

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЕКСПЕРТНІ МЕТОДИ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ФОРМУВАННЯ ТА НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРТНИХ ЗНАНЬ

друге видання, доповнене

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Експертні методи в автоматизованих системах керування : Формування та напрями використання експертних знань : [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярощук. – 2-ге вид., допов. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,90 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 43 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 30.09.2022 р.)
за поданням Вченої ради Інженерно-хімічного факультету (протокол № 8 від 01.09.2022 р.)*

ЕКСПЕРТНІ МЕТОДИ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ФОРМУВАННЯ ТА НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРТНИХ ЗНАНЬ

Укладач: *Ярощук Людмила Дем'янівна, канд. техн. наук, доц.*

Відповідальний редактор *Жученко А. І., д-р техн. наук, проф.*

Рецензент: *Жураковська О. С., канд. техн. наук, доц.*

Навчальний посібник розкриває основи застосування емпіричного досвіду фахівців для вирішення проблем, які неможна вирішити виключно за допомогою математичного моделювання. У першій частині посібника розглянуто засади організації експертиз: наведено загальний алгоритм проведення експертиз, перелічені та описані найбільш відомі методи роботи з експертами. Друга частина посібника присвячена вивченню систем ранжування. Основну увагу приділено теоретичним засадам та практичній реалізації методів одночасного та попарного ранжування з врахуванням компетентності фахівців. Посібник є другим, доповненим виданням навчального посібника «Інтелектуальні системи управління [Електронний ресурс] : курс лекцій до теми «Системи експертного оцінювання» розділу «Основи штучного інтелекту» кредитного модуля «Інтелектуальні системи управління» для студентів спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. Л. Д. Ярощук. – Електронні текстові дані (1 файл: 673,16 КБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 40 с. Призначений для студентів спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм навчання.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ПЕРЕДМОВА

При створенні систем управління технологічними процесами різних виробничих галузей постає потреба у використанні експертних методів, які є комплексом логічних та математико-статистичних методів отримання та обробки інформації.

Назву експертні методи отримали від слова “**експерт**” (лат. *expertus* – досвідчений). **Експертом** називають людину, що є фахівцем (спеціалістом) у певній предметній області (ПО) і може пояснити свої дії та міркування. Предметною областю називають будь-яку галузь діяльності людини, наприклад, “Технічні засоби автоматизації”, “Охорона довкілля”, “Системи штучного інтелекту” тощо.

Експертні методи дозволяють ефективно застосувати емпіричний досвід фахівців у складних ситуаціях прийняття рішень, коли повна математична формалізація явищ неможлива. Вони вивчають способи та алгоритми як отримання, так і математичної обробки експертної інформації, які є результатами інтелектуальної діяльності людини. Термін “**інтелект**” походить від латинської “*intellectus*” – пізнання, розуміння. Він означає здатність мислення та раціонального пізнання і є перекладом давньогрецького слова “*нус*”, тобто “розум”. **Інтелектом** зараз називають здатність мозку розв’язувати задачі шляхом набуття, запам’ятовування та цілеспрямованого перетворення знань при навчанні, дослідженнях та адаптації до різноманітних обставин.

Експертні знання стали основою для розробки систем штучного інтелекту (ШІ, англ. *Artificial intelligence, AI*). **Штучний інтелект** – це один з напрямків інформатики, метою якого є розробка програмних засобів для формулювання та розв’язування інтелектуальних задач звичайною мовою.

Ознайомлення з положеннями штучного інтелекту стає актуальним,

оскільки розширюються сфера його використання (медицина, економіка, соціологія тощо) та коло методів його реалізації (експертне оцінювання, експертні системи, нечітке керування, нейронні мережі, змішані методи).

Інтелектуальними властивостями автоматичних систем управління є здатність цих систем брати на себе певні функції інтелекту, наприклад, вибирати і приймати оптимальні рішення на основі раніше отриманого досвіду і раціонального аналізу зовнішніх впливів.

Ключовим питанням розвитку систем III є отримання правдивих знань. Отриманням знань від спеціалістів та їх обробка до виду, придатного для узагальнень та використання в засобах обчислювальної техніки, займаються спеціалісти з психології, математичної статистики, інформатики та тих предметних областей, у яких передбачено застосування систем штучного інтелекту [1–14].

У цьому посібнику розглянуто ті аспекти створення інтелектуальних систем керування, які висвітлюють методи організації експертиз для отримання емпіричних знань від фахівців та способи обробки цих знань притаманні, зокрема автоматизації технологічних процесів.

Посібник є другим, доповненим виданням навчального посібника

Інтелектуальні системи управління [Електронний ресурс] : курс лекцій до теми «Системи експертного оцінювання» розділу «Основи штучного інтелекту» кредитного модуля «Інтелектуальні системи управління» для студентів спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. Л. Д. Ярощук. – Електронні текстові дані (1 файл: 673,16 КБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 40 с. – Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19300>

Укладачка доповнила попереднє видання оглядом літературних джерел, пов'язаних з сучасними тенденціями розвитку експертиз та поданням їх результатів.

1. МЕТОДИ РОБОТИ З ЕКСПЕРТАМИ

Для отримання знань організують різні способи спілкування з фахівцями, які називають *експертизами*. Експертизи треба організувати за певними правилами, але перед тим треба впевнитись у необхідності застосування елементів штучного інтелекту.

1.1. Передумови проведення експертиз

Проведення експертизи – складна психологічна та організаційна діяльність. При прийнятті складних рішень її результати не завжди сприймають безумовно, тому треба визначитись, у яких випадках вона доцільна. Розглянемо основні інформаційні складнощі, які можуть сприяти застосуванню експертизи :

- статистична інформація не достовірна;
- певна частина інформації має якісний характер і не піддається кількісній оцінці;
- необхідна інформація може бути отримана, але на момент прийняття рішення вона відсутня;
- існує велика група факторів, які можуть вплинути на реалізацію рішення в майбутньому, але їх неможливо точно спрогнозувати;
- існує потенційна можливість різних схем реалізації рішення, а обмеження у якихось ресурсах призводить до вибору одного варіанту за рахунок відмови від інших.

Особливості групових оцінок полягають у наступному. Досвід, інтуїція та знання допомагають спеціалісту вирішувати багато проблем у ситуаціях ризику і невизначеності. У той же час один спеціаліст не в змозі врахувати всі фактори впливу і їхні взаємозв'язки чи оцінити ймовірності значної кількості

альтернатив. Тому доцільно використовувати групи експертів.

Основна перевага групової оцінки полягає у можливості різнобічного аналізу кількісних і якісних аспектів проблем оскільки сума інформації, яка є у розпорядженні групи, більша ніж у одного експерта.

Досвід показує, що колективна відповідальність дозволяє спеціалістам приймати більш ризиковані рішення, отже інтервал оцінок у групі може включати дійсне значення оцінки.

Групові оцінки мають також недоліки, а саме:

- іноді важко сувиміряти оцінки різних експертів, насамперед тоді, коли колектив експертів неоднорідний;
- групу експертів теж може бути дезінформовано, як і одного експерта;
- часто має місце не обґрунтованість думки, а результат тиску з боку інших експертів (навіть меншості).

1.2. Організація експертиз

Методикам експертиз присвячено багато наукових та методичних видань [2, 7–9, 15–23]. Можна узагальнено визначити наступні етапи експертиз:

- 1) формулювання мети експертизи;
- 2) формування групи спеціалістів-аналітиків для проведення організаційних заходів та обробки результатів;
- 3) відбір експертів для проведення основної експертизи;
- 4) проведення опитувань;
- 5) обробка та аналіз інформації, отриманої в результаті опитування експертів;
- 6) синтез об'єктивної та суб'єктивної інформації для формування рішення.

Зупинимось детальніше на деяких етапах.

Процес *виявлення кола експертів* (стосується другого і третього етапів) звичайно складається з визначення установ, які займаються розробкою схожих питань, виявлення авторів публікацій, а пізніше з того, що кожний з учасників експертизи називає низку претендентів з кола своїх знайомих. Тривалість цього процесу обумовлюється організаторами чи замовниками експертизи (оскільки формальних методів закінчення немає, то треба керуватись здоровим глуздом).

Для оцінки рівня компетентності фахівців, яких відбирають для роботи в складі експертних груп, використовують декілька методів, серед яких: *тестовий, документальний, взаємооцінки, самооцінки і пошуку протиріч*.

Останнім часом усе більша перевага віддається тестовому методу. Оцінка компетентності при цьому визначається побудовою міри близькості еталонної шкали і шкали відповідей кожного спеціаліста.

Недоліком тестового методу є необхідність включення в тест запитань про досліджуваний об'єкт експертизи. Запитання теста, зазвичай, повинні бути такі, на які претендент в експерти може знати відповіді, а це не завжди можливо з огляду на новизну і складність досліджуваної проблеми. Це обмежує область застосування тестового методу.

Документальний метод передбачає використання даних, які можна підтвердити документально. Для фахівців-виробничників, яких залучають до експертизи стосовно хімічних виробництв, за документальні критерії компетентності можуть бути використані стаж роботи, виробничий розряд, кількість аварій за період роботи, кількість раціоналізаторських пропозицій і т. ін. Компетентність експертів від проектних та наукових організацій можна оцінити терміном роботи із схожими технологіями, кількістю впроваджених робіт (проектів), кількістю винаходів та друкованих праць, наявністю вченого ступеня тощо.

Як додаткові до вищезазначених, можуть застосовуватися методи *взаємості самооцінки*, коли компетентність фахівця оцінюють за певною шкалою або його колеги, або він сам. Шкалу визначають за домовленістю – п’ятибальна, дванадцятибальна, стобальна тощо.

Більш обґрунтованим деякі автори вважають такий підхід до оцінки компетентності, який дозволяє визначити *ступінь внутрішньої суперечливості* безпосередньо з відповідей експерта. У цьому випадку шукають протиріччя у відповідях одного експерта на одне й те саме запитання, але сформульоване по-різному. Суттєвою рисою цього методу є те, що він не визначає ступінь близькості думок експерта до об’єктивної дійсності.

Існують пропозиції оцінювати компетентність фахівця по ступеню узгодженості його думки з думкою більшості. Це не завжди буває правильно, оскільки саме оригінальна думка експерта може виявитися правильною.

Формування експертних груп із відібраних компетентних осіб проводять ще і на основі кластерного аналізу [16, 17].

Розглянемо *способи отримання знань* (четвертий етап експертизи).

Структурна схема однієї з класифікацій таких способів подана на рис. 1.1 [19]. З неї видно, що знання можна отримати від фахівців безпосередньо (комунікативні методи) та опосередковано (текстологічні методи).

Зупинимося на видах та особливостях застосування комунікативних методів. Вони можуть бути *пасивними* чи *активними*.

До *пасивних методів* належать *спостереження* за діяльністю експертів, *запис* їхніх *міркувань* у процесі роботи (так звані “думки вголос”), *лекції*, які вони можуть прочитати.

Перевагою пасивних методів є відсутність впливу на думки експертів з боку організаторів дослідження. Недоліками цих методів є невтручання організатора у хід отримання знань, яке призводить до відсутності зворотних

зв'язків при спілкуванні дослідників та експертів, а також значні відхилення від теми експертизи.

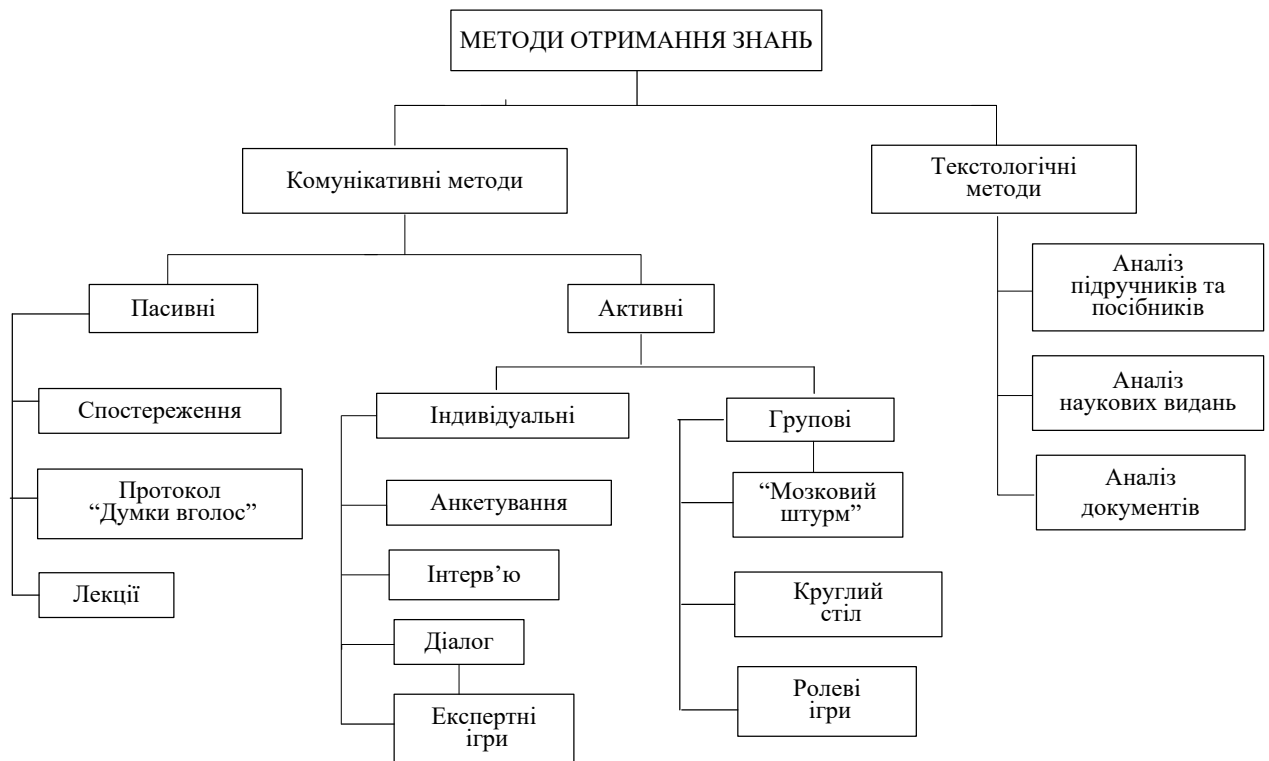


Рис. 1.1. Схема класифікації методів отримання знань від експертів

Пасивні методи, не дивлячись на відносну легкість, насправді вимагають від дослідника чітко аналізувати ланцюг міркувань експерта, виділяти та фіксувати суттєві фрагменти його знань. Пасивні методи використовують, зазвичай, на початку розробки проблеми для швидкого "занурення" дослідників у предметну область.

Активні методи передбачають спілкування між організаторами та експертами. Можливі два напрямки активної роботи з експертами: *індивідуальна робота з експертом* (анонімна чи відкрита) та *робота з групою в цілому*.

Вибір способу опитування залежить від поставленої задачі і нагальності отримання рішення.

До *індивідуальних активних методів* належать *анкетування, інтерв'ю, діалог з експертом, ігри з експертом*.

При *анкетуванні* дослідник заздалегідь складає анкету, на запитання якої відповідатиме експерт. Перевагу віддають анонімному опитуванню експертів із використанням зворотних зв'язків. Воно передбачає застосування багатотурових процедур опитування (анкетування), серед яких найчастіше застосовують *метод Дельфи* та деякі його модифікації.

В основу цього методу покладено такі передумови:

- анонімність опитування;
- проведення опитувань (анкетувань) у декілька турів;
- можливість числової відповіді на питання;
- забезпечення експертів достатньою кількістю інформації;
- супровід відповідей обґрунтуванням.

Метод передбачає відсутність безпосереднього спілкування експертів між собою, натомість проводять послідовні опитування шляхом анкетування. Після чергового анкетування оприлюднюють деякі думки, іноді експерти обґрунтовують їх і, у свою чергу, дізнаються анонімні думки інших членів експертної групи. Можлива вимога – подати не тільки думку, а і письмове пояснення цієї думки.

У результаті цього експерт на наступному турі опитування може, якщо він визнає за необхідне, змінити власну думку або уточнити оцінку.

Якщо перед організаторами стоїть задача досягнення згоди між експертами, то є сенс на кожному турі підраховувати середню оцінку (медіану) і показник розсіювання оцінок (інтервал між крайніми значеннями) і повідомляти їх всім експертам.

Тих експертів, які дали крайні оцінки, просять письмово обґрунтувати свою думку, і з цими обґрунтуваннями організатори опитування знайомлять інших учасників експертизи. Такі ітерації закінчують тоді, коли, на думку організаторів, буде досягнуто необхідної узгодженості думок.

В описаному випадку в кожному турі опитувань можуть брати участь всі учасники експертизи.

Якщо задача досягнення згоди не є основною, то багатотурова процедура продовжується доти, доки оцінки експертів не перестануть змінюватися. Повторення анкетувань призводить не так до зближення оцінок, як до їхньої стабілізації.

