

ЗМІСТ

ЛЕКЦІЯ 4. МЕТОДИ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ТА ОБРОБКИ ЯКІСНИХ ОЦІНОК	1
4.1 Основні поняття та визначення. Проблеми формалізації якісної інформації, види процедур, основні етапи їх підготовки і проведення	3
4.2 Загальні методи отримання та обробки якісних оцінок	5
4.3 Формалізація та обробка якісної інформації, отриманої за методом Дельфі.....	9
4.4 Методи безпосереднього ранжування й парних порівнянь та їх використання	14
4.4.1 Поняття про ранжування. Основні види представлення ранжируваного ряду. Побудова ранжируваного ряду	14
4.4.2 Сутність та методологія розв'язання неструктурованих проблем за методом безпосереднього ранжування. Особливості та умови використання методу	17
4.4.3 Сутність та методологія розв'язання неструктурованих проблем за методом парних порівнянь. Особливості та умови використання методу.....	19
4.5 Застосування методів формалізації якісних оцінок при формуванні ісходних систем та систем даних	22

Лекція 4. Методи формалізації та обробки якісних оцінок

Мета лекції: засвоїти та набути навичок застосування методології формалізації та обробки якісних оцінок; опанувати особливості застосування методів формалізації якісних оцінок при формуванні існуючих систем та систем даних.

План лекції

- 4.1 Основні поняття та визначення. Проблеми формалізації якісної інформації, види процедур, основні етапи їх підготовки і проведення.
- 4.2 Загальні методи отримання та обробки якісних оцінок.
- 4.3 Формалізація та обробка якісної інформації, отриманої за методом Дельфі.
- 4.4 Методи безпосереднього ранжування й парних порівнянь та їх використання.
- 4.5 Застосування методів формалізації якісних оцінок при формуванні існуючих систем та систем даних.

Перелік ключових термінів і понять з теми: проблеми формалізації якісної інформації; експертне оцінювання; експертна оцінка; ранг; ранжування; способи побудови ранжируваного ряду; метод Дельфі; метод безпосереднього ранжирування; метод парних порівнянь; узгодженість.

У попередній лекції було розглянуто класифікацію методів системного аналізу, з якої стало видним, що методи системного аналізу можна класифікувати за різними ознаками, включаючи форму подання знання: якісні та кількісні методи. Подальші лекції курсу присвячено системній методології (загальні методи системного аналізу) в частині формального апарату побудови та аналізу систем різних епістемологічних рівнів. Однак перед переходом до таких методів роботи з системами, необхідно опанувати інструментарій роботи з інформацією, що не піддається прямій кількісній формалізації. Інші (формалізовані) методи, до яких відносяться методи дослідження операцій, статистичні і т. ін. методи, застосовуються на наступних етапах системного аналізу і детально викладаються в інших дисциплінах навчального плану.

Говорячи про інструментарій роботи з інформацією, що не піддається прямій кількісній формалізації, потрібно відзначити, що в практиці системного аналізу дослідник часто стикається з проблемою, коли вихідна інформація про систему має якісний характер і не може бути безпосередньо виражена в кількісній формі [1, 3, 8, 9, 11, 12]. Така ситуація виникає у випадках, коли:

- відсутні об'єктивні виміри характеристик системи;
- система є новою або унікальною, і для неї немає статистичних даних;
- властивості системи визначаються суб'єктивними судженнями, думками або уподобаннями;
- необхідно врахувати людський фактор, досвід та інтуїцію фахівців у предметній області.

Подібну проблему прийнято називати *неструктурованою (якісно визначеною)*, що містить лише опис основних ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими зовсім не визначені. В таких умовах ставиться задача формалізації та обробки якісних оцінок шляхом визначення суттєвих факторів, що характеризують об'єкт дослідження у відповідності до поставленої мети дослідження. Розв'язавши цю задачу, можна здійснити зазначене визначення більш обґрунтовано, ефективно використовуючи апріорну інформацію про вимоги та очікувані результати.

Саме для розв'язання неструктурованих проблем, використовуються спеціальні методи – *методи експертного оцінювання (або методи експертних оцінок, експертні методи)*, які є частиною великої області системного аналізу, дозволяють систематизувати, формалізувати та обробляти якісну інформацію, отриману від фахівців у предметній області, забезпечують перехід від неформалізованих суджень та оцінок до структурованих даних, придатних для подальшого аналізу, та застосовуються у випадках, коли для розв'язання досліджуваної проблеми не є можливим використовувати кількісні методи.

Характерною особливістю таких методів є те, що вони:

- дозволяють працювати з якісною інформацією;
- базуються на структурованих процедурах збору та обробки суб'єктивних оцінок;
- використовують спеціальні шкали та техніки вимірювання якісних характеристик;
- застосовують математичний апарат для агрегування та аналізу суджень;
- враховують можливу неузгодженість та суперечливість різних точок зору;
- дозволяють отримати узагальнені результати на основі індивідуальних думок.

Для розв'язання різних прикладних задач в такій постановці, особливо із застосуванням інформаційних технологій, найбільш затребуваним стає використання існуючих, а також розробка нових експертних методів, які при дослідженні більшості об'єктів користуються великою популярністю. Особливу увагу при цьому приділяють розробці математичного апарату, який би давав можливість в тій чи іншій мірі зменшити вплив суб'єктивного фактору, що вносять експерти, розкрити нечітку інформацію, мати невелику кількість прозорих і чітких обчислень.

У цій лекції розглянемо основні підходи до формалізації якісної інформації, процедури отримання структурованих оцінок від фахівців, підходи досягнення узгодженості суджень, а також техніки впорядкування та порівняння варіантів на основі якісних критеріїв. Опанування цього методологічного інструментарію є необхідною передумовою для комплексного застосування системного аналізу, оскільки дозволяє працювати з повним спектром інформації про системи – як формалізованою, так і якісною. Методи, розглянуті в цій лекції, будуть особливо корисними на початкових етапах системного дослідження, коли необхідно визначити базові властивості системи, сформувати канали спостереження та встановити змінні і параметри – тобто

саме на тих етапах, де формальний апарат системної методології поєднується з експертними знаннями про предметну область.

4.1 Основні поняття та визначення. Проблеми формалізації якісної інформації, види процедур, основні етапи їх підготовки і проведення

Розглянемо основні поняття та визначення, що використовуються при роботі з якісно-вимірною інформацією [1, 6].

Під *експертним (суб'єктивним) оцінюванням* розумітимемо процедуру отримання оцінки проблеми на основі судження експертів (фахівців) з метою подальшого прийняття рішення.

Судження експерта або експертної групи відносно поставленої задачі прогнозу називатимемо *експертною (суб'єктивною) оцінкою*.

У випадках розгляду нової проблеми, її надзвичайної складності, неможливості математичної формалізації процесу розв'язання, недостатності наявної інформації, доводиться звертатися до рекомендацій компетентних експертів, які досконало знають проблему, – до фахівців.

Експерт – це особа, яка володіє знаннями і здатна виказати аргументовану думку з явища, яке вивчається. Їх аргументація, формування кількісних оцінок, обробка останніх формальними методами дістали назву методів експертних оцінок.

Метод експертних оцінок – процес аналізу експертами, аргументування, формування кількісних оцінок, обробка оцінок формальними методами.

Експертиза – процедура отримання суб'єктивних оцінок від експертів.

Якість одержуваних експертних оцінок значною мірою визначається підготовкою експертизи, а також вживаними методами оброблення інформації, одержуваної від експертів.

Можна виокремити *основні етапи підготовки і проведення експертизи*:

- формулювання мети дослідження;
- вибір форми дослідження, визначення бюджету експертизи;
- підготовка інформаційних матеріалів, анкет, модераторів;
- підбір експертів;
- проведення експертизи;
- опрацювання експертних даних;
- підготовку звіту з результатами експертизи.

Перед початком експертного дослідження необхідно чітко визначити його проблему (мету) і сформулювати відповідне питання для експертів.

