

Національна академія наук України
Інститут проблем реєстрації інформації

На правах рукопису

ЦИГАНOK ВІТАЛІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 519.816, 681.518.2

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ
ЕКСПЕРТНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
В СЛАБКО СТРУКТУРОВАНИХ СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

Спеціальність 01.05.04 – Системний аналіз і теорія оптимальних рішень

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Науковий консультант

Панкратова Наталія Дмитрівна
доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України

Київ – 2013

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	6
Вступ	7
1 Аналіз поточного стану досліджень у галузі підтримки прийняття рішень	16
1.1 Експертна підтримка прийняття рішень у слабко структурованих складних системах	16
1.2 Застосування моделей та методів експертної підтримки прийняття рішень у світовій практиці	19
1.2.1 Основні класи задач підтримки прийняття рішень в слабко структурованих складних системах	19
1.2.2 Практичне застосування технологій експертної підтримки прийняття рішень	20
1.2.3 Функціональна модель системи підтримки прийняття рішень	22
1.2.4 Схема обробки інформації при підтримці прийняття рішень	23
1.2.5 Огляд сучасних систем підтримки прийняття рішень	24
1.3 Проблема класифікації та вибору шкал експертного оцінювання	41
1.4 Дослідження з метою підвищення достовірності рекомендацій для осіб, що приймають рішення	43
1.4.1 Моделі, що застосовуються при експертній підтримці прийняття рішень в слабко структурованих складних системах	43
1.4.2 Обґрунтування необхідності створення нових моделей та методів експертної підтримки прийняття рішень	45
1.4.3 Парадигми дослідження	46
1.4.4 Основні задачі дослідження	47
1.4.5 Загальна методика проведення дослідження та методи вирішення задач	49
1.5 Висновки за розділом 1	50
2 Методи обробки групових експертних оцінок в моделі експертного оцінювання	51

2.1	Методи обробки кардинальних експертних оцінок	51
2.1.1	Комбінаторний груповий метод обчислення ваг альтернатив	51
2.1.2	Метод, який дозволяє зберегти ранжирування альтернатив	60
2.2	Методи обробки ординальних експертних оцінок	68
2.2.1	Достатність ступеня узгодженості групових ординальних оцінок	69
2.2.2	Методи зі зворотним зв'язком для досягнення достатньої узгодженості індивідуальних ранжувань при груповому прийнятті рішень	77
2.2.3	Ідея методу вирішення задачі з використанням Генетичного алгоритму	80
2.2.4	Альтернативний підхід до вирішення задачі досягнення достатньої узгодженості	89
2.2.5	Особливості застосування двох запропонованих методів	98
2.3	Висновки за розділом 2	98
3	Технологія експертної підтримки прийняття рішень	101
3.1	Модель та технологія експертного оцінювання	101
3.1.1	Огляд шкал експертного оцінювання	103
3.1.2	Вибір шкали для оцінювання експертом у ході виконання ним парних порівнянь	109
3.1.3	Сутність технології експертного оцінювання	112
3.1.4	Порівняльне експериментальне оцінювання технології	118
3.2	Метод зі зворотним зв'язком з експертами для агрегації групових, неповних експертних оцінок, отриманих у різних шкалах	127
3.2.1	Задача агрегації індивідуальних експертних оцінок, отриманих у різних шкалах	128
3.2.2	Сутність підходу до вирішення задачі агрегації	129
3.2.3	Приведення оцінок до єдиної шкали	131
3.2.4	Перевірка множини експертних оцінок на конструктивність	135
3.2.5	Визначення узгодженості уніфікованих індивідуальних оцінок	135
3.2.6	Підвищення узгодженості за допомогою зворотного зв'язку з експертами	142

3.3 Висновки за розділом 3	144
4 Дослідження особливостей технології експертної підтримки прийняття рішень	145
4.1 Дослідження методів групового оцінювання при розподіленій роботі експертів в мережі INTERNET	145
4.1.1 Необхідність проведення експериментального дослідження	146
4.1.2 Програмна система для проведення дослідження	147
4.1.3 Хід експериментального дослідження	148
4.1.4 Висновки результатами проведеного дослідження	152
4.2 Імітаційне моделювання експертного оцінювання з метою тестування методів обробки експертних оцінок	153
4.2.1 Закони розподілу експертних оцінок	154
4.2.2 Моделювання ординального експертного оцінювання	158
4.2.3 Моделювання кардинального експертного оцінювання при парних порівняннях у шкалі переваг Saati	161
4.2.4 Експеримент стосовно врахування компетентності експертів під час групової експертизи	164
4.2.5 Особливості експерименту для випадку ординальних оцінок	165
4.2.6 Особливості експерименту для випадку парних порівнянь у шкалі Saati	169
4.3 Висновки за розділом 4	171
5 Визначення та підвищення кількісних показників якості підтримки прийняття рішень	172
5.1 Визначення ефективності методів агрегації експертних оцінок	172
5.1.1 Сутність методу визначення показника ефективності	173
5.1.2 Особливості реалізації методу	175
5.1.3 Експериментальне дослідження ефективності розповсюдженіх методів агрегації	177

5.2 Стійкість оцінок варіантів рішень, як показник якості підтримки прийняття рішень	180
5.2.1 Сутність підходу визначення стійкості оцінок варіантів рішень, що оцінюються за допомогою Методу цільового динамічного оцінювання альтернатив	181
5.2.2 Задача визначення необхідної точності методу експертного оцінювання	185
5.2.3 Задача пошуку максимального порушення стійкості за допомогою Генетичного алгоритму	187
5.2.4 Аналіз впливу на стійкість: числових значень показників, що містяться в базі знань та структури самої бази	190
5.2.5 Підвищення стійкості баз знань систем підтримки прийняття рішень до відхилень експертних оцінок	196
5.3 Висновки за розділом 5	202
 6 Практичне застосування розробленого інструментарію підтримки прийняття рішень	204
6.1 Побудова баз знань систем підтримки прийняття рішень групами розподілених експертів	204
6.1.1 Збір та обробка інформації щодо кількісних оцінок властивостей об'єктів	205
6.1.2 Збір та обробка концептуальної експертної інформації	207
6.1.3 Режими роботи та варіанти структури програмного забезпечення системи	208
6.1.4 Опис режиму групового оцінювання альтернатив в системі підтримки прийняття рішень “Солон-3”	210
6.1.5 Опис системи розподіленого збору та обробки експертної інформації „Консенсус”	212
6.2 Підтримка прийняття рішень при оцінюванні персоналу за кількісними критеріями	231

6.2.1 Сутність визначення коефіцієнта ефективності співробітника на основі ієрархії критеріїв	232
6.2.2 Побудова ієрархії критеріїв	234
6.2.3 Визначення коефіцієнтів значимості критеріїв	235
6.2.4 Визначення показника ефективності співробітника	236
6.2.5 Обчислення показника ефективності роботи структурного підрозділу організації	239
6.3 Підхід до прийняття кадрових рішень	240
6.3.1 Підґрунтя для практичного застосування підходу	241
6.3.2 Опис підходу	242
6.3.3 Чисельний приклад	249
6.4 Про прийняття рішень у конфліктних ситуаціях	251
6.4.1 Модель взаємодії гравців у грі зі змінною силою відповіді	253
6.4.2 Алгоритм вибору оптимального ходу	254
6.4.3 Приклад використання моделі прийняття рішень	258
6.5 Вирішення задачі розподілу ресурсів	262
6.5.1 Особливості задачі для слабко структурованих предметних областей	263
6.5.2 Метод розв'язання задачі оптимального розподілу ресурсів	265
6.5.3 Реалізація методу розподілу ресурсів у вигляді програмного додатку	268
6.6 Висновки за розділом 6	269
Висновки	271
Список використаних джерел	274
Додатки	297

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

АРМ	- автоматизоване робоче місце
БД	- база даних
БЗ	- база знань
ГА	- генетичний алгоритм
МЦДОА	- метод цільового динамічного оцінювання альтернатив
ЕО	- експертна оцінка
ІУМПП	- ідеально узгоджена матриця парних порівнянь
КЦП	- комплексна цільова програма
МПП	- матриця парних порівнянь
ОПР	- особа, яка приймає рішення
ППР	- підтримка прийняття рішень
СППР	- система підтримки прийняття рішень
СУБД	- система управління базами даних
ЧКВ	- частковий коефіцієнт впливу

ВСТУП

Актуальність теми. Постійне ускладнення процесу прийняття рішень, зокрема, управлінських, разом зі складністю предметних областей та взаємозв'язків факторів, що впливають на рішення, зумовлюють необхідність залучення зовнішніх засобів для підтримки прийняття рішень. У слабко структурованих предметних областях, де немає можливості отримання детермінованої інформації в достатній кількості, експертні технології є основним засобом підтримки прийняття рішень (ППР).

Складність підтримки рішень полягає в тому, що переважно йдеться про унікальні (неповторювані) рішення, тому особа, що приймає рішення (ОПР), не має можливості спиратись на досвід аналогічних попередніх рішень. Моделі предметних областей, зазвичай, характеризуються значною кількістю взаємопов'язаних факторів. Для належного врахування цих факторів необхідний відповідний інструментарій ППР. Адекватне подання та обробка експертної інформації в процесі прийняття рішень обумовлює підвищення достовірності рекомендацій ОПР.

У наявних моделях експертної ППР повнота та адекватність інформації обмежуються за рахунок того, що експертові апріорно пропонується деяка визначена шкала для введення ним своїх оцінок. Хоча і очевидно, що докладність найбільш зручної шкали оцінювання для конкретного експерта визначається рівнем його інформованості в питанні, що розглядається, наявні моделі ППР не надають можливості експертові вільно скористатись тією шкалою для оцінювання, яка найкраще відповідає його інформованості (знанням, досвіду та інтуїції) в кожному конкретному питанні. Це обмеження, фактично, призводить до неадекватного відображення знань експерта у базі знань (БЗ) системи ППР (СППР) при формуванні моделі конкретної предметної області, і як наслідок, до зниження достовірності рекомендацій з прийняття рішень.

Оскільки йдеться, здебільшого, про рішення високих організаційних рівнів, „ціна” невірного рішення на теперішній час виявляється занадто високою, і постійно зростає. Через це, адекватне подання та обробка експертної інформації в процесі прийняття рішень є пріоритетним напрямком наукових досліджень, і нагальні про-

блеми, пов'язані з цими питаннями, потребують невідкладного вирішення.

Характеризуючи теперішній стан досліджень у цій галузі, варто відзначити результати стосовно класифікації шкал експертного оцінювання, отримані С.Стівенсом, Т.Сааті та В.Ведлі, де основна увага приділяється шкалам відношень. Торкаючись проблеми ефективного отримання інформації від експертів, слід згадати шкалу переваг, запропоновану Сааті, а також дослідження психофізіологічних обмежень людини (експерта), проведені Міллером. Агрегації індивідуальних експертних оцінок (ЕО), заданих в конкретних шкалах, присвячені дослідженням багатьох спеціалістів: якщо говорити про ординальні оцінки, варто згадати постулати Ерроу, правила Борда, Кондорсе, Сімпсона, медіану Кемені та їхні модифікації. У контексті агрегації парних порівнянь в кардинальних шкалах основні досягнення належать Т.Сааті, В.Ведлі, Л.Варгасу, С.Липовецькому та іншим.

В Україні дослідження за спорідненими тематиками здійснюються, зокрема, в Інституті прикладного системного аналізу при НТУУ „КПІ” НАН України та МОН України, Інституті проблем математичