 0 до 1.

Таким чином, запропонована методика оцінки компетентності по суті справи є певним експертним опитуванням самого експерта про ступінь його поінформованості, що природно носить сильний відбиток суб'єктивізму.

З метою подолання цього недоліку використовується інша процедура оцінки компетентності експерта, що ґрунтується на груповому опитуванні експертної групи про включення фахівців до складу групи. Якщо до списку потрапляють особи, які спочатку не включені до складу експертів, то надалі їм також пропонується висловитися за складом експертної групи.

Провівши подібним чином кілька турів опитування, можна скласти досить повне уявлення про компетентність групи експертного опитування, що формується.

Результатом проведення опитування є матриця оцінок, рядки та стовпці якої відповідають експертам. Як оцінки використовуються двійкові  $x_{ij}$ , яка дорівнює 1, якщо  $j$ -й експерт назвав  $i$ -го експерта, як змінні  $ij$  можливого кандидата до складу експертної групи, і дорівнює 0 якщо  $j$ -й експерт не назвав  $i$ -го експерта як можливого кандидата до складу експертної групи [13, с. 224].

Подальша обробка результатів полягає в отриманні відносних коефіцієнтів компетентності кожного експерта, яка знаходиться за формулою:

$$pr_i^h = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij} pr_j^{h-1}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m x_{ij} pr_j^{h-1}}, \quad (2.10)$$

де  $m$  – число експертів;  $pr_j^h$  – відносний коефіцієнт компетентності  $h$ -го порядку  $j$ -го експерта; коефіцієнти нормовані так, що їх сума дорівнює 1.

Відносний коефіцієнт компетентності першого порядку є відношенням числа голосів, поданих за те, щоб включити даного експерта до складу групи, до загального числа експертів. Обчислюючи відносні коефіцієнти компетентності вищих порядків можна побачити, що процедура дуже швидко сходиться і 3 і 4 етапі коефіцієнти стабілізуються. З погляду отримання достовірних результатів, необхідно отримання граничних відносних коефіцієнтів компетентності, тобто розглянути випадок, коли  $h \rightarrow \infty$ .

У спеціальних дослідженнях показано, що граничні значення відносних коефіцієнтів компетентності є компонентами власного вектору для максимального числа матриці результатів експертного опитування  $A = \|x_{ij}\|$ .

З курсу вищої математики відомо, що власні числа визначаються як коріння рівня алгебри  $\|A - \lambda E\| = 0$ , де  $E$  – одинична матриця, тобто матриця у якої головна діагональ складена з одиниць, а всі інші члени рівні нулю. Вирішуючи це рівняння, знаходимо максимальне власне число  $\max \lambda$ .

Компоненти власного вектору знаходяться з  $m$  розв'язання алгебраїчної системи рівнянь виду:

$$Ak = \lambda_{\max} p r_i, \sum_{i=1}^m p r_i = 1. \quad (2.11)$$

У окремому випадку, якщо всі експерти висловилися одноголосно за даний склад експертної групи, то матриця  $A$  міститиме як елементи тільки одиниці і, отже, добуток  $Ak$  утворює вектор з однаковими компонентами, сума яких дорівнює одиниці. Тому система рівнянь визначення компонент власного вектору запишеться як:

$$1 = \lambda_{\max} p r_i, i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.12)$$

Іншим важливим властивістю експерта є креативність, тобто. здатність розв'язувати творчі завдання. Ця властивість оцінюється виходячи з вивчення

попередньої діяльності експерта. На жаль, нині немає жодних алгоритмів, дозволяють висловити цю характеристику в кількісному вигляді. Ставлення до експертизи характеризує можливість ухвалення рішення про залучення даного фахівця як експерта.

Негативне чи пасивне ставлення спеціаліста до проблеми, запропонованої на експертизу, велика зайнятість можуть суттєво перешкоджати включенню фахівця в експертну групу.

Конформізм – характеризує схильність до впливу авторитетів. Може характеризувати нестійкість власної думки, особливо сильно ця властивість експерта може проявитися у тому випадку, коли експертне опитування проводиться у формі відкритої дискусії, під час якої думки авторитетів можуть впливати на висловлювання експертів, які мають високий рівень конформізму.