Класифікувати існуючі види експертних оцінок можна за наступними ознаками:

– *за формою участі експертів*:

- а) очні оцінки;
- б) заочні оцінки.

Очний метод оцінювання дає змогу зосередити увагу експертів на розв'язуваній проблемі, це підвищує якість результату. В той самий час *заочний метод* може бути дешевшим;

- **за кількістю ітерацій** (повторів процедури для підвищення точності):
 - а) однокрокові;
 - б) ітераційні;
- **за задачами**:
 - а) генеруючі рішення,
 - б) оцінюючі варіанти;
- **за типом відповіді**:
 - а) ідейні,
 - б) ранжуючі,
 - в) оцінюючі об'єкт за відносною чи абсолютною (чисельною) шкалою;
- **за способом обробки думок експертів**:
 - а) безпосередні,
 - б) аналітичні;
- **за кількістю залучених експертів**:
 - а) без обмеження,
 - б) обмежені (зазвичай використовується 5-12 осіб експертів).

Після визначення форми проведення експертизи, обирають **метод експертного опитування** (інтерв'ювання, анкетування) й подальшого оцінювання.

Найвідомішими методами експертного оцінювання є наступні:

- мозковий штурм;
- метод Дельфи;
- колективної генерації ідей.

Кожному методу відповідають свої терміни проведення і кожен з них потребує експертів.

Після вибору методу експертного опитування **визначаються витрати на процедуру опитування**, які включають оплату експертів, оренду приміщення, придбання канцтоварів, оплату фахівця з проведення та аналізу результатів експертизи.

Для проведення процедури опитування необхідно підготувати інформаційні матеріали з описом проблеми, наявні статистичні дані, довідкові матеріали, бланки анкет, інвентар.

При цьому варто уникати наступних помилок:

- висловлювати ставлення керівництва до очікуваних результатів;
- згадувати розробників матеріалів;
- виділяти той чи інший варіант рішення.

Крім того, всі доступні для експертів дані мають бути нейтральними і різнобічними. Заздалегідь необхідно розробити анкети та бланки для експертів. Залежно від методу вони можуть бути з відкритими та закритими питаннями, відповідь може даватися у вигляді парного порівняння, рангового ряду, судження, у вигляді абсолютної оцінки або в балах.

У вирішенні задачі вибору експертів істотно значимими є:

- персональний підбір експертів;
- формування представницької групи експертів.

Критерії підбору експертів:

- *компетентність* (наявність знань і досвіду з розв'язуваної проблеми);
- *антиконформізм* (несхильність до впливу авторитетів);
- *креативність* (здатність вирішувати творчі завдання);
- *колективізм* (здатність працювати в колективі згідно із загально визнаними етичними нормами поведінки);
- *конструктивність мислення* (здатність давати практично значущі рішення);
- *самокритичність* (здатність критично ставитися до власної компетенції та своїх суджень);
- *наявність часу для роботи в експертних групах*;
- *зацікавленість* – наявність бажання у вирішенні проблеми, що розглядається.

Процедуру підбору експертів проводить незалежний *модератор*, який контролює дотримання регламенту, роздає анкети та матеріали, але не висловлює свою думку.

При обробці результатів опитування, залежно від цілей експертного оцінювання і обраного методу вимірювання, виникають наступні *задачі*:

- побудова узагальненої оцінки об'єктів на основі індивідуальних оцінок експертів;
- побудова узагальненої оцінки на основі парного порівняння об'єктів кожним експертом;
- визначення відносних ваг об'єктів;
- визначення узгодженості думок експертів;
- визначення залежностей між результатами оцінювання різних експертів;
- оцінка надійності результатів обробки.

За результатами експертного оцінювання оформлюється звіт, у якому вказуються: мета дослідження; склад експертів; отримана оцінка; аналіз результатів.

4.2 Загальні методи отримання та обробки якісних оцінок

Залежно від форм роботи з експертами експертні методи оцінювання для розв'язання неструктурованих проблем можна розподілити на *дві групи*:

а) *методи індивідуальної експертної оцінки* (засновані на використанні думки окремих, незалежних один від одного експертів);

б) *методи колективної експертної оцінки* (засновані на використанні колективної думки експертів).

При цьому більшою точністю володіє спільна думка, у відмінності від індивідуальної думки кожного із спеціалістів. Тому, якщо це можливо, використання колективної експертної оцінки є більш затребуваним.

До *індивідуальних методів* найчастіше відносять:

- *метод інтерв'ю* – передбачає бесіду ОПР з експертом, в ході якої ОПР відповідно до заздалегідь розробленої програми ставить перед

експертом питання щодо перспектив розвитку об'єкта дослідження. Схеми бесіди: питання-відповідь. При цьому експерт керується в основному тільки апріорними уявленнями щодо об'єкта дослідження. Успіх отриманої в такий спосіб експертної оцінки значною мірою залежить від здібності експерта експромтом давати відповіді на питання, експертиза яких проводиться.

- *метод аналітичних експертних оцінок* – заснований на отриманні інформації оцінок щодо досліджуваного об'єкта шляхом логічного аналізу. Цей метод припускає тривалу і старанну самостійну роботу експерта над аналізом тенденцій, оцінкою стану і шляхів розвитку об'єкта дослідження, а також дає можливість експерту використовувати всю необхідну йому інформацію про досліджуваний об'єкт. Свої висновки експерт оформлює у вигляді доповідної записки.

Основною перевагою індивідуальних методів є можливість максимального використання індивідуальних здібностей експерта, а також незначний психологічний тиск на експерта. Однак ці методи можуть бути мало придатними через обмеженість знань одного спеціаліста-експерта.

З метою підвищення обґрунтованості рішень для їх розроблення залучаються декілька експертів, оцінки яких зіставляються й об'єднуються між собою, створюючи колективну експертну оцінку.

Методи колективної експертної оцінки засновані на виявленні узагальненої оцінки експертної групи шляхом аналізу та обробки індивідуальних незалежних оцінок експертів, що входять до складу групи.

В основі застосування методів колективної експертної оцінки лежить гіпотеза щодо наявності у експертів умінь оцінити з достатнім ступенем вірогідності: важливість і знання проблеми фактора, параметра, напряму розвитку, ознаки тощо; час здійснення тієї чи іншої події; значення параметрів, які прогножуються; доцільність вибору одного з альтернативних шляхів розвитку об'єкта прогнозування і т. ін.

Методи колективної експертної оцінки за ознакою способу отримання інформації від експертів умовно можна розподілити на **дві великі групи**:

1. *методи групової експертизи* – найчастіше використовуються: метод дискусій (експертних комісій, нарад, суду, колективної генерації ідей (метод «мозкової атаки»)), метод сценарію, метод оперативних ігор;

2. *методи анкетування* – найчастіше використовується метод Дельфі.

До найбільш поширених методів колективної експертної оцінки відносять:

- *метод експертних комісій* – відкрита дискусія, у ході якої обговорюються проблеми, для вироблення єдиної думки фахівців. Колективна думка визначається за результатами відкритого чи таємного голосування;
- *метод нарад* – метод прийняття рішення керівником шляхом проведення наради зі своїми підлеглими, в рамках якого кожний з підлеглих висловлює свою позицію з даного питання. Після цього керівник зважує вказані аргументи та ухвалює рішення;

- **метод суду** – експерти діляться на три групи: 1) противники альтернативи – намагаються виявити її негативні сторони; 2) прихильники альтернативи рішення – виступають в якості її захисту; 3) регулює хід експертизи і виносить остаточне рішення;
- **метод сценаріїв** – сукупність правил щодо письмового викладу пропозицій фахівців з вирішуваної проблеми. **Сценарій** – документ, що містить аналіз проблеми та пропозиції для її реалізації. Спочатку пропозиції пишуть експерти індивідуально, після чого вони узгоджуються і висловлюються у формі єдиного документа;
- **метод мозкового штурму** – спільне очне обговорення проблеми групою фахівців. Метод реалізується у два етапи:
 - перший етап («конференція ідей») триває приблизно 1-1,5 години. У його ході експерти висувують різні ідеї, що стосуються трактування аналізованої ситуації чи прогнозу розвитку явища. Ідеї протоколюються, але не критикуються та не обговорюються. При цьому ідеї можуть бути самими різними, в т.ч. і «нісенітними». Головний принцип: чим більше, тим краще;
 - на другому етапі, ідеї оцінюються, обговорюються та з них вибираються найвірніші. Приймається остаточний вердикт з проблеми може шляхом явного або неявного голосування. Процедури генерації та обговорення ідей можуть бути більшою чи меншою мірою формалізовані;
- **метод оперативних ігор** – проходить у вигляді навчань, коли експерти не тільки дають оцінку обстановки, але й приймають рішення, виконуючи роль керівників. У грі, як правило, присутні обидві сторони, що беруть участь у конфлікті. Рішення приймаються за певними правилами, які регламентуються статутами і настановами. Формальна структура ігор побудована так, що основні рішення, висновки, пропозиції підлягають критичному аналізу і розбору. При цьому важливо, що в ході ігор перевіряється доцільність і правильність рішень, які приймаються в певних умовах. Досвід навчань за участю кваліфікованих експертів показує, що експертне оцінювання за допомогою таких натурних моделей сприяє системному охопленню суттєвих елементів об'єктів й процесів дослідження, дозволяє отримати узагальнені рекомендації поточного та прогнозованого характеру.

Методи анкетування – методи колективної експертної оцінки, в яких для опитування експертів використовуються анкети. Анкети можуть містити:

- питання, коли від експертів потрібно дати однозначну відповідь щодо стану прогнозованого об'єкта;
- виклад припустимої майбутньої картини деяких подій, а від експерта вимагається тільки підтвердити або відкинути їх;
- прохання оцінити важливість факторів (ознак, параметрів, напрямів розвитку тощо), кількісне значення прогнозованого параметра або границі, у яких він може знаходитись в певний момент у майбутньому.

До найбільш поширених методів анкетування відносять:

- **метод бальних оцінок** – передбачає використання бальної шкали, межі якої є визначеними та відомими експертам;
- **метод парних порівнянь** – за яким проводиться зіставлення певного досліджуваного фактору (ознаки, параметра, напряму розвитку тощо) з усіма іншими, що дає уявлення про загальну досліджувану картину або ситуацію;
- **метод Дельфи (дельфійський метод)** – сутність методу полягає в тому, щоб за допомогою серії послідовних дій (опитувань) прийти до максимального консенсусу при визначенні правильного рішення. Аналіз проводиться в кілька етапів, а отриманні результати обробляються статистичними методами.

Для отримання кількісних оцінок якісних властивостей і характеристик (для отримання як індивідуальних, так і колективних експертних оцінок) застосовують наступні методи:

- **метод асоціацій** заснований на вивченні схожого за властивостями об'єкта з іншим об'єктом;
- **метод бінарних (парних) порівнянь** заснований на зіставленні експертом альтернативних варіантів, з яких обираються найкращі;
- **метод векторів переваг** засновано на аналізі експертом всього набору альтернативних варіантів і вибору найкращих;
- **метод фокальних об'єктів** – перенесення ознак випадково відібраних аналогів на досліджуваний об'єкт;
- **метод середньої точки** – формулюються два альтернативних варіанти вирішення, один з яких є менш привабливим. Далі експерт підбирає третій альтернативний варіант, оцінка якого розташована між значеннями першої та другої альтернатив.

Для кількісного аналізу суб'єктивних оцінок експертів існують **спеціальні шкали вимірювання**: бальна, рангова, парних порівнянь, числова, вербально-числова (зі змістовними найменуваннями певних градацій і відповідними їм числовими значеннями або діапазонами числових значень) шкали.

За характером постановки питань і формою відповідей можна виділити **основні підходи до проведення обробки експертних оцінювань**:

- **метод бальних оцінок** – використовує бальну шкалу, межі якої є визначеними та відомими експертам;
- **метод абсолютних оцінок** – використовує числову шкалу абсолютних оцінок, межі якої визначено технічними характеристиками об'єкта;
- **методи ранжування** – експерти оцінюють якість об'єктів за допомогою встановлення їхнього рангу (порядкового номера об'єкта, якщо всі об'єкти розташовують у порядку зростання їхньої якості). Чим меншу (більшу) суму рангів отримає об'єкт від усіх фахівців, тим нижчою (вищою) є його якість;
- **метод відносних оцінок** – передбачає отримання від експерта відносної оцінки якості об'єкта. Цей метод використовує числову або бальну шкалу відношень і може застосовуватись, наприклад, в оцінці

відносної важливості критеріїв або коефіцієнтів відносної важливості цілей стратегії. При цьому для отримання групової оцінки об'єкта використовуються формули розрахунку середньоарифметичної та середньозваженої групових бальних оцінок. Сума відносних оцінок має дорівнювати 1;

- *методи обробки ранжируваних рядів* – парних порівнянь та безпосереднього ранжирування та ін. – застосовуються для отримання узагальненої думки експертів.

4.3 Формалізація та обробка якісної інформації, отриманої за методом Дельфі

Розглянемо проведення експертизи, формалізації та обробки якісної інформації, отриманої за використанням зібраних експертних суджень методом Дельфі, який є найбільш ефективним методом для розв'язання складних, маловивчених, унікальних проблем, що характеризуються великою невизначеністю вихідної ситуації й потребує залучення фахівців різного профілю. Цей метод вимагає значних витрат часу й чіткої організації процедури його реалізації.

Метод Дельфі є одним з методів групової (колективної) експертної оцінки й не вимагає спільної роботи членів групи. Більше того, членам групи не дозволяється зустрічатися й обмінюватися думками із приводу розв'язуваної проблеми, тобто забезпечується незалежність думок членів групи. Зібрання експертних суджень за методом Дельфі передбачає здійснення аналізу й вибору рішень шляхом виконання наступної багатокрокової циклічної процедури:

- 1 *крок*: членам групи надається інформація про проблемну ситуацію й пропонується оцінити можливі варіанти рішення за сукупністю показників;
- 2 *крок*: кожний член групи анонімно й незалежно надає оцінки й обґрунтування варіантів рішення або пропонує свої варіанти;
- 3 *крок*: всі оцінки й думки членів групи збираються й узагальнюються у зведеному документі;
- 4 *крок*: кожний член групи одержує копію зведеного документа. Ознайомлення з думкою інших учасників може змінити його думку із приводу можливих варіантів рішення проблеми.

3 та 4 *кроки* повторюються стільки разів, скільки необхідно для досягнення погодженого рішення.

Етапи проведення експертизи, формалізації та обробки якісної інформації, отриманої за використанням зібраних експертних суджень методом Дельфі:

- 1 *етап*: уточнення проблем або об'єктів для експертизи;
- 2 *етап*: розробка анкети для опитування експертів;
- 3 *етап*: формування групи експертів;
- 4 *етап*: індивідуальне анкетне опитування експертів за методом Дельфі;
- 5 *етап*: математичне опрацювання результатів опитування;
- 6 *етап*: уточнення експертами своїх оцінок.

На 6 етапі всі отримані результати пропонуються на розгляд експертам. Якщо експерти вважають за доцільне відкоригувати свою думку, то вони передають свої корективи аналітичній групі. На їх основі аналітична група розраховує нові результати за етапами 4, 5. Загалом, для формування стійкої узагальненої оцінки, етапи 4, 5, 6 можуть проводитися 3-4 рази. Підсумкова узагальнена думка, отримана в результаті реалізації всіх етапів експертизи буде основою для визначення остаточного результату дослідження.

При проведенні дослідження конкретний склад і чисельність групи експертів визначається характером аналізовуваних проблем, можливістю залучення до експертизи компетентних спеціалістів.

Ступінь компетентності K_k^i i -го експерту ($i = \overline{1, m}$) визначається за співвідношенням:

$$K_k^i = \frac{K_3^i + K_a^i}{2}, \quad (4.1)$$

де K_3^i ($i = \overline{1, m}$) – коефіцієнт ступеня знайомства i -го експерту з проблемою: $K_3^i \leq 1$; K_a^i ($i = \overline{1, m}$) – коефіцієнт аргументованості рішень i -го експерту: $K_a^i \leq 1$; m – загальна кількість експертів.

Коефіцієнт K_3^i ($i = \overline{1, m}$) ступеня знайомства i -го експерту з проблемою визначається самим i -м експертом за десятибальною шкалою (табл. 1) з подальшим множенням оцінки на 0,1.

Таблиця 4.1 – Шкала оцінки ступеня знайомства експерта з проблемою

Бали	Ступінь знайомства експерта з проблемою
0	експерт не знайомий із проблемою;
1-3	погано знайомий, але проблема входить до кола його інтересів
4-6	задовільно знайомий, але практично не займається;
7-9	добре знайомий і займається практично;
10	вузький фахівець із проблеми.

Для одержання значення коефіцієнту K_a^i ($i = \overline{1, m}$) аргументованості рішень i -го експерта використовується шкала аргументованості (табл. 2). Експерт проставляє самооцінку у відповідну графу за кожним джерелом з подальшим підсумовуванням в рядку.

Таблиця 4.2 – Шкала аргументованості

Джерело аргументів	Ступінь впливу аргументів		
	високий	середній	низький
Теоретичний аналіз	0,3	0,2	0,1
Досвід	0,5	0,4	0,2
Література	0,1	0,08	0,04
Інтуїція	0,05	0,04	0,02

При впорядкуванні анкети додержуються таких наступних вимог: анкета містить не дуже багато питань (10-20); відповіді на питання не займають багато

часу (*так, ні, або вибір зі списку*); відповіді подаються в заданій шкалі оцінок; анкета, як правило, є анонімною.

Доцільно застосовувати 10 або 100 – бальні шкали оцінок із невеличким числом градацій, кожна градація повинна бути однозначно описаною.

Всі оцінки, отримані в ході опитування групи експертів, подаються у вигляді матриці:

$$C = [c_{ij}], \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4.2)$$

де m – загальна кількість експертів; n – кількість досліджуваних експертами напрямків дослідження (критеріїв, чинників). При цьому припустимою є відсутність відповідей на питання, якщо i -й експерт утримався від оцінки якогось j -го напрямку дослідження.

Узагальнена оцінка M_j ($j = \overline{1, n}$) важливості j -го напрямку обчислюється за формулою:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^m c_{ij}}{m_j}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4.3)$$

де M_j – узагальнена оцінка важливості j -го напрямку; m_j – кількість експертів, що оцінили j -ий напрямок: $m_j \leq m$; c_{ij} – оцінка в балах, надана i -м експертом j -му напрямку.

З урахуванням коефіцієнту K_k^i ($i = \overline{1, m}$) компетентності i -го експерту маємо узагальнену оцінку важливості j -го напрямку:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^m K_k^i c_{ij}}{m_j}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4.4)$$

Після того, як усі узагальнені оцінки M_j ($j = \overline{1, n}$) важливості кожного j -го напрямку є розрахованими, можна їх упорядковувати (ранжувати) за важливістю (впливовістю, суттєвістю).

Чим вищою є узагальнена оцінка M_j ($j = \overline{1, n}$) важливості j -го напрямку, тим старшим є його ранг (місце в упорядкуванні) R_j ($j = \overline{1, n}$). На перше місце ставимо j -й напрямок з найвищою оцінкою з M_j , на останнє – із найменшою оцінкою. Таким чином, отримуємо послідовність рангів R_j , $j = \overline{1, n}$ для кожного з досліджуваних напрямків F_j , $j = \overline{1, n}$.

Наостанок, додатково, для визначення відносних коефіцієнтів значимості λ_j , $j = \overline{1, n}$ досліджуваних напрямків F_j , $j = \overline{1, n}$, використовується проста функція ранжування виду

$$\lambda_j = 2 \frac{(n+1) - R_j}{n(n+1)}, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4.5)$$

де n – кількість рангів; R_j – ранг j -го напрямку F_j , $j = \overline{1, n}$.

За результатами проведення математичного опрацювання оцінок визначається остаточний результат дослідження (встановлення впорядкування за важливістю (суттєвістю) напрямів дослідження). На 1 місце ставиться j -й напрям F_j , $j = \overline{1, n}$, з найвищою величиною рангу R_j , $j = \overline{1, n}$. На 2 місце – напрям з величиною рангу, яка є найвищою серед залишившихся, і т.д.

При цьому для визначення впорядкування застосовуються:

– **відношення переважності** (\succ), за яким $F_q \succ F_s$ означає, що напрям F_q є більш важливим (впливовим, суттєвим), ніж напрям F_s .

– **відношення еквівалентності** (\sim), за яким $F_q \sim F_s$ означає, що напрям F_q є еквівалентним (з таким самим ступенем важливості) напрямку F_s .

В такому випадку буде отримане **ітогове (результуюче) впорядкування** напрямків дослідження за їх важливістю (впливовістю, суттєвістю).

Алгоритм проведення дослідження за наданою проблемною ситуацією із використанням методу Дельфі складається з наступних етапів:

1 етап. Формулювання проблемної ситуації та розробка анкети для опитування експертів. На даному етапі:

- а) наводиться змістовий опис проблемної ситуації із зазначенням мети дослідження, за яким визначаються основні напрямки дослідження – величини F_j ($j = \overline{1, n}$);
- б) складається анкета для проведення опитування експертів за досліджуваною проблемною ситуацією, у якій експертам пропонується оцінити ступінь важливості (пріоритетності) виділених напрямків (критеріїв, факторів, чинників) дослідження F_j ($j = \overline{1, n}$) у формі табл. 4.3. за, наприклад, 10-ти бальною шкалою, поданій у табл. 4.4.

Таблиця 4.3

№ з/п	Назва напрямку дослідження	Оцінка в балах
1.	(перелік можливих напрямків F_j ($j = \overline{1, n}$))	проставляється експертом за, наприклад, 10-ти бальною шкалою з табл.4.4
...

Таблиця 4.4

Бали	Ступінь впливу напрямку F_j ($j = \overline{1, n}$)
0	не впливає;
1-2	впливає незначно, але це варто враховувати в майбутньому;
3-5	впливає середньою мірою, складно реалізується;
6-7	має значний вплив;
8-10	має визначальний вплив, що враховується насамперед.

2 етап. *Формування групи експертів, індивідуальне анкетне опитування експертів та оцінка їх компетентності.*

На даному етапі:

- а) формується група експертів з 3-5 осіб;
- б) проводиться індивідуальне анкетне опитування експертів.

Для цього кожному експерту необхідно:

- заповнити складену анкету із наведенням оцінок відносної важливості заданих напрямків дослідження F_j ($j = 1, 2, \dots, n$) (заповнити табл. 4.3 з урахуванням бальної шкали, наведеної в табл. 4.4);
- здійснити самоаналіз ступені знайомства експерта з проблемою та оцінок аргументованості його думок (заповнити табл. 4.1 та табл. 4.2). Результати самоаналізу експертів заносяться до табл. виду 4.5;
- в) за отриманими даними заповнених табл. 4.1, 4.2 проводиться оцінка компетентності експертів шляхом визначення коефіцієнтів компетентності K_k^i ($i = \overline{1, m}$) за співвідношенням (4.5). Визначені оцінки компетентностей експертів заносяться до табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати самоаналізу та оцінки компетентності експертів

Експерти	K_3^i	Джерела аргументів				K_k^i
		теоретичний аналіз	досвід	література	інтуїція	
1						
2						
...						