Відмінності між модифікаціями методу Дельфи полягають у тому, які думки пропонують оприлюднювати, чи обґрунтовують їх, який принцип припинення експертизи.

Кількість турів можна скоротити, якщо на перших турах залучати більш компетентних експертів.

За міру відмінності оцінок експертів у $(k - 1)$ – у та k – у турах може бути прийнята величина ρ_k .

Вона дорівнює відношенню кількості експертів, NE_k , які змінили свої оцінки між $(k - 1)$ – м і k – м турами, до загальної кількості експертів, NE :

$$\rho_k = \frac{NE_k}{NE}.$$

Використання комп'ютерів полегшує проведення експертизи і час опрацювання експертних оцінок.

Інтерв'ю – це форма спілкування між дослідником та експертом, при якій дослідник ставить заздалегідь підготовлену чергу запитань. Можна замінити ці запитання на інші у відповідності до ситуації.

Діалог – це метод отримання знань у формі бесіди між дослідником та експертом, коли немає жорстко регламентованого плану проведення і визначеного заздалегідь переліку запитань.

Ігри з експертом (експертні ігри) – це експерименти, у яких фахівцю пропонують важливі ситуації з предметної області. Фахівець повинен запропонувати рішення по виходу з цих ситуацій на основі свого життєвого досвіду, спеціальних знань та уявлень.

До методів *активної роботи з групою в цілому* належать методи *круглого столу, мозкового штурму та рольові ігри*.

“*Круглий стіл*” передбачає обговорення певної проблеми, у якому приймають участь експерти з однаковими правами. Задача дискусії – вивчити проблему всебічно, тому слід запрошувати експертів, які належать до різних наукових напрямків, мають різний вік, стать і т.ін. Цей метод не передбачає терміновості прийняття рішення.

“*Мозковий штурм (атака)*” – один із найбільш поширених методів активізації думок. Його застосовують у тих випадках, коли потрібно знайти вирішення певної проблеми за дуже короткий час. Під час такого обговорення кожний експерт повинен запропонувати свій шлях розв’язання задачі або розвинути думку іншого учасника.

Особливість цього метода – заборона критики думки іншого експерта. Зазвичай “штурм” відбувається недовго (не більше години), на висловлювання дають до п’яти хвилин. Під час цієї процедури настає момент піка (ажіотажа), коли стрімко зростає поява нових думок. Рекомендують для участі у цій процедурі запрошувати не більше 10 експертів.

Рольові ігри (експертні ігри) – це експерименти, у яких колективу спеціалістів пропонують складні ситуації з предметної області. Спеціалісти у процесі відкритого обговорення приймають рішення про шляхи виходу з цих ситуацій.

При роботі з групою доцільно фіксувати хід обговорення за допомогою магнітофона чи відеокамери. Це дозволяє виконати більш глибокий аналіз перебігу та результатів експертизи.

Треба зазначити, що суміщення активних і пасивних методів суттєво підвищує ефективність отримання знань від експертів.

2. МЕТОДИКИ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ

Експертне оцінювання є одним із способів отримання та використання знань фахівців про предметну область, в основу якого покладено ранжування.

Ранжування – це процедура впорядкування будь-яких об’єктів за зростанням або спаданням деякої властивості.

Системи експертного оцінювання (СЕО) призначені для апріорного (до проведення дослідів) ранжування експертами факторів впливу (чинників) на певне явище.

При автоматизації технологічних процесів системи експертного оцінювання можуть розв’язувати такі задачі:

- оцінювати тісноту зв’язків між технологічними змінними, вимірюваними як автоматично, так і органолептично;
- вибирати фактори для включення у математичну модель;
- визначати пріоритетність встановлення контрольно – вимірювальної апаратури;
- вибирати керувальні впливи;
- визначати причини аварійних ситуацій;
- передбачати час появи аварії або іншої події;
- визначати черговість усунення наслідків аварій;
- формувати задачі керування;
- вибирати структуру системи автоматизації;
- вибирати технічні засоби автоматизації тощо.

На відміну від відсівальних експериментів, СЕО не потребують проведення дослідів на об’єктах.

Відомо багато різних методів ранжування. Можна проводити анкетне опитування, а можна штучно розігрувати дискусії, після яких збирати думки

спеціалістів і т. ін. Існує більше двох десятків способів постановки запитань перед спеціалістами і обробки отриманих результатів [2, 3, 6–9, 15–17, 19, 21–23, 25–29].

Вважають, що значення факторів не виходитимуть за припустимі межі і не призведуть до розладу процесу. Якщо кількість факторів велика, то при ранжуванні доцільно застосовувати метод дихотомії, що полягає в послідовному поділі сукупності змінних на дві групи. До однієї з них вносять змінні, що впливають на вихідну змінну більше, а до іншої – менше.

Розглянемо детально дві методики роботи експертів у системах експертного оцінювання: одночасне та попарне ранжування.

2.1. Одночасне ранжування факторів

Спеціалістам пропонують ранжувати всі чинники, які включено в анкету, по ступеню їхнього впливу на певний показник. Найважливіший, з точки зору спеціаліста, чинник одержує ранг 1, менш суттєвий – ранг 2 і т.д.

Якщо спеціаліст вважає два або більше чинників однаково важливими, він має право поставити їм однакові ранги.

В експериментальній психології встановлено, що ранжування чинників може залежати від порядку, у якому вони подаються фахівцю. Тому в анкетах порядок розташування чинників доцільно зробити випадковим і повідомити про це фахівців перед початком опитування. Розглянемо метод одночасного ранжування на прикладі.

Приклад 2.1. Вісім експертів ($NE=8$) залучені до оцінки ступеня впливу дев'яťох ($K=9$) вхідних змінних на вихідну змінну об'єкта керування. У табл. 2.1, яка називається *матрицею ранжування*, наведено результати роботи фахівців. Треба визначити відносний ступінь впливу кожного з факторів на вихідну змінну об'єкта та перевірити узгодженість думок експертів.

Таблиця 2.1. Матриця ранжування

Експерти $i = \overline{1,8}$	Вхідні змінні (фактори), $j = \overline{1,9}$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	$K=9$
1	1	7	2	3	6	4	5	8	8
2	2	3	6	4	9	1	8	7	5
3	1	4	3	2	6	1	5	1	2
4	3	6	5	4	7	1	6	5	2
5	2	5	3	4	7	6	6	1	2
6	1	5	5	2	6	6	7	3	4
7	2	5	6	3	7	8	9	1	4
$NE=8$	1	3	4	2	5	1	6	1	2

Розв’язання. Оскільки в матриці ранжування є ранги, що співпали (так звані “зв’язані”), то приведемо її спочатку до *нормального виду*. У нормальній матриці сума кожного рядка дорівнює $K(K+1)/2$.

У нормальній матриці змінним, які в одному рядку мають однакові ранги, надають ранг, що дорівнює середньому значенню тих місць, які ці змінні поділили між собою. Так, 8 – й і 9 – й вхідним змінним експертом 1 був наданий однаковий ранг – 8. У результаті приведенні матриці до нормального виду їм надають ранг $(8+9)/2=8,5$. Наведемо в табл. 2.2 нормальну матрицю ранжування.

Таблиця 2.2. Нормальна матриця ранжування

Експерти $i = \overline{1,8}$	Вхідні змінні, $j = \overline{1,9}$										T_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Повто- рення	
1	1	7	2	3	6	4	5	8,5	8,5	2	6
2	2	3	6	4	9	1	8	7	5	-	-
3	2	7	6	4,5	9	2	8	2	4,5	3;2	30
4	3	7,5	5,5	4	9	1	7,5	5,5	2	2;2	12
5	2,5	6	4	5	9	7,5	7,5	1	2,5	2;2	12
6	1	5,5	5,5	2	7,5	7,5	9	3	4	2;2	12
7	2	5	6	3	7	8	9	1	4	-	-
8	2	6	7	4,5	8	2	9	2	4,5	3;2	30
$\sum_{i=1}^{NE} a_{ij}$	15,5	47	42	30	64,5	33	63	30	35		

Тепер за даними табл. 2.2 підрахуємо суми рангів $\sum_{i=1}^{NE} a_{ij}$, які набрав j -й фактор після опитування усіх NE експертів. Ці суми будуть основними показниками сили впливу факторів на досліджувану властивість.

З наведеного прикладу очевидно, що найбільший вплив на досліджувану вихідну змінну має 1-й фактор. Далі йдуть фактори 4, 8, 6, 9, 3, 2, 5, 7.

Після отримання результатів експертизи варто перевірити гіпотезу про наявність узгодженості у думках спеціалістів. Перевірку виконують за допомогою коефіцієнта конкордації Кендалла (*Maurice George Kendall*), W [7, 9, 18, 22, 24, 26, 29–31]. Значення цього коефіцієнту знаходяться у діапазоні $\overline{0,1}$. Чим краща узгодженість думок, тим більший W .

Статистичну значущість коефіцієнта W оцінюють шляхом перевірки статистичних гіпотез:

$$\begin{aligned} H_0 : W &= 0; \\ H_1 : W &\neq 0. \end{aligned} \quad (2.1)$$

При підтвердженні основної гіпотези H_0 буде визнано, що думки експертів не узгоджені. При відхиленні цієї гіпотези, приймемо альтернативну гіпотезу H_1 , що вказує на узгодженість думок.

Критерієм перевірки гіпотези H_0 є критерій Пірсона (χ^2 – критерій).

Для розрахунку W використовують дві формули:

- для незв'язаних рангів

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^K \Delta_j^2}{NE^2 \cdot (K^3 - K)};$$

- для зв'язаних рангів

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^K \Delta_j^2}{NE^2 \cdot (K^3 - K) - NE \cdot \sum_{i=1}^{NE} T_i}.$$

де $\sum_{j=1}^K \Delta_j^2$ – сума квадратів відхилень суми рангів кожного фактору від загальної середньої суми рангів, T_i – параметр, який враховує повторення рангів у відповідях експертів.

Зазначену суму квадратів обчислюють за формулою:

$$\sum_{j=1}^K \Delta_j^2 = \sum_j^K \left(\sum_{i=1}^{NE} a_{ij} - \frac{\sum_j^K \sum_{i=1}^{NE} a_{ij}}{K} \right)^2.$$

Вона характеризує розсіювання результатів ранжування.

Показник T_i розраховують для кожного i – о рядка (для кожного i – о експерта) таблиці ранжування (табл. 2.2.) за наступною формулою

$$T_i = \sum_{l=1}^L (t_{il}^3 - t_{il}),$$

де L – кількість груп рангів, які повторюються у i -у рядку; t_{il} – кількість повторень l – о рангу у відповідях i -о експерта. Наприклад, у першого експерта двічі зустрічається тільки ранг 8,5 ($L = 1$), тому $t_{11}=2$, у 2 – о експерта повторень немає ($L = 0$), у 3 – о експерта тричі повторюється ранг 2 і двічі – 4,5, тому $t_{31}=3$; $t_{32}=2$ ($L = 2$).

Отже, для 1 – о експерта: $L = 1$; $T_1 = 2^3 - 2 = 6$.

Для 3 – о експерта: $L = 2$; $T_3 = 3^3 - 3 + 2^3 - 2 = 27 - 3 + 8 - 2 = 30$.

Значення критерію для зв'язаних і незв'язаних рангів розраховують за виразом

$$\chi^2 = NE(K-1)W.$$

Розраховане χ^2 порівнюють із табличним при обраному рівні значущості α і кількості степенів вільності $NU=K-1$. Гіпотезу H_0 відкидають, а отже визнають узгодженість у думках спеціалістів тоді, коли виконується умова

$$\chi^2 \geq \chi_{tabl}^2. \quad (2.2)$$

2.2. Попарне ранжування факторів

При використанні цієї методики фахівцям пропонують порівнювати чинники попарно для того, щоб визначити у кожній парі найбільш важливий (значущий). Експерта просять заповнити таблицю попарних порівнянь таким чином: якщо фактор i (у рядку) більш значущий ніж фактор j (у стовпці), то у комірці ij треба записати 1, інакше – треба записати 0.

У комірках головної діагоналі таблиці проставляють прочерки. Наведемо приклад заповнення таблиці ранжування (табл. 2.3).

Таблиця 2.3. Таблиця попарних порівнянь одного з експертів

	x_1 ($j=1$)	x_2 ($j=2$)	x_3 ($j=3$)	x_4 ($j=4$)
x_1 ($i=1$)	-	1	1	0
x_2 ($i=2$)	0	-	1	0
x_3 ($i=3$)	0	0	-	0
x_4 ($i=4$)	1	1	1	-

Після того, як всі фахівці заповняють свої таблиці, організатори експертизи створюють підсумкову таблицю. У кожній ij – й комірці останньої записують число, яке є сумою чисел відповідних комірок усіх таблиць фахівців.

Далі підсумовують ранги в кінцевій таблиці окремо по рядках, окремо по стовпцях. Отримані суми рангів i визначають результат. Можна використовувати суми тільки по рядках, або тільки по стовпцях. Визначають обидві суми тільки заради перевірки результату.

Якщо порівнювати суми по рядках, то 1 – е місце отримує той фактор, який набрав найбільшу суму рангів, а якщо порівнювати по стовпцях – найменшу.

Для того, щоб зробити остаточні висновки за результатами ранжування, треба перевірити узгодженість думок експертів.

Узгодженість у думках спеціалістів визначають за допомогою коефіцієнта конкордації W , перевіряючи гіпотези (2.1).

У разі попарних порівнянь запропоновано розраховувати наступний коефіцієнт узгодженості W [26, 29, 30]

$$W = \frac{Q}{Q_{\max}}, \quad (2.3)$$

де

$$Q = \sum_{i=1, j=1}^K a_{ij}^2 - NE \cdot \sum_{i=1, j=1}^K a_{ij} + C_{NE}^2 \cdot C_K^2; \quad (2.4)$$

$$Q_{\max} = \frac{NE \cdot (NE - 1) \cdot K \cdot (K - 1)}{4}; \quad (2.5)$$

де a_{ij} – числа, що знаходяться у комірках вище або нижче діагоналі підсумкової таблиці рангів.

Нагадаємо, що значення біноміального коефіцієнта виду C_n^r , розраховують так:

$$C_n^r = \frac{n!}{r!(n-r)!}.$$

Таким чином, визначаємо W за виразом

$$W = \frac{4 \left[\sum_{i=1, j=1}^K a_{ij}^2 - NE \cdot \sum_{i=1, j=1}^K a_{ij} + \frac{NE \cdot (NE - 1) \cdot K \cdot (K - 1)}{4} \right]}{NE \cdot (NE - 1) \cdot K \cdot (K - 1)}. \quad (2.6)$$

Для порівняно великих NE та K , як і у попередньому випадку, використовують χ^2 – критерій. Його розрахункове значення знаходять таким чином

$$\chi^2 = \frac{4}{NE - 2} \left(Q - 0,5 \cdot C_{NE}^2 \cdot C_K^2 \cdot \frac{NE - 3}{NE - 2} \right). \quad (2.7)$$

Кількість степенів вільності, NU для цього критерію визначають так:

$$NU = C_K^2 \cdot \frac{NE(NE - 1)}{(NE - 2)^2}. \quad (2.8)$$

Гіпотезу H_0 відкидають, визнаючи узгодженість у думках спеціалістів тоді, коли (при вибраному рівні значущості α та кількості степенів вільності NU) виконується умова (2.2). Розглянемо застосування цього методу на прикладі.

Приклад 2.2. Десять експертів ($NE = 10$) ранжують 5 ($K = 5$) факторів. У табл. 2.4 подано результати ранжування. Треба визначити відносний ступінь впливу кожного з факторів на вихідну змінну об'єкта та перевірити узгодженість думок експертів.

Таблиця 2.4. Підсумкова таблиця ранжування

Номери факторів	1	2	3	4	5	Суми
1	-	10	7	6	1	24
2	0	-	3	5	2	10
3	3	7	-	8	3	21
4	4	5	2	-	2	13
5	9	8	7	8	-	32
Суми	16	30	19	27	8	100

Розв'язання. У таблиці вказані суми рангів як по стовпцях, так і по рядках табл. 2.4. Отже, згідно з даними остаточної матриці ранжування, найсуттєвішим слід визнати 5-й фактор, а далі за ступенем убуття впливу: 1-й, 3-й, 4-й, 2-й.

З метою перевірки узгодженості думок експертів розрахуємо величину Q для тих комірок, які розташовані вище діагоналі, скориставшись формулою (2.4):

$$Q = (100+49+36+1+9+25+4+64+9+4) - 10 \cdot (10+7+6+1+3+5+2+8+3+2) + 45 \cdot 10 = 301 - 470 + 450 = 281.$$

Показник $Q_{\max}$ розрахуємо за (2.5.):

$$Q_{\max} = \frac{10 \cdot 9 \cdot 5 \cdot 4}{4} = 450.$$

Коефіцієнт узгодженості визначимо за формулою (2.6)

$$W = \frac{281}{450} = 0,624.$$

Розрахункове значення χ^2 - критерію розрахуємо за виразом (2.7):

$$\chi^2 = \frac{4}{10-2} (281 - 0,5 \cdot 45 \cdot 10 \cdot \frac{10-3}{10-2}) = 42.$$

Кількість степенів вільності визначимо, скориставшись (2.8):

$$NU = 10 \frac{10 \cdot 9}{8^2} = 14,05 \approx 14.$$

З таблиць χ^2 - розподілу для $NU = 14$ та $\alpha=0,05$ знаходимо $\chi_{\text{tabl}}^2 = 23,7$.

Видно, що виконується умова (2.2), тому H_0 не можна прийняти. Таким чином, коефіцієнт узгодженості думок експертів W визнаємо значущим та обґрунтовано використаємо результати експертного ранжування.

2.3. Оцінювання компетентності експертів

При проведенні опитувань доцільно враховувати компетентність спеціалістів, оскільки вони мають, як правило, різну кваліфікацію. Існують різноманітні способи оцінки компетентності (див. п.1.2).

У результаті опрацювання даних про експертів, одержують таблиці ранжування, аналогічні тим, що були при ранжуванні факторів. На їх основі перевіряють узгодженість критеріїв компетентності групи експертів і визначають “вагу” думки кожного з них [26, 31–34].

Приклад 2.3. Використано два ($KR = 2$) документальні критерії компетентності експертів – стаж роботи та виробничий розряд. Дані про експертів занесені у табл. 2.5. Визначити показники компетентності експертів.

Таблиця 2.5. Критерії компетентності експертів

№ експерта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Стаж роботи (років)	0,5	5	3,5	0,5	1,5	1	0,4	8	3	6
Виробничий розряд	5	6	6	4	5	4	3	5	6	5

Розв’язання. Переведемо ці дані у ранги. Принцип такий - чим більший стаж роботи, або розряд, тим менший ранг.

У табл. 2.6 наведено нормальну матрицю ранжування експертів.

Таблиця 2.6. Нормальна матриця ранжування експертів

№ ранжування $j = 1, KR$	№ експерта ($i = \overline{1, NE}$)										Повторення
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 (за стажем)	8,5	3	4	8,5	6	7	10	1	5	2	2
2 (за розрядом)	5,5	2	2	8,5	5,5	8,5	10	5,5	2	5,5	3;4;2
$\sum_{j=1}^{KR} y_{ji}$	14	5	6	17	11,5	15,5	20	6,5	7	7,5	
Місце експерта при врахуванні двох критеріїв компетентності	7	1	2	9	6	8	10	3	4	5	

Далі доцільно оцінити узгодженість ранжування компетентності спеціалістів. Виконаємо це так само, як при ранжуванні окремих факторів.

Для з'ясування узгодженості ранжування самих експертів розраховують коефіцієнт конкордації за таким алгоритмом:

- обчислюють середній ранг нормальної матриці рангів:

$$B = \frac{1}{2} KR(NE + 1) = 11;$$

- обчислюють суму квадратів різниць між елементами сумарного ранжування і елементами ряду, який складено із середніх значень:

$$S_e = \sum_{i=1}^{NE} \left(\sum_{j=1}^{KR} y_{ij} - B \right)^2 = 256;$$

де $\sum_{j=1}^{KR} y_{ji}$ – сума рангів, отриманих i -м експертом у результаті KR ранжувань;

- обчислюють коефіцієнт конкордації ранжування експертів:

$$W_e = \frac{12S_e}{KR^2(NE^3 - NE) - KR \sum_{j=1}^L P_j},$$

де L – кількість рядків у таблиці нормальної матриці рангів, які містять однакові ранги (для розглянутого прикладу: $L=2$); P_j - параметр, який розраховують за формулою

$$P_j = \sum_{u=1}^U (p_{j,u}^3 - p_{j,u}),$$

де U – кількість типів “зв'язаних” рангів у j – у рядку (так, для $j = 1$ маємо $U = 1$; для $j = 2$, $U = 3$); $p_{j,u}$ відіграє ту саму роль, що і $t_{i,l}$ у табл. 1.2 – це кількість повторювань u – о рангу у j -у рядку.

У результаті обчислень отримуємо

$$P_1 = 2^3 - 2 = 6; \quad P_2 = 3^3 - 3 + 4^3 - 4 + 2^3 - 2 = 24 + 60 + 6 = 90;$$

$$\sum_{j=1}^2 P_j = P_1 + P_2 = 6 + 90 = 96;$$

$$W_e = \frac{12 \cdot 256}{2^2(10^3 - 10) - 2 \cdot 96} = \frac{12 \cdot 256}{4 \cdot 10 \cdot 99 - 192} \cong 0,82 .$$

Статистичну значущість коефіцієнта конкордації W_e оцінюють за χ^2 – критерієм. Його розрахункове значення визначають так

$$\chi^2 = KR \cdot (NE - 1) \cdot W_e = 14,76.$$

При рівні значущості $\alpha = 0,1$ і ступенях вільності $NU = NE - 1 = 9$, табличне значення $\chi_{tabl}^2 = 14,7$, отже виконується умова

$$\chi^2 > \chi_{tabl}^2 .$$

У наведеному прикладі ранжування експертів можна вважати узгодженим тільки при $\alpha = 0,1$.

Якщо умова (2.2) не виконується, то можливі два варіанти подальших дій:

а) перервати розв'язання основної задачі, знову розпочати експертне опитування, приділивши більшу увагу формуванню критеріїв компетентності та відбору експертів;

б) довести задачу до кінця і визначити доцільність її повторення тепер вже з урахуванням остаточного результату.

Оскільки обидва варіанти при розрахунку на комп'ютері забирають практично однаковий час, то є смисл завершити всі обчислення, а вже потім приймати рішення про подальші дії.

Пропорційно сумі рангів, яку одержує той або інший спеціаліст, для кожного з них визначають “вагу” думки, δ .

Того спеціаліста, який має найменшу суму рангів, $(\sum_{j=1}^{KR} y_{ji})_{\min}$, визнають найдосвідченішим, “вага” його думки становитиме $\delta = 2$. Найменш досвідчений одержав найбільшу суму рангів, $(\sum_{j=1}^{KR} y_{ji})_{\max}$, “вага” його думки – $\delta = 1$. Для визначення “ваги” думок інших спеціалістів використовують лінійне рівняння

$$\delta_i = a + b \sum_{j=1}^{KR} y_{ji}. \quad (2.9)$$

Для розрахунку параметрів a і b складають систему рівнянь

$$\begin{cases} 2 = a + b(\sum_{j=1}^{KR} y_{ji})_{\min} \\ 1 = a + b(\sum_{j=1}^{KR} y_{ji})_{\max} \end{cases}.$$

З цієї системи визначають параметри a і b і підставляють їх у (2.9).

Для нашого прикладу

$$\begin{cases} 2 = a + b \cdot 5; \\ 1 = a + b \cdot 20. \end{cases}$$

Розв’язавши цю систему, отримуємо $a = 7/3$, $b = -1/15$.

Остаточно вагові коефіцієнти мають такі значення

$$\delta_1 = 1,40; \quad \delta_6 = 1,30;$$

$$\delta_2 = 2,00; \quad \delta_7 = 1,00;$$

$$\delta_3 = 1,93; \quad \delta_8 = 1,90;$$

$$\delta_4 = 1,20; \quad \delta_9 = 1,87;$$

$$\delta_5 = 1,57; \quad \delta_{10} = 1,83.$$

Якщо ранжування факторів виконують з урахуванням компетентності спеціалістів, то висновок про ступінь впливу факторів на обраний критерій

роблять не по сумі $\sum_{i=1}^{NE} a_{ij}$, а по сумі $\sum_{i=1}^{NE} (a_{ij} \cdot \delta_i)$.

Для метода *одночасного ранжування* це означає, що кожний ранг нормальної матриці ранжування, який належить i – у експерту, помножують на ваговий коефіцієнт думки цього експерта δ_i . У табл. 2.7 (фрагмент табл. 2.2) наведено приклад урахування “ваги” думок перших двох експертів.

Таблиця 2.7. Нормальна матриця ранжування з урахуванням “ваги” думок експертів

Експерти $i = \overline{1,8}$	Вхідні змінні, $j = \overline{1,9}$										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Повто- рення	T_i
1	1·1,4	7·1,4	2·1,4	3·1,4	6·1,4	4·1,4	5·1,4	8,5·1,4	8,5·1,4	2	6
2	2·2	3·2	6·2	4·2	9·2	1·2	8·2	7·2	5·2	-	-

У випадку *попарного ранжування* на ваговий коефіцієнт δ_i помножують кожний елемент матриці i – о експерта.

2.4. Візуалізація результатів експертизи

Для аналізу результатів *попарного* ранжування будують діаграми рангів з осями $\sum_{i=1}^{NE} a_{ij}$ або $\sum_{i=1}^{NE} (a_{ij} \cdot \delta_i)$ по вертикалі та позначенням номера фактору по горизонталі.

Побудова діаграми для **одночасного** ранжування має особливості, викликані тим, що найвагоміший фактор буде відображатися на ній найнижчим стовпчиком. Це дещо викривлює сприйняття результатів ранжування. Для того, щоб отримати візуальну відповідність для співвідношення «найвагоміший → найвищий», діаграму формують інакше. Особливості її побудови видно на рис. 2.1.

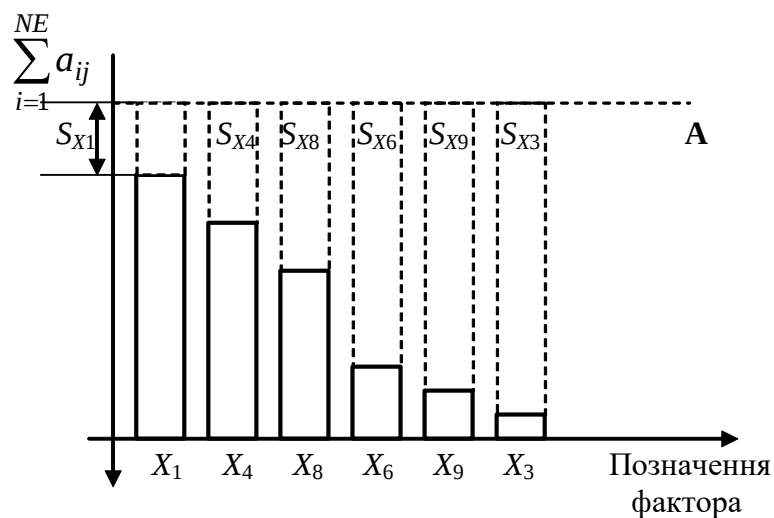


Рис. 2.1. Діаграма для одночасного ранжування факторів

З цього рисунка видно, що суми $\sum_{i=1}^{NE} a_{ij}$ відкладають не від нульового рівня, а від такого, який дещо перевищує найбільшу з цих сум.

На рис. 2.1 цей рівень позначено пунктирною лінією A , а значення суми для j – о фактору – виразом S_{Xj} .

Діаграми рангів можуть мати різний вид:

- зменшення майже експоненціальне – цей випадок із значними спадами на початку найбільш сприятливий – можна досить впевнено розділити фактори на групи і за певним критерієм відсіяти несуттєві;

зменшення підпорядковується параболічному закону – у цьому випадку також можна згрупувати фактори і відсіяти ті, що не суттєво впливають на проблему;

- зменшення майже лінійне – цей випадок поганий, оскільки експерти хоч і вбачають різницю у впливах факторів, але досить невпевнено, тому краще не відкидати фактори за результатом ранжування;

- розподіл факторів майже рівномірний – ця ситуація теж погана, оскільки або експерти не можуть розрізнити фактори по ступеню впливу, або всі ці фактори дійсно впливають майже однаково; до цього може призвести недостатня апріорна інформація для роботи експертів.

2.5. Сучасні тенденції розвитку експертиз та подання результатів

Основи організації експертиз (п. 1.2) та методики ранжування (п. 2), наведені у попередніх матеріалах, залишаються більш-менш стабільним матеріалом, але в цілому постійно розвиваються різні аспекти експертиз. Такий стан речей має наступні причини:

- питання прогнозування станів та прийняття рішень стосується більшої кількості предметних областей, які мають свої власні особливості і потребують застосування нових чи адаптування існуючих методик;
- у навколишньому світі (у предметних областях) розширюється коло об'єктів, для керування якими недостатньо використовувати тільки традиційну математику, а треба долучати емпіричний досвід;
- відбувається розвиток наукових напрямків, пов'язаних з психологією людини, що треба враховувати при роботі з експертами;
- розширюються можливості комп'ютерних технологій опитування та обробки результатів експертиз.

Наведемо огляд сучасної літератури, пов'язаної з темою посібника.

У працях [35–38] особлива увага приділена аналізу впливів на результат експертного оцінювання.

Автори наводять додаткові методи подання інформації, які дозволяють експертам сформулювати свій висновок при опитуванні.

На рис. 2.2 наведено приклад діаграми Ісікави [35] при дослідженні для визначення впливу факторів на діяльність вищого навчального закладу (ВНЗ). Серед факторів, наприклад, групи 2 (показники технічного рівня) вказані такі: 2.1. – кількість опублікованих підручників і навчальних посібників з грифом Міністерства освіти і науки; 2.2. – кількість нових робочих програм та планів; 2.3 – кількість розроблених національних стандартів, враховуючих положення міжнародних стандартів.

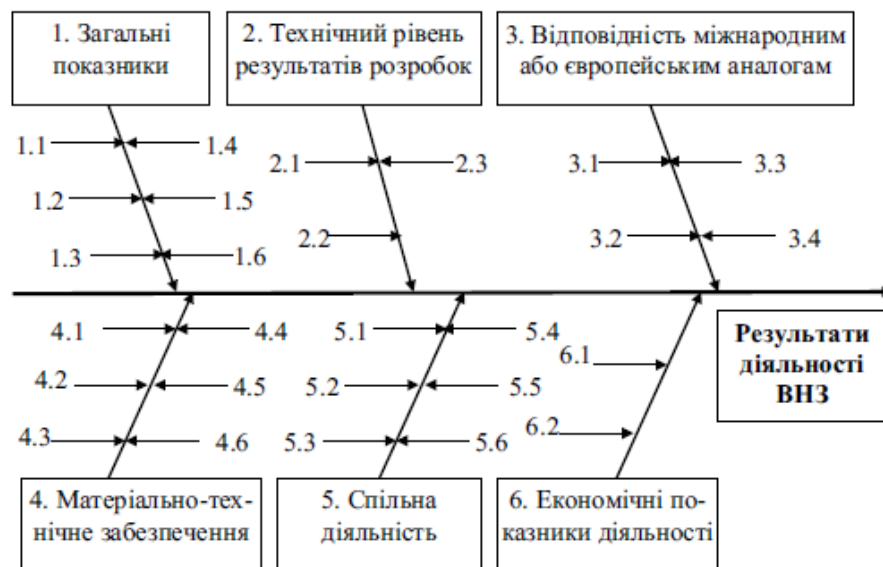


Рис. 2.2. Приклад діаграми Ісікави

На рис. 2.3 наведено діаграму Парето [35], за допомогою якої визначають нагальні проблеми. Вона побудована за результатами досліджень впливу факторів (причин), які впливають на рішення студентів кинути навчання у ВНЗ.

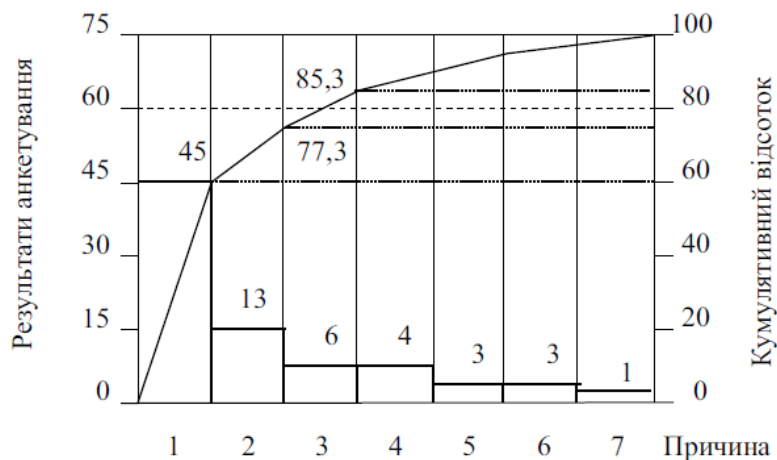


Рис. 2.3. Приклад діаграми Парето

У цих же працях приділена увага видам похибок та невизначеностей експертного оцінювання, надана їх класифікації та оцінювання.

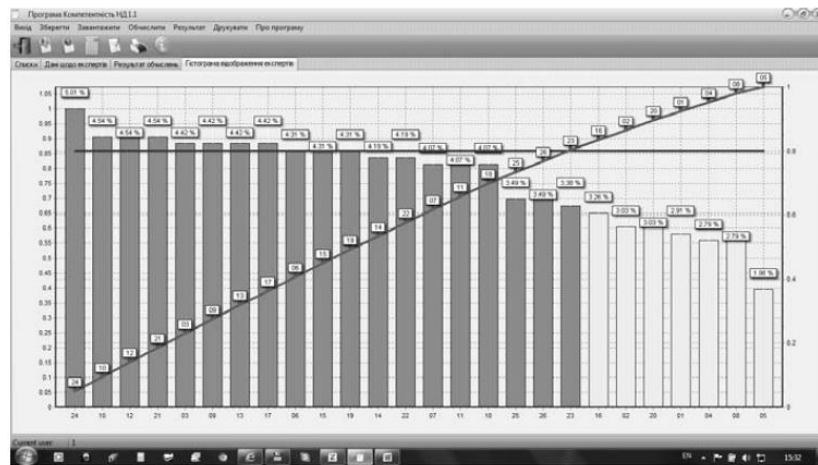
Корисним є огляд, присвячений багатомірним шкалам для оцінювання об'єктів.

У працях [35, 39, 40, 41] наведено матеріал, присвячений методу аналітичної ієрархії (метод аналізу ієрархій), який дуже часто називають методом Т. Сааті, завдяки його глибоким математичним дослідженням у цьому напрямі, крім того назва метода теж належить Т. Сааті.

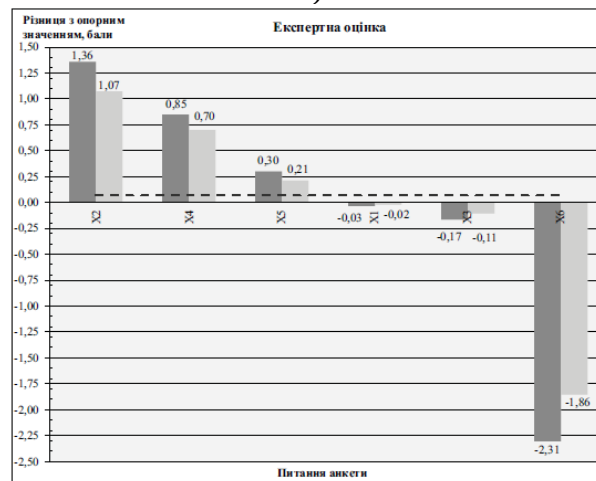
Роботи [42, 43] наведено сучасний ґрунтовний математичний апарат, який стосується багатьох аспектів експертних методів.

Цікавою є робота [44], в якій показано можливість використання методів нечітких множин для роботи з експертами. Цей напрям досліджень видається перспективним, оскільки діяльність фахівця як експерта не спирається на математичні розрахунки.

У працях [35, 45] можна ознайомитися зі способами подання результатів експертиз у *MS Excel*. На рис. 2.4 (а, б) наведені приклади стовпчастих діаграм, а на рис. 2,5 – приклад пелюсткової діаграми.



а)



б)

Рис. 2.4. Приклади використання стовпчастих діаграм:
а) гістограма результатів, поданих величинах ранжування ; б) гістограма для ступенів відхилення середніх балів від опорного значення

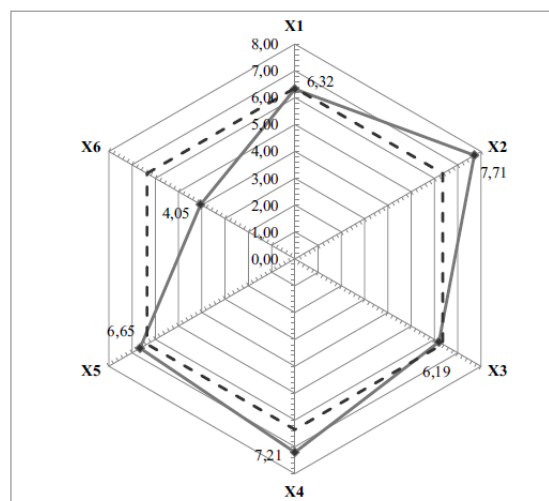


Рис. 2.5. Приклади пелюсткової діаграми

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Коли слід застосовувати експертні знання при автоматизації виробництв?
2. Назвіть етапи проведення експертиз.
3. Перелічіть та стисло опишіть способи проведення опитувань експертів.
4. У чому полягає метод Дельфи?
5. Для чого використовують системи експертного оцінювання (СЕО) у загальному випадку і при автоматизації процесів зокрема?
6. Які Ви знаєте СЕО? Назвіть принципи ранжування у кожній з них.
7. У якому випадку створюють нормальну матрицю ранжування?
8. Назвіть загальні методи оцінки компетентності експертів.
9. Як використовують дані про компетентність експертів в системах ранжування?
10. Як визначити узгодженість роботи експертів?
11. Як графічно подати результати ранжування у різних системах (СЕО)?
12. Які можуть бути подальші дії при неузгодженості роботи експертів?

КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

1. Результати ранжирування чотирьох чинників трьома експертами дали такі результати.

1-й - експерт					2-й - експерт					3-й - експерт				
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4		Ф1	Ф2	Ф3	Ф4		Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Ф1	-	1	0	1	Ф1	-	1	0	1	Ф1	-	1	0	1
Ф2	0	-	0	1	Ф2	0	-	0	1	Ф2	0	-	0	1
Ф3	1	1	-	1	Ф3	1	1	-	1	Ф3	1	1	-	1
Ф4	0	0	0	-	Ф4	0	0	0	-	Ф4	0	0	0	-

Визначено, що "ваги" думок експертів такі: першого – 1; другого – 1,5; третього – 2.

Визначити по експертних оцінках відносний ступінь впливу кожного чинника на вибраний критерій. *Відповідь подати для двох випадків - без врахування компетентності фахівців і з урахуванням компетентності, у таких видах - сукупні матриці ранжирування та перелік чинників у порядку зменшення їхнього впливу на критерій з відповідним показником впливу.*

2. Результати ранжирування чотирьох чинників трьома експертами дали такі результати

Експерти	Чинники			
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Е1	1	2	4	3
Е2	2	1	1	3
Е3	1	2	3	3

Визначено, що "ваги" думок експертів такі: першого – 1; другого – 1,5; третього – 2.

Визначити по експертних оцінках відносний ступінь впливу кожного чинника на вибраний критерій. *Відповідь представити для двох випадків - без врахування компетентності фахівців і з урахуванням компетентності, у таких видах - нормальні матриці ранжирування для обох випадків та перелік чинників у порядку зменшення їхнього впливу на критерій з відповідним показником впливу.*

3. Результати ранжирування чотирьох чинників трьома експертами дали такі результати.

1-й – експерт					2-й – експерт					3-й – експерт				
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4		Ф1	Ф2	Ф3	Ф4		Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Ф1	–	0	1	0	Ф1	–	0	0	1	Ф1	–	1	0	0
Ф2	1	–	0	1	Ф2	1	–	0	1	Ф2	0	–	0	1
Ф3	0	1	–	1	Ф3	1	1	–	1	Ф3	1	1	–	1
Ф4	1	0	0	–	Ф4	0	0	0	–	Ф4	1	0	0	–

Визначено, що «ваги» думок експертів такі: першого – 1; другого – 2; третього – 1,5.

Визначити по експертних оцінках відносний ступінь впливу кожного чинника на вибраний критерій. *Відповідь подати для двох випадків – без врахування компетентності фахівців і з урахуванням компетентності, у таких видах – сукупні матриці ранжирування та перелік чинників у порядку зменшення їхнього впливу на критерій з відповідним показником впливу.*

4. Результати ранжирування чотирьох чинників трьома експертами дали такі результати

Експерти	Чинники			
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Е1	4	3	2	1
Е2	1	1	1	2
Е3	2	2	1	3

Визначено, що "ваги" думок експертів такі: першого – 2; другого – 1; третього – 1,5/

Визначити по експертних оцінках відносний ступінь впливу кожного чинника на вибраний критерій. *Відповідь представити для двох випадків - без врахування компетентності фахівців і з урахуванням компетентності, у таких видах - нормальні матриці ранжирування для обох випадків та перелік чинників у порядку зменшення їхнього впливу на критерій з відповідним показником впливу.*

5. Компетентність чотирьох експертів оцінюють по двох критеріях: K1 (кількість публікацій у фахових журналах за останніх 15 років) і K2 (взаємна оцінка). Дані про компетентність наведені у таблиці.