Аналітичність і широта мислення особливо важливі при вирішенні складних проблем, глибокі знання у вузькій спеціалізованій області можуть породжувати якийсь однобічний підхід, який може не дозволити якісно вирішувати проблеми, що вимагають погляду, що виходить за рамки уявлень, що склалися. Конструктивність мислення передбачає облік експертом реальних можливостей вирішення цієї проблеми, тобто. важливо не лише знайти метод вирішення проблеми, але знайти метод, який можна застосувати у конкретних умовах.

Колективізм – це властивість, яка особливо важлива при проведенні експертного опитування у формі відкритої дискусії. Ця властивість у багатьох випадках істотно впливає створення позитивного психологічного клімату в колективі експертів і, отже, на успішність вирішення проблеми.

Самокритичність експерта проявляється за самооцінки рівня своєї компетентності. Переліченими характеристиками досить повно описуються необхідні якості, якими повинен мати спеціаліст, який залучається для вирішення проблеми шляхом експертного опитування. Однак збір даних та їх аналіз вимагає кропіткої та трудомісткої роботи. У цьому виникає проблема

отримання інтегральної оцінки експерта, частина показників експерта може бути позитивною, а частина негативною.

Для отримання такої оцінки важливо сформулювати деяку узагальнену характеристику експерта, що дозволяє, з одного боку, описувати всі найважливіші якості його, з другого – що допускає своє кількісне вираз. Зазвичай як таку характеристику застосовують достовірність суджень експерта, яку можна виразити формулою:

$$D_i = \frac{N_n}{N}, i = 1, 2, \dots, m, \quad (2.13)$$

де  $N_n$  – кількість випадків, коли  $i$ -й експерт дав рішення, підтвержені практикою;  $N$  – загальна кількість випадків участі  $i$ -го експерта у вирішенні проблеми.

Таким чином основними характеристиками групи експертів є достовірність експертизи та витрати на неї. Достовірність залежить від кількості експертів та їхньої якості. Досвід показує, що для проблем із високим рівнем потенціалу знань збільшення кількості експертів призводить до монотонного зростання достовірності експертизи.

На жаль, ця залежність не підтверджується при вирішенні проблем, щодо яких інформаційний потенціал знань недостатній для впевненості у справедливості висловлених гіпотез. Достовірність експертизи дуже залежить від компетентності експертної групи, яка, своєю чергою, залежить від складу фахівців.

Профіль фахівців, що залучаються, залежить від широти вирішуваної проблеми і повинен бути визначений на етапі постановки завдання експертного опитування. Саме кількість фахівців різних профілів, які залучаються для експертизи, визначає мінімальну чисельність експертної групи.

### 3 ПРАКТИЧНЕ РОЗВ'ЯЗАННЯ НЕСТРУКТУРОВАНИХ ПРОБЛЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

У практичному аспекті було представлено дві різні задачі, які мають неструктуровані проблеми. Вирішення цих задач можливо лише методами експертних оцінок. У моєму випадку було використано метод Делфі та метод парних порівнянь. Ці два методи є дуже зручними та базуються на думках на узгодженості експертів.

#### 3.1 Практичне застосування методу Делфі

Постановка прикладної задачі. Нехай необхідно здійснити оцінювання якості обслуговування в закладі швидкого харчування. Для цього було запрошено 10 експертів та кожному експерту була видана анкета, щоб вони мали змогу оцінити рівень обслуговування та самооцінки.

Де експерт повинен поставити собі індивідуальну самооцінку від 0 до 10. Рівень обслуговування закладу швидкого харчування оцінюється у відсотках % від 0 до 100. Даний аналіз експертів проводиться анонімно.