3 етап. *Математичне опрацювання результатів опитування.*

На даному етапі:

- а) всі оцінки експертів, отримані за досліджуваною проблемою в ході опитування групи експертів подаються у вигляді узагальненої таблиці (табл. 4.6), стовпці якої відповідають напрямкам досліджень, а рядки – експертам;

Таблиця 4.6 – Матриця оцінки важливості напрямків досліджень

Експерти (i)	Напрямки досліджень ($F_j, j = 1, 2, \dots, n$)			
	F_1	F_2	...	F_n
1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1n}
2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2n}
...	
m	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}

- б) за табл. 4.6 для кожного напрямку F_j ($j = \overline{1, n}$) за співвідношенням (4.4) розраховується узагальнена оцінка M_j ($j = \overline{1, n}$) його важливості з урахуванням компетентності експертів K_k^i ($i = \overline{1, m}$). Результати вписуються до табл. 4.6 окремим рядком;
- в) за отриманими узагальненими оцінками M_j ($j = \overline{1, n}$) здійснюється впорядкування (ранжирування) за важливістю досліджуваних напрямків. Чим вищою є M_j ($j = \overline{1, n}$), тим старшим є ранг (місце в упорядкуванні) R_j ($j = \overline{1, n}$) напрямку дослідження. На перше місце ставимо j -й напрямок з найвищою оцінкою з M_j , на останнє – із найменшою оцінкою. Результати вписуються до табл. 4.6 окремим рядком;
- г) за співвідношенням (4.5) визначаються відносні коефіцієнти значимості λ_j , $j = \overline{1, n}$ досліджуваних напрямків F_j , $j = \overline{1, n}$. Результати вписуються до табл. 4.6 окремим рядком.

4 етап. *Встановлення ітогового впорядкування за важливістю (впливовістю, суттєвістю) напрямків дослідження.*

На даному етапі знаходиться ітогове впорядкування за важливістю напрямків дослідження F_j , $j = \overline{1, n}$, з урахуванням відношень переважності та еквівалентності. На перше місце ставиться j -й напрямок F_j , $j = \overline{1, n}$, з найвищою величиною рангу R_j , $j = \overline{1, n}$. На друге місце – напрямок з величиною рангу, яка є найвищою серед залишившихся, і т.д. Таким чином, визначається остаточний результат дослідження.

4.4 Методи безпосереднього ранжування й парних порівнянь та їх використання

4.4.1 Поняття про ранжування. Основні види представлення ранжируваного ряду. Побудова ранжируваного ряду

У процесі здійснення експертизи, під час проведення експертного опитування, одержувані від експертів думки (судження) часто виражені *порядковою шкалою*, тобто експерт може сказати (та обґрунтувати), наприклад, що певний тип продукції буде привабливішим для споживачів, ніж інші; що один показник якості продукції є важливішим за інший; що перший технологічний об'єкт є небезпечнішим, ніж другий, і т.д.

Але при цьому експерт не в змозі сказати, *у скільки разів* або *на скільки* важливішою, або, відповідно, небезпечнішою є та чи інша досліджувана характеристика (показник, фактор).

У цьому зв'язку постає питання: як проводити аналіз відповідей, зібраних робочою групою експертів?

Для вирішення такої проблеми експертів часто просять надати ранжування (упорядкування) об'єктів експертизи, тобто розташувати їх у порядку зростання (або, точніше, неспадання) важливості характеристики, яка цікавить організаторів експертизи.

Під **ранжуванням** розуміється процес визначення **рангів**, під якими, в свою чергу, розуміються відносні кількісні оцінки ступенів відмінностей за якісними ознаками (наприклад, розташування факторів у порядку їх суттєвості, значимості в даному дослідницькому контексті).

Іншими словами, під **ранжуванням** розуміють розташування досліджуваних факторів у порядку їх істотності або в порядку рангів, поставлених у відповідність кожному фактору.

Отже, ранжування визначаються та вивчаються за допомогою рангів, які за своєю сутністю являють собою номери (об'єкту експертизи) у впорядкованому (ранжируваному) ряді.

Формально ранги виражаються числами 1, 2, 3, ..., але при цьому важливим є те, що над цими числами не можна проводити звичні арифметичні операції.

Наприклад, хоча $1+2=3$, не можна стверджувати, що для об'єкта, що стоїть на третьому місці в упорядкуванні (в іншій термінології – ранжуванні), важливість характеристики дорівнює сумі важливостей об'єктів з рангами 1 та 2. Так, наприклад, розглядаючи оцінки досягнень спортсменів, можна поставити питання: чи можна сказати, що спортсмен, який посів третє місце, досяг того ж результату, що й спортсмени, які посіли перше і друге місця, разом узяті?

Тому очевидно, що для аналізу подібних якісних даних необхідна не звичайна арифметика, а підхід, що дає базу для розробки, вивчення та застосування конкретних методів розрахунку. Одним із таких підходів виступає підхід, в основі якого лежить методологія ранжування.

Ранжування застосовується у випадках, коли є неможливою або недоцільною безпосередня оцінка.

При цьому ранжування об'єктів містить лише інформацію про те, який з об'єктів є кращим, та не містить інформацію про те, наскільки або у скільки разів один об'єкт переважає інший.

Розглянемо більш детально **процедуру ранжування**.

Нехай експерту пред'являється набір факторів (альтернатив, критеріїв, напрямків дослідження, розвитку), які підлягають оцінюванню, і пропонується впорядкувати їх за уподобаннями та приписати їм числа натурального ряду – ранги. Найкращий фактор отримує ранг, що дорівнює 1, наступний за ним фактор – ранг, що дорівнює 2 і т.д.

В такій постановці формалізуємо процес ранжування (тобто розташування факторів у порядку їх суттєвості) факторів x_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

Ранжируваний ряд може будуватися двома способами:

- 1) на перше місце ставиться найсуттєвіший фактор, слідом за ним менш суттєвий фактор, але найважливіший з решти, і т.д.

Отриманий таким чином ранжируваний ряд має вигляд

$$x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_n}, \quad (4.6)$$

де i_1 – номер найсуттєвішого фактору; i_2 – номер менш суттєвого фактору; ...; i_n – номер найбільш несуттєвого фактору в цьому ряді;

- 2) кожному фактору x_i ставиться у відповідність деяке число – його ранг k_i , тобто номер фактору в ранжируваному ряді (4.6):

$$\begin{aligned} x_1, & \quad x_2, \quad \dots, \quad x_n, \\ k_1, & \quad k_2, \quad \dots, \quad k_n. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Очевидно, що перший ранг ($k_i = 1$) має фактор x_i , який найбільш впливає на реалізацію мети на об'єкті дослідження. Другий і наступні ранги (до $k_i = 2$ і т.д.) ставляться у порядку спадання їх суттєвості (важливості). Наприклад, якщо ранги (4.7) виявилися такими, що відповідають представленню

$$\begin{aligned} x_i &= x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \\ k_i &= 3, 1, 5, 4, 2, \end{aligned} \quad (4.8)$$

то ранжируваний ряд має вигляд x_2, x_5, x_1, x_4, x_3 . Дійсно, з (4.8) видно, що перший ранг ($k_i = 1$) має другий фактор x_2 , другий ранг ($k_i = 2$) – п'ятий фактор і т.д. Тепер, якщо доведеться створювати, наприклад, математичну модель з трьома факторами ($n = 3$), вибір істотних чинників з (4.8) є очевидним. Це x_2, x_5, x_1 . Четвертим і третім факторами при цьому нехтуємо, причому очевидно, що збиток від цього рішення буде мінімальним, оскільки відкинуто найбільш несуттєві фактори.

Зауваження: при описі ранжированих рядів застосовуються:

- **відношення переважності** (\succ), за яким $x_q \succ x_s$ означає, що фактор x_q є більш переважним, ніж фактор x_s . Наприклад, ранжируваний ряд x_2, x_5, x_1, x_4, x_3 з різними за своєю важливістю факторами буде мати вигляд $x_2 \succ x_5 \succ x_1 \succ x_4 \succ x_3$;
- **відношення еквівалентності** (\sim), за яким $x_q \sim x_s$ означає, що фактор x_q є еквівалентним (з таким самим ступенем важливості) фактору x_s . Наприклад, ранжируваний ряд x_2, x_5, x_1, x_4, x_3 у випадку еквівалентності факторів x_1 та x_4 буде мати вигляд $x_2 \succ x_5 \succ x_1 \sim x_4 \succ x_3$.

Задача побудови рангового ряду (4.6) або еквівалентна до неї задача визначення рангів (4.7) вирішується експертами та зводиться до організації експертного опитування й обробки результатів цього опитування з тим, щоб отримати шукані ранги та оцінити їх достовірність, тобто визначити узгодженість суджень експертів.

Найчастіше на практиці застосовують **наступні методи експертного ранжування**:

1. **безпосереднього ранжування** (в даному методі експерти відразу привласнюють ранги факторам, які їм представлені для ранжування);
2. **парних порівнянь** (в даному методі використовується парне порівняння факторів, яке спрощує задачу експерту, але потребує подальшого оброблення результатів для отримання ранжируваного ряду).

4.4.2 Сутність та методологія розв'язання неструктурованих проблем за методом безпосереднього ранжування. Особливості та умови використання методу

Нехай N експертів ранжують n факторів x_1, \dots, x_n . Кожному фактору кожен експерт присвоює ранг – число від 1 до n . Так, i -му фактору ($x_i, i = \overline{1, n}$) j -й експерт ($E_j, j = \overline{1, N}$) присвоює ранг k_{ij} .

В результаті складається **матриця $K = (k_{ij})$ рангових суджень експертів**:

$$\begin{matrix} & x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ E_1 & \left\| \begin{matrix} k_{11} & k_{21} & \dots & k_{n1} \end{matrix} \right. \\ E_2 & \left\| \begin{matrix} k_{12} & k_{22} & \dots & k_{n2} \end{matrix} \right. \\ \dots & \left\| \begin{matrix} \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix} \right. \\ E_N & \left\| \begin{matrix} k_{1N} & k_{2N} & \dots & k_{nN} \end{matrix} \right. \end{matrix}, \quad (4.9)$$

де k_{ij} – ранг i -го фактору ($i = \overline{1, n}$), визначений j -м експертом ($j = \overline{1, N}$); номери рядків відповідають номерам експертів, а номери стовпців – номерам факторів; j -й рядок являє собою думку j -го експерта про усі фактори; i -й стовпець – думка усіх експертів з приводу i -го фактору.

При призначенні рангів експертами потрібно дотримуватися таких умов:

- 1) сума рангів, призначених всім факторам кожним експертом, має бути

$$\sum_{i=1}^n k_{ij} = \sum_{i=1}^n i = \frac{n(n+1)}{2}, \quad j = 1, 2, \dots, N;$$

- 2) якщо експерт якісь з q факторів вважає еквівалентними (однаковими за важливістю), то він надає їм один й той самий ранг, який дорівнює середньому арифметичному з q цілих рангів, таких, які б були отримані за умови, що експерту вдалося їх проранжувати.

Для остаточного визначення шуканих рангів слід обчислити середні ранги кожного i -го фактора:

$$\bar{k}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N k_{ij}, \quad i = \overline{1, n},$$

де на 1 місце ставиться фактор з мінімальним середнім рангом $\bar{k}_i = \min_{i=1, \dots, n} \{\bar{k}_i\}$, тобто фактор x_l , на 2 місце – фактор, що має мінімальний з решти ранг тощо.

Отримані ранги дозволяють побудувати ранжируваний ряд факторів, який і буде відповідати усередненій оцінці колективу з N експертів. В такому випадку буде отримане **ітогове (результуюче) ранжування**.

Зауважимо, що, оскільки в процесі ранжування досліджуваних факторів кожним експертом, що входить до експертної групи, встановлюваний ранг присвоюється самостійно, а, отже, можливим є вплив суб'єктивного фактору експерту, виникає необхідність обробки цих даних з метою визначення ступеня довіри ОПР отримуваному ітоговому ранжуванню, в якості міри якого виступає **узгодженість суджень експертів**. Ця оцінка є необхідною, в першу чергу, тому, що думки експертів можуть сильно розходитися за оцінюваними параметрами. Неузгоджене ранжування призводить до того, що дані коефіцієнти будуть статистично недостовірними.

В такому формулюванні узгодженість ранжування, здійсненого експертами, необхідно визначати для підтвердження правильності гіпотези про те, що експерти виробляють відносно точні вимірювання, що дозволяє формувати різні угруповання в експертних групах, які обумовлюються багато в чому людськими факторами, насамперед такими, як відмінність поглядів, концепцій, різними науковими школами, характером професійної діяльності тощо.

Узгодженість суджень експертів визначається за допомогою **коефіцієнта конкордації (критерію узгодженості)**

$$W = \frac{12}{n(n^2 - 1)} \sum_{i=1}^n \left(\bar{k}_i - \frac{n+1}{2} \right)^2,$$

причому $0 \leq W \leq 1$. При $W = 0$ судження експертів повністю розходяться; при $W = 1$ судження експертів висловлюються одногласно (повністю співпадають), що на практиці являє собою неможливий випадок. Якщо значення коефіцієнта конкордації є невеликим ($0 \leq W < 0,75$ – для технічних об'єктів та задач технічної спрямованості; $0 \leq W < 0,5$ – для економічних об'єктів та задач економічної спрямованості; $0 \leq W < 0,4$ – для екологічних й соціальних об'єктів та задач), то це означає, що ступінь довіри є достатньо низькою, а узгодженість думок експертів – досить слабкою. Причиною низької узгодженості експертів може бути або дійсно відсутня спільність думок експертів, або ситуація, коли серед експертів існують групи з високою узгодженістю думок, однак спільні думки їх при цьому є протилежними. В таких випадках для підвищення ступінь довіри можна застосувати наступне:

- 1) надати експертам досліджувані фактори для повторного ранжування;
- 2) змінити кількість експертів, що входять в експертну групу;
- 3) замінити групу експертів.

Сформулюємо **основні переваги та недоліки методу безпосереднього ранжування**, які формують особливості та умови використання методу.

До **недоліків методу** слід віднести:

- обмеженість кількості факторів, які підлягають ранжуванню. Їх кількість може становити не більше 20. Пов'язано це виключно із можливостями експертів. По суті це призводить до виникнення неточностей (похибок) при використанні методу при великому числі

- обробок, оскільки зі збільшенням кількості досліджуваних факторів експертам стає важко присвоїти об'єктивні рангові оцінки;
- високий вплив суб'єктивного фактору експерту (оскільки ранжируваний ряд не є результатом кількісних оцінок факторів, а є результатом суб'єктивної думки відповідного експерту);
 - залишається відкритим питання про те, наскільки далеко за значимістю знаходяться досліджувані об'єкти один від одного.

До переваг методу відносяться:

- низька трудомісткість методу при здійснюванні математичних обчислень;
- зручність для програмування та потреба в мінімальному обсязі використовуваних ресурсів обчислювальної техніки;
- низький рівень використовуваних ресурсів часу для проведення досліджень.

4.4.3 Сутність та методологія розв'язання неструктурованих проблем за методом парних порівнянь. Особливості та умови використання методу

Серед методів обробки експертних суджень, застосовуваних для одержання коефіцієнтів відносної важливості факторів (параметрів, ознак, напрямків розвитку і т. ін.), метод парних порівнянь вважається дуже ефективним, оскільки дозволяє визначити відносну важливість факторів, коли безпосереднє ранжування стає важким.

Згідно з цим методом усі фактори порівнюються між собою послідовно, причому кожна наступна оцінка не зв'язана з попередньою.

Нехай N експертів ранжирують n факторів x_1, \dots, x_n та отримують ранжирувані ряди. Необхідно визначити ітогове ранжування методом парних порівнянь, яке буде узагальнювати судження всіх експертів.

Для цього здійснюються наступні етапи методу парних порівнянь:

1 етап. **Складання матриці парних порівнянь для кожного експерта.**

На цьому етапі здійснюється полегшення процедури порівняння наявних факторів, для чого звичайно використовується спеціальна матриця (таблиця) парних порівнянь (табл. 4.7), в якій фактори (параметри, ознаки, напрями розвитку) розміщуються за горизонталями та за вертикалями (у верхньому рядку та в лівому крайньому стовпці).

Таблиця 4.7 – Матриця парних порівнянь

Фактори	x_1	x_2	...	x_l	...	x_n
x_1	$x_1 : x_1$	$x_1 : x_2$	...	$x_1 : x_l$	...	$x_1 : x_n$
x_2	$x_2 : x_1$	$x_2 : x_2$	...	$x_2 : x_l$	...	$x_2 : x_n$
...
x_n	$x_n : x_1$	$x_n : x_2$	...	$x_n : x_l$	...	$x_n : x_n$

За даною таблицею попарно порівнюються фактори x_i з x_l з метою визначення у кожній парі найбільш важливого (значущого) фактору. В результаті таких попарних порівнянь факторів x_i з x_l заповнюється наступна таблиця (матриця), у комірці якої вписуються результати (оцінки) q_{il} здійснених порівнянь.

При цьому ранжування в такій постановці відбувається за правилом: якщо фактор i (у рядку) є більш значущим, ніж фактор l (у стовпці), то елементу q_{il} (у комірці il) приписується «+1», в протилежному випадку – ставиться «-1». У комірках головної діагоналі (q_{il} , $i=l$) проставляються «0», оскільки порівнювальні елементи на головній діагоналі є еквівалентними самі до себе.

Отже, досліднику пропонується попарно проранжувати фактори, що формально означає, що кожній парі факторів x_i та x_l поставлено у відповідність число

$$q_{il} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_i \succ x_l; \\ 0, & \text{якщо } x_i \sim x_l; \\ -1, & \text{якщо } x_i \prec x_l. \end{cases}$$

При цьому $q_{il} = -q_{li}$.

Таким чином, судження кожного j -го експерту представляється у вигляді матриці парних порівнянь виду

$$Q^j = \|q_{il}^j\|, \quad i, l = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, N,$$

де q_{il}^j визначає оцінки q_{il} , отримані за судженням j -го експерта; кількість матриць Q^j відповідає кількості експертів, тобто N .

2 етап. Визначення матриці середніх парних порівнянь.

На даному етапі отримані на попередньому етапі матриці $Q^j = \|q_{il}^j\|$ для усереднення суджень експертів зводяться до однієї загальної матриці – матриці середніх парних порівнянь розмірності $n \times n$ виду

$$\bar{Q} = \|\bar{q}_{il}\|,$$

де \bar{q}_{il} – середнє парне порівняння i -го фактора з l -м, отримане від

$$\text{усіх } N \text{ експертів: } \bar{q}_{il} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N q_{il}^j, \quad i, l = 1, 2, \dots, n.$$

3 етап. Визначення середніх рангів за кожним i -м фактором.

На даному етапі для остаточного визначення шуканих рангів обчислюються середні ранги за кожним i -м фактором

$$\bar{q}_i = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n \bar{q}_{il}, \quad i = 1, \dots, n.$$

Такі середні ранги \bar{q}_i виступають в якості показників узагальненого судження щодо важливості факторів: чим більшою є сума i -го рядка, тим більш важливе значення має i -й фактор.

4 етап. **Визначення ітогового ранжування факторів.**

На даному етапі за обчисленими середніми рангами \bar{q}_i будується ранжируваний ряд, в якому на перше місце ставиться фактор з максимальним середнім рангом

$$\bar{q}_v = \max_{i=1, \dots, n} \{ \bar{q}_i \},$$

тобто фактор x_v (цей фактор є найсуттєвішим), на друге місце ставиться фактор, який має максимальний з решти середній ранг, і т.д. Отримані ранги дозволяють побудувати ранжируваний ряд факторів, який і буде відповідати усередненій оцінці колективу з N експертів. В такому випадку буде отримане **ітогове (результуюче) ранжування**.

З метою оцінки ступеня довіри ОПР отримуваному ітоговому ранжуванню надалі проводиться перевірка **узгодженості суджень експертів**, яка встановлюється за коефіцієнтом конкордації $0 \leq W \leq 1$ вигляду

$$W = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i,l=1}^n (\bar{q}_{il})^2.$$

При $W = 1$ судження експертів є повністю узгодженими, а при $W = 0$ вони суперечать один одному. Якщо значення коефіцієнта конкордації є невеликим ($0 \leq W < 0,75$ – для технічних об'єктів та задач технічної спрямованості; $0 \leq W < 0,5$ – для економічних об'єктів та задач економічної спрямованості; $0 \leq W < 0,4$ – для екологічних й соціальних об'єктів та задач), то це означає, що ступінь довіри є достатньо низькою, а узгодженість думок експертів – досить слабкою.

Сформулюємо **основні переваги та недоліки методу парних порівнянь**, які формують особливості та умови використання методу.

До **недоліків методу** слід віднести наступні:

- має місце невеликий вплив суб'єктивного фактору експерту (оскільки ранжируваний ряд не є результатом кількісних оцінок факторів, а є результатом суб'єктивної думки відповідного експерту);
- залишається відкритим питання про те, наскільки далеко за значимістю знаходяться досліджувані фактори один від одного.

До **переваг методу** відносяться наступні:

- немає обмеженості кількості факторів, які підлягають ранжуванню;
- експерт у процесі експертизи зосереджує свою увагу не на всіх факторах відразу, а тільки на двох, які порівнюються в даний момент (це полегшує роботу і сприяє підвищенню якості експертизи).
- здійснюється велика кількість порівнянь кожного фактору з іншими, за рахунок чого підвищується точність та відкривається можливість вивчення великої кількості ознак);
- метод дозволяє одержати не тільки середню оцінку фактору, надану кожним експертом, а й дисперсію цієї оцінки, що дає можливість проведення більш глибокого статистичного аналізу;
- допускається вимірювання нерівномірно змінюваних важливостей показників.

4.5 Застосування методів формалізації якісних оцінок при формуванні ісходних систем та систем даних

Роль якісних оцінок на початкових етапах системного дослідження. Методи формалізації та обробки якісних оцінок є невід'ємним інструментом на початкових епістемологічних рівнях системного дослідження, зокрема при формуванні ісходної системи (нульовий рівень) та системи даних (перший рівень). Ці методи забезпечують перехід від неструктурованого знання про предметну область до формалізованого опису системи в термінах науки про системи.

Визначення базових властивостей системи. Перший етап формування ісходної системи полягає у виборі базових властивостей, які визначають систему на конкретному об'єкті дослідження. Базові властивості є фундаментом для побудови всіх наступних епістемологічних рівнів, тому їх правильний вибір критично важливий для успішності дослідження.

На практиці дослідник стикається з ситуацією, коли:

- існує велика множина потенційних властивостей об'єкта;
- відсутні чіткі критерії для відбору релевантних властивостей;
- різні фахівці мають різні уявлення про важливість тих чи інших характеристик;
- немає об'єктивних даних про значущість властивостей.

У таких випадках методи ранжування дозволяють систематизувати знання фахівців предметної області. Наприклад, процедура методу парних порівнянь передбачає послідовне порівняння кожної пари властивостей з метою встановлення їх відносної важливості. Результатом є впорядкована множина властивостей, що відображає узгоджену думку групи експертів.

Наприклад, при дослідженні інформаційної системи підприємства можуть розглядатися такі властивості як продуктивність, надійність, масштабованість, вартість підтримки, зручність використання. Застосування методу парних порівнянь дозволяє ранжувати ці властивості відповідно до стратегічних цілей організації, що визначає фокус подальшого дослідження.

Для складних об'єктів з великою кількістю потенційних властивостей доцільно застосовувати метод Дельфі, який через ітеративну процедуру опитування дозволяє досягти консенсусу щодо найбільш значущих характеристик системи, уникаючи при цьому впливу авторитетних думок та групового тиску.

Формування та оцінювання каналів спостереження. Канали спостереження визначають способи отримання інформації про значення базових властивостей системи. Вибір каналів спостереження безпосередньо впливає на якість та повноту інформації, що буде використана для формування системи даних. При формуванні каналів спостереження необхідно вирішити наступні *задачі*:

- ідентифікувати можливі способи спостереження кожної базової властивості;
- оцінити надійність та точність кожного каналу;

- визначити, чи є канал чітким (детермінованим) чи нечітким;
- встановити пріоритетність каналів при наявності декількох альтернатив.

Методи обробки експертних суджень дозволяють формалізувати експертні судження про характеристики каналів спостереження. Зокрема, обробка експертних суджень, отриманих за методом Дельфі, є ефективною для оцінювання надійності каналів в умовах невизначеності, коли немає статистичних даних про їх точність.

Наприклад, для властивості «задоволеність користувачів» системою можуть бути визначені різні канали: опитування користувачів, аналіз скарг, моніторинг часу використання системи, аналіз частоти звернень до служби підтримки. Кожен канал має свої переваги та обмеження. Використання експертних оцінок, разом із методами їх обробки, дозволяє визначити, які канали забезпечують найбільш повну та достовірну інформацію.

Особливої уваги потребують нечіткі канали спостереження, які надають якісну інформацію типу «низький», «середній», «високий». У таких випадках необхідно узгодити інтерпретацію лінгвістичних термінів, що використовуються різними спостерігачами, для забезпечення сумісності даних.

Встановлення змінних та параметрів системи. На основі обраних базових властивостей формуються змінні та параметри системи. Змінна характеризує властивість, значення якої може змінюватися в межах дослідження, тоді як параметр залишається фіксованим.

Класифікація базових властивостей на змінні та параметри часто не є очевидною і потребує експертного судження. Методи структурування альтернатив допомагають формалізувати процес такої класифікації.

Крім того, необхідно визначити:

- діапазони можливих значень змінних;
- дискретність або неперервність змінних;
- масштаби вимірювання (номінальні, порядкові, інтервальні, відносні);
- взаємозалежності між змінними.

Наприклад, при моделюванні системи керування проектами властивість «тривалість завдання» може розглядатися як змінна (якщо досліджується оптимізація розкладу) або як параметр (якщо розклад фіксований і досліджується розподіл ресурсів). Використання експертних оцінок, разом із методами їх обробки, допомагають визначити коректну роль кожної властивості в конкретному контексті дослідження.

Також, для встановлення взаємозалежностей між змінними застосовуються методи парних порівнянь, що дозволяють побудувати матрицю впливів. Це особливо важливо при визначенні спрямованих систем, де необхідно ідентифікувати вхідні та вихідні змінні.

Визначення типу системи. Відповідно до методології науки про системи, існуючі системи можуть бути класифіковані за різними типами: нейтральні системи, спрямовані системи з вхідними та вихідними змінними, а також їх виродженні форми. Визначення типу системи вимагає встановлення напрямків впливу між змінними, тобто ідентифікації причинно-наслідкових

зв'язків. В багатьох предметних областях такі зв'язки не є очевидними і не можуть бути встановлені лише на основі об'єктивних даних.

Методи обробки якісних суджень в комбінації з методами експертного оцінювання дозволяють:

- встановити наявність та напрямок впливу однієї змінної на іншу;
- оцінити силу впливу;
- ідентифікувати незалежні змінні (потенційні вхідні змінні);
- виявити залежні змінні (потенційні вихідні змінні);
- визначити змінні стану системи.

Наприклад, у системі електронної комерції може бути неочевидним, чи впливає «зручність інтерфейсу» на «частоту покупок», чи навпаки, досвід частих покупок змінює сприйняття зручності. Методи обробки експертних суджень допомагають встановити причинно-наслідкові відношення, що є основою для визначення типу системи.

Робота з нечіткими даними при формуванні систем даних. При переході від існуючої системи до системи даних необхідно формалізувати інформацію, отриману через канали спостереження. Якщо канали є нечіткими, виникає задача узгодження якісних оцінок.

Основні проблеми, що виникають в такому формулюванні:

- різні спостерігачі можуть по-різному інтерпретувати лінгвістичні терміни;
- межі між категоріями можуть бути розмитими;
- необхідно забезпечити узгодженість даних від різних джерел.

Методи формалізації та обробки якісних оцінок дозволяють:

- встановити стандартизовані шкали для лінгвістичних змінних;
- визначити межі категорій через консенсус експертів;
- перевести якісні оцінки у числові еквіваленти для подальшої обробки;
- оцінити узгодженість даних від різних спостерігачів.

Наприклад, для нечіткого каналу спостереження «рівень компетентності спеціаліста» необхідно узгодити інтерпретацію термінів «початківець», «досвідчений», «експерт». Через процедури обробки експертних оцінок встановлюються критерії для кожної категорії (наприклад, через роки досвіду, кількість успішних проектів, наявність сертифікатів), що забезпечує єдине розуміння та сумісність даних.

Обмеження на вибір баз та узгодженість системи. Наука про системи накладає певні обмеження на вибір базових властивостей, які мають забезпечити коректність формування системи. Зокрема, базові властивості мають бути:

- незалежними (не виводитися одна з одної);
- достатніми для опису системи в контексті цілей дослідження;
- спостережуваними через доступні канали.

Перевірка відповідності обраних базових властивостей цим вимогам часто потребує обробки експертних оцінок. В такому випадку метод ELECTRE може бути використаний для багатокритеріального оцінювання альтернативних наборів базових властивостей за критеріями повноти, незалежності, спостережуваності та релевантності.

Інтеграція формальних та якісних підходів. Важливо усвідомлювати, що методи формалізації якісних оцінок не замінюють формальний апарат науки про системи, а доповнюють його.

Типова послідовність застосування системного дослідження в такому разі виглядає наступним чином:

- використання методів якісного оцінювання та методів їх обробки для: вибору базових властивостей; формування каналів спостереження; визначення змінних та параметрів; встановлення типу системи;
- застосування формального апарату науки про системи для: строгого визначення системи на об'єкті; формування системи даних; побудови вищих епістемологічних рівнів; аналізу властивостей системи.

Такий інтегрований підхід забезпечує, з одного боку, врахування специфіки предметної області та експертних знань, а з іншого боку – строгість та несуперечливість системного опису.

Отже, методи формалізації та обробки якісних оцінок є необхідним інструментом на початкових етапах системного дослідження, коли формується концептуальна основа для подальшого застосування формального апарату науки про системи. Ці методи дозволяють:

- систематизувати знання про предметну область;
- узгодити різні точки зору фахівців;
- формалізувати якісну інформацію;
- забезпечити обґрунтований вибір елементів вихідної системи та системи даних.

Опанування цих методів є необхідною передумовою для ефективного застосування повного циклу системного аналізу від формування вихідної системи до побудови структурованих систем вищих епістемологічних рівнів.

Питання для самоконтролю

1. Що розуміється під експертним (суб'єктивним) оцінюванням?
2. Що таке ранг? Сформулюйте поняття ранжування.
3. Які існують способи побудови ранжируваного ряду?
4. У чому полягає метод безпосереднього ранжирування?
5. Яким чином будується матриця рангових суджень експертів?
6. Як знайти ітогове ранжування методом безпосереднього ранжирування?
7. Охарактеризуйте основні етапи використання методу парних порівнянь.
8. Як будуються матриці парних та середніх парних порівнянь?
9. Як знайти ітогове ранжування методом парних порівнянь?
10. В чому полягає сутність коефіцієнту конкордації та якими є його границі змінення?