Критерії компетентності	Експерти			
	E1	E2	E3	E4
K1	19	17	10	5
K2	4	4	5	3

Визначити "ваги" думок експертів.

6. Компетентність чотирьох експертів оцінюють по двох критеріях: K1 (стаж роботи, років) і K2 (самооцінка по п'ятибальній шкалі). Дані про компетентність наведені у таблиці.

Критерії компетентності	Експерти			
	E1	E2	E3	E4
K1	5	16	7	2
K2	5	5	4	3

Визначити "ваги" думок експертів.

7. Компетентність чотирьох експертів оцінюють по двох критеріях: K1 (стаж роботи, років) і K2 (кількість виконаних проєктів автоматизації, штук). Дані про компетентність наведені у таблиці.

Критерії компетентності	Експерти			
	E1	E2	E3	E4
K1	10	20	4	7
K2	24	27	3	5

Визначити "ваги" думок експертів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурков В.Н. Большие системы: моделирование организационных механизмов. – М.: Наука, 1989. – 246 с.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
3. Архипов А.Е., Архипова С.А. Математичне моделювання соціальних систем і процесів: Навч.-метод. посіб. – К.: ІВЦ "Видавництво "Політехніка", 2002. – 60с.
4. Малин А.С., Мухин В.И. Исследование систем управления. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2004. – 400с.
5. Комаров В.Ф. Управленческие имитационные игры. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1989. – 272 с.
6. Кулаковская Т.Е., Наумова Н.И. Некоторые методы нестатистического анализа социологических и экспертных оценок – В кн.: Математические методы в социально-экономических исследованиях. Сб. научн.тр. Под ред. С.М.Ермакова и Б.В.Меласа. – СПб: Петрополис, 1996, – С.79-99.
7. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении. – М.: Дело, 2004. – 400 с.
8. Галян І.М. Психодіагностика: Навч. посібник. – К.: Академвидав, 2009. – 464с.
9. Грабовецький Б.Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання: монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 171 с.
10. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. – СПб.: ООО «Речь», 2007. – 688 с.
11. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. – К.: ТОВ «Маклаут», – 2008. – 444 с.
12. Грабовецький Б.Є. Економічне прогнозування і планування. – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 188с.

13. Райхман Э.П., Азгальдов Г.Г. Экспертные методы в оценке качества товаров. – М.: Экономика, 1974. – 151 с.
14. Дубровский С.А. Использование экспертных оценок в задачах предварительной алгоритмизации. – М.: ЦИНИ "Электроника", 1984. – 36с.
15. Панкова Л.А., Петровский А.М., Шнейдерман М.В. Организация экспертиз и анализ экспертной информации. – М.: Наука, 1984. – 120 с.
16. Китаев Н.Н. Групповые экспертные оценки. – М.: Знание, 1975. – 64с.
17. Архипов А.Е., Архипова С.А., Носок С.А. Применение кластерного анализа для структурирования данных экспертного опроса // Адаптивні системи автоматичного управління: Межвідом. науково-техн. зб. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2003. – Вип.6(26). – С.55-61.
18. Литвак Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. – М.: Радио и связь, 1982. – 184с.
19. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: Учебник. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
20. Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. – М.: Радио и связь, 1992. – 300 с.
21. Приобретение знаний / Под ред. Осуга С., Сазки, Ю. – М.: Мир, – 1990. – 304 с.
22. Фролов В.Н., Львович Я.Е., Меткин Н.П. Автоматизированное проектирование технологических процессов и систем производства РЭС. – М.: Высш. шк., 1991. – 463 с.
23. Сидельников Ю.В. Технология экспертного прогнозирования: Учебн. пособие. – М.: Доброе слово, 2005. – 284 с.
24. Анастаси А., Урбина С. Психологическое тестирование. – СПб.: Питер, 2007. – 688 с.

25. Еремеев А.П. Экспертные модели и методы принятия решений. – М.: МЭИ, 1995. – 112 с.
26. Бешелев С. Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
27. Дэйвисон М. Многомерное шкалирование: Методы наглядного представления данных. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 254 с.
28. Гласс Дж., Стенли Дж. Статистические методы в педагогике и психологии. – М.: Прогресс, 1976. – 496 с.
29. Статистические методы анализа экспертных оценок: Сб. статей. Т. 29: Ученые записки по статистике [Текст] / Науч. ред. Ю. Н. Тюрин, А. А. Френкель. – М.: Наука, 1977. – 385 с. – Библиогр.: в конце ст. – 2550 экз.
30. Кендэл М. Ранговые корреляции. – М.: Статистика. 1975. – 215 с.
31. Архипов А.Е., Архипова С.А., Носок С.А. Модели компетентности эксперта // Міжнародна наукова конференція Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій (ISMIT'2006), м. Євпаторія, 15-19 травня 2006р., том 1. – С. 22-25.
32. Архипов А.Е., Архипова С.А., Носок С.А. О построении модели компетентности эксперта // Системні технології. Системи управління, контролю та технічної діагностики: Збір. наук. праць. – 2006. Вип.8. – С. 22-25.
33. Архипов О.Є., Архипова С.А. Оцінювання якості роботи експертів за даними багатооб'єктної експертизи // Захист інформації. – 2011. – №4 (53), – С.45 – 54.
34. Дубровский С.А. Определение компетентности экспертов в методе парных сравнений. – В кн.: Экспертные оценки. М.: Науч. Совет по пробл. «Кибернетика», 1979, С. 157-162.

- 35 Величко О.М., Коломієць Л.В., Гордієнко Т.Б., Шевцов А.Г., Карпенко С.Р., Габер А.А. Групове експертне оцінювання та компетентність експертів / За загал. ред. д-ра техн. наук Величка О.М. – Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. – 286 с.
- 36 Колпакова Т.А. Определение компетентности экспертов при принятии групповых решений // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – 2011. – № 1. – С. 40–43.
- 37 Кількісні методи експертного оцінювання : наук.-метод. розробка / уклад. : В.П. Новосад, Р.Г. Селіверстов, І.І. Артим. – Київ : НАДУ, 2009. – 36 с.
- 38 Люгер Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем : пер. с англ. / Джордж Ф. Люгер. - 4-е изд. - Москва : Издат. дом “Вильямс”, 2005. - 864 с.
- 39 Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – Москва: Радио и связь, 1989. – 316 с.
- 40 Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. – Москва: Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.
- 41 Електронний ресурс:
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D1%83_%D1%96%D1%94%D1%80%D0%B0%D1%80%D1%85%D1%96%D0%B9%D0%93%D0%B0%D0%BB%D1%83%D0%B7%D1%96_%D0%B7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F
- 42 Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н., Анализ, синтез, планирование решений в экономике. – Москва: Финансы и статистика, 2004. – 464 с.
- 43 Гнатієнко Г. М. Експертні технології прийняття рішень [Електронний ресурс] : монографія / Г. М. Гнатієнко, В. Є. Снитюк. – Київ: ТОВ «Маклаут», 2008. – 444 с.

- 44 Селіверстов Р. Г. Елементи теорії нечітких множин як засіб професіоналізації експертної діяльності в органах державного управління / Р. Г. Селіверстов // Ефективність державного управління : зб. наук. пр. ЛРІДУ НАДУ / за заг. ред. проф. В. С. Загорського, доц. А. В. Ліпенцева. – Львів : ЛРІДУ НАДУ, 2008. – Вип. 16/17. – С. 372–376.
- 45 Селіверстов Р. Г. Реалізація моделі формування експертних комісій за нечіткими критеріями у програмному середовищі Microsoft Excel / Р. Г. Селіверстов // Демократичне врядування в контексті глобальних викликів та кризових ситуацій : матеріали наук.-практ. конф. за міжнар. участю (3 квіт. 2009 р., м. Львів) : у 2 ч. – Ч. 2 / за наук. ред. чл.-кор. НАН України В. С. Загорського, доц. А. В. Ліпенцева. – Львів : ЛРІДУ НАДУ, 2009. – С. 452–455.

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕДМОВА.....	3
1. МЕТОДИ РОБОТИ З ЕКСПЕРТАМИ.....	5
1.1. Передумови проведення експертиз.....	5
1.2. Організація експертиз.....	6
2. МЕТОДИКИ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ.....	14
2.1. Одночасне ранжування факторів.....	15
2.2. Попарне ранжування факторів.....	19
2.3. Оцінювання компетентності експертів.....	23
2.4. Візуалізація результатів експертизи.....	28
2.5. Сучасні тенденції розвитку експертиз та подання результатів.....	30
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	34
КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ.....	35
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38