Критерій оцінки довжини інтервалу повинен бути не більше 25 %. Після закінчення першого етапу анонімного опитування отримали результати:

Таблиця 3.1 – Дані проведеного опитування експертів першого етапу

№ експерта	Коефіцієнт значення самооцінки	Рівень обслуговування (відносна оцінка експерта)
1	6	86
2	5,3	69
3	9	57
4	4,5	84

5	3,4	93
---	-----	----

Продовження таблиці 3.1

6	9	87
7	10	42
8	8	58
9	10	99
10	7	84

Тоді припустимо, що коефіцієнт самооцінки це  $c_i$ , а оцінка експерта – це  $e_i$ . Кількість експертів –  $n$ .

Виходячи з отриманих даних із таблиці 3.1 розрахуємо середнє загальне значення самооцінки – це відношення суми коефіцієнтів самооцінки до кількості експертів, що розраховується за формулою:

$$S_{\text{ср.зн.}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n}; \quad (3.1)$$

Виразуємо суму загальних значень самооцінки:

$$\sum_{i=1}^n c_i = 6 + 5,3 + 9 + 4,5 + 3,4 + 9 + 10 + 8 + 10 + 7 = 72,2; \quad (3.2)$$

підставляючи наші значення із (3.2) в (3.1.) з урахуванням кількості експертів  $n = 10$  отримаємо:

$$S_{\text{ср.зн.}} = \frac{72,2}{10} = 7,22. \quad (3.3)$$

Напишемо формулу для обчислення середнього значення оцінки експертів:

$$S_{\text{ср.зн.}} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}; \quad (3.4)$$

вирахуємо суму загальних значень самооцінки:

$$\sum_{i=1}^n e_i = 86 + 69 + 57 + 84 + 93 + 87 + 42 + 58 + 99 + 84 = 759; \quad (3.5)$$

підставляючи наші значення із (3.5) в (3.4.) з урахуванням кількості експертів  $n = 10$  отримаємо:

$$S_{\text{ср.зн.}} = \frac{759}{10} = 75,9. \quad (3.6)$$

Для обчислення середньозваженої оцінки обслуговування, скористаємось формулою:

$$S_{\text{ср.зв.}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i e_i}{\sum_{i=1}^n c_i}; \quad (3.7)$$

тоді розрахуємо:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n c_i e_i &= (c_1 e_1) + (c_2 e_2) + (c_3 e_3) + (c_4 e_4) + (c_5 e_5) + (c_6 e_6) + (c_7 e_7) + (c_7 e_7) \\ &+ (c_8 e_8) + (c_9 e_9) + (c_{10} e_{10}); \end{aligned} \quad (3.8)$$

підставляючи значення в (3.7) отримаємо:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n c_i e_i &= (6 \cdot 86) + (5,3 \cdot 69) + (9 \cdot 57) + (4,5 \cdot 84) + (3,4 \cdot 93) + (9 \cdot 87) \\ &+ (10 \cdot 42) + (8 \cdot 58) + (10 \cdot 99) + (7 \cdot 84) = 5333,9; \end{aligned} \quad (3.9)$$



підставляючи наші значення в формулу (3.7) отримаємо:

$$S_{\text{ср.зв.}} = \frac{5333,9}{72,2} \approx 73,88. \quad (3.10)$$

Медіана розраховується, як середньоарифметичне між серединними, впорядкованими за зростанням чи спаданням оцінками експертів.  $M_{\text{ср}} = 77$ .

Щоб розрахувати область довіри необхідно знайти значення кватртіля ( $K_{\text{зн.кв.}}$ ):

$$K_{\text{зн.кв.}} = \frac{\max(e_i) - \min(e_i)}{4}; \quad (3.11)$$

підставляючи отримаємо:

$$K_{\text{зн.кв.}} = \frac{99 - 42}{4} = 14,25. \quad (3.12)$$

Отже, отримаємо нижню межу області довіри:  $42 + 14,25 = 56,25 \%$ , верхню межу області довіри:  $99 - 14,25 = 84,75\%$ .

Тоді, у відповідності інтервали довіри знаходяться на проміжку від  $56,25\%$  до  $84,75 \%$ , і дорівнює  $28,8$  і виходить, що не відповідає поставленому критерію.

Тому необхідно провести другий етап та повторно надіслати експертам анкети для переголосування.

При зміні думки необхідно уточнити причину, додавши коментар з аргументацією.

По закінченню проведення другого етапу анкетування отримали наступні результати, які представлено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Дані проведеного опитування експертів другого етапу

№ експерта	Коефіцієнт значення самооцінки	Рівень обслуговування (відносна оцінка експерта)
1	6	86
2	5,3	69
3	9	57
4	4,5	84
5	3,4	87 (93)
6	9	87
7	10	42
8	8	58
9	10	79 (99)
10	7	84

Розрахуємо середнє загальне значення самооцінки, для цього спочатку вирахуємо суму загальних значень самооцінки:

$$\sum_{i=1}^n c_i = 6 + 5,3 + 9 + 4,5 + 3,4 + 9 + 10 + 8 + 10 + 7 = 72,2; \quad (3.13)$$

підставляючи наші значення отримаємо:

$$S_{\text{ср.зн.}} = \frac{72,2}{10} = 7,22. \quad (3.14)$$

Вирахуємо суму загальних значень самооцінки експертів:

$$\sum_{i=1}^n e_i = 86 + 69 + 57 + 84 + 87 + 87 + 42 + 58 + 79 + 84 = 733; \quad (3.15)$$

підставляючи наші значення отримаємо:

$$S_{\text{ср.зн.}} = \frac{733}{10} = 73,3. \quad (3.16)$$

Для обчислення середньозваженої оцінки обслуговування, скористаємось формулою:

$$S_{\text{ср.зв.}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i e_i}{\sum_{i=1}^n c_i}; \quad (3.17)$$

тоді розрахуємо:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n c_i e_i &= (6 \cdot 86) + (5,3 \cdot 69) + (9 \cdot 57) + (4,5 \cdot 84) + (3,4 \cdot 87) + (9 \cdot 87) \\ &+ (10 \cdot 42) + (8 \cdot 58) + (10 \cdot 79) + (7 \cdot 84) = 5113,5; \end{aligned} \quad (3.18)$$

підставляючи наші значення в формулу () отримаємо:

$$S_{\text{ср.зв.}} = \frac{5113,5}{72,2} \approx 70,82. \quad (3.19)$$

Медіана:  $M_{\text{ср}} = 71$ . Щоб розрахувати область довіри необхідно знайти значення квантиля ( $K_{\text{зн.кв.}}$ ):

$$K_{\text{зн.кв.}} = \frac{87 - 42}{4} = 11,25. \quad (3.20)$$

Отже, отримаємо нижню межу області довіри:  $42 + 11,25 = 53,25\%$ ,  
верхню межу області довіри:  $87 - 11,25 = 75,75\%$ .

Тоді, у відповідності інтервали довіри знаходяться на проміжку від 53,25% до 75,75 %, і дорівнює 22,5 і виходить, що відповідає поставленому критерію.

Таким чином, поставлену прикладну задачу вирішено методом Делфі експертних оцінок.

### 3.2 Практичне застосування методу парних порівнянь

Постановка прикладної задачі. Нехай для відкриття нового салону краси у м. Запоріжжя, що є прифронтовим містом та необхідно врахувати фактор впливу такий, як військові дії. Є три локації (А,Б,В), які більш за все подобаються, але при цьому кожна з них має свої недоліки. Необхідно обрати найкраще місце з урахуванням військових дій та забезпечення безпеки, плинності людей, орендної плати, конкурентоспроможності, транспортної доступності.

Спочатку потрібно перетворити неструктуровану задачу в структуровану, для цього:

– визначаємо наявність критеріїв за якими буде оцінюватися та чи інша локація;

– оцінюємо кожен локацію за допомогою методу експертних оцінок.

Тоді введемо критерії оцінок  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$ :

$Y_1$ – Плинність людей, яка проходить біля локації;

$Y_2$ – вартість орендної плати;

$Y_3$ – конкурентоспроможність;

$Y_4$ – транспортна доступність,

$Y_5$  – безпека під час військових дій.

Скористаємось методом парних порівнянь для створення матриці значень експертних думок. Де експерти оцінюють важливість кожного критерію з іншими від 1 до 10.

Таблиця 3.3 – Порівняння експертних оцінок

№	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$
$Y_1$	1	3	5	7	9
$Y_2$	1,2	1	3	3	5
$Y_3$	1,6	1,5	1	4	8
$Y_4$	1,4	1,3	1,4	1	5
$Y_5$	1,7	1,8	1,5	1,6	2

Для розрахунку вагових коефіцієнтів скористаємось формулою:

$$Y_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij}; \quad (3.21)$$

Підставляючи наші значення з таблиці 3.3 отримаємо розрахунок вагових коефіцієнтів:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 1 + 3 + 5 + 7 + 9 = 25; \\ Y_2 &= 1,2 + 1 + 3 + 3 + 5 = 13,2; \\ Y_3 &= 1,6 + 1,5 + 1 + 4 + 8 = 16,1; \\ Y_4 &= 1,4 + 1,3 + 1,4 + 1 + 5 = 10,1; \\ Y_5 &= 1,7 + 1,8 + 1,5 + 1,6 + 2 = 8,6. \end{aligned} \quad (3.22)$$

Для розрахунку нормалізації вагових критеріїв необхідно скористатися формулою та для місця знаходження салону краси проведемо оцінювання:

$$\omega_i = Y_i / \sum_{i=1}^n Y_i; \quad (3.23)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i = 25 + 13,2 + 16,1 + 10,1 + 8,6 = 73; \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{25}{73} \approx 0,35; \\ \omega_2 &= \frac{13,2}{73} \approx 0,18; \\ \omega_3 &= \frac{16,1}{73} \approx 0,22; \\ \omega_4 &= \frac{10,1}{73} \approx 0,13; \\ \omega_5 &= \frac{8,6}{73} \approx 0,11. \end{aligned} \quad (3.25)$$

Таблиця 3.4 – Експертне оцінювання місцезнаходження салону краси

№	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$
А	8	5	3	7	6
Б	6	7	5	6	8
В	7	6	4	5	7

Тепер необхідно зробити розрахунок для кожного місцезнаходження. Для А:

$$\begin{aligned} A &= 8 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,18 + 3 \cdot 0,22 + 7 \cdot 0,13 + 6 \cdot 0,11 = 5,93; \\ B &= 6 \cdot 0,35 + 7 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,22 + 6 \cdot 0,13 + 8 \cdot 0,11 = 6,12; \\ B &= 7 \cdot 0,35 + 6 \cdot 0,18 + 4 \cdot 0,22 + 5 \cdot 0,13 + 7 \cdot 0,11 = 5,83. \end{aligned} \quad (3.26)$$

Отже, найкращим місцем знаходженням за думкою експертів методом парних порівнянь є локація Б.

Підсумовуючи практичне значення отриманих результатів можна сказати, що неструктуровані проблеми мають рішення, але використовуючи методи експертних оцінок.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі «Застосування методології системного аналізу до розв'язання неструктурованих проблем» було проведено всебічне дослідження методологічних підходів та практичних аспектів використання системного аналізу для вирішення складних і неструктурованих проблем методом експертних оцінок.

Перш за все, було здійснено детальний огляд методологічних та теоретичних основ системного аналізу, визначено його ключові принципи та підходи. Системний аналіз являє собою науково–методологічний інструмент, який дозволяє досліджувати складні системи, визначати їх структуру, функціональні зв'язки та динаміку розвитку.

У роботі було узагальнено основні методи системного аналізу, які включають:

- створення математичних, імітаційних та інформаційних моделей для дослідження поведінки системи.
- оптимізація пошуку найкращих рішень для досягнення визначених цілей за заданих обмежень.
- передбачення майбутніх станів системи на основі аналізу її минулих і поточних характеристик.

Особлива увага була приділена методу експертних оцінок, який є важливим інструментом для вирішення неструктурованих проблем. Цей метод передбачає залучення експертів для надання оцінок і рекомендацій на основі їх професійного досвіду та знань.

У роботі були розглянуті такі аспекти методу експертних оцінок:

- вибір і підготовка експертів та визначення критеріїв для вибору експертів до участі в оцінці.
- методи збору оцінок: використання анкет, інтерв'ю, дискусійних груп та інших методів для збору експертних думок.

– агрегація оцінок: застосування статистичних та математичних методів для об'єднання окремих оцінок в загальний результат.

– аналіз і використання результатів: інтерпретація отриманих оцінок та їх використання для прийняття рішень.

Для практичного дослідження було використано два методи експертних оцінок, які мають переваги у вирішенні неструктурованих проблем. Дані задачі є складними у розумінні вирішення через математику та майже неможливими, але використовуючи метод Делфі або парних порівнянь показано, що неструктуровані проблеми мають рішення. Для досягнення певної оцінки та узгодженості від експертів можна прийти до визначення результатів.

У ході дослідження було показано, що методологія системного аналізу та метод експертних оцінок є ефективними інструментами для вирішення неструктурованих проблем. Вони дозволяють забезпечити комплексний підхід до аналізу складних систем та прийняття обґрунтованих рішень на основі як об'єктивних даних, так і суб'єктивних знань експертів.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані як основа для подальших наукових досліджень у галузі системного аналізу, прийняття рішень та методів експертних оцінок. Практичне застосування отриманих результатів сприятиме підвищенню ефективності вирішення складних проблем у різних сферах діяльності.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гринько, О. М. Методи системного аналізу та їх застосування у менеджменті. – Харків: Основа, 2020. 280 с.
2. Зайченко Ю. П. Теорія прийняття рішень. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 412 с.
3. Квасницький, Р. О. Інформаційні технології у системному аналізі. – Вінниця: ВНТУ, 2021. 320 с.
4. Кісельова О.М., Притоманова О.М. Методи оптимізації. Ч.1. Лінійне програмування: навч. посіб. Д.: В Ліра, 2021. 168 с.
5. Колесник, Н. С. Системний аналіз: методи та застосування. – Дніпро: ДНУ імені Олеся Гончара, 2019. 290 с.
6. Кононенко, В. П. Прийняття рішень в умовах невизначеності // Науковий журнал Харківського національного університету. – 2020. №3. С. 55–70.
7. Лега Ю. Г. Управління проектом в класі організаційно–технічних систем / Ю. Г. Лега, Т. О. Прокопенко, Ю. І. Урецька // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2014. № 1. С. 46–50.
8. Мусіяка В.Г. Основи числових методів: підручник. – Дніпро: ЛІРА, 2017. 256 с.
9. Панкратова Н.Д. Системний аналіз. Теорія та застосування: [ Підручник]. – Київ: Наукова думка, 2018. 347 с.
10. Петров, П. І. Інтеграція експертних оцінок у процес прийняття рішень // Журнал «Сучасні проблеми економіки». 2023. №1. С. 20–35.
11. Практикум з теорії прийняття рішень: навч. посіб. / Автор–уклад.: О.В. Присяжнюк – Кропивницький: ЦДПУ імені В.Винниченка, 2018. 76 с.
12. Прокопенко Т. О. Теорія систем та прийняття управлінських рішень: навч. посіб. / Т. О. Прокопенко; М–во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун–т. – Черкаси: ЧДТУ, 2018. 187 с.

13. Прокопенко Т. О. Інформаційні технології управління організаційнотехнологічними системами: монографія / Т. О. Прокопенко, А. П. Ладанюк. – Черкаси: Вертикаль, вид. Кандич С.Г., 2015. 224 с.

14. Романенко, М. О. Прогнозування та моделювання у системному аналізі // Науковий вісник Львівського університету. 2020. №5. С. 110–125.

15. Смирнов, Ю. В. Теорія прийняття рішень. – Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2018. 270 с.

16. Теорія прийняття рішень : підручник / за заг. ред. Бутка М. П. [М. П. Бутко, І. М Бутко, В. П. Мащенко та ін.]. Київ: «Центр учбової літератури», 2015. 360 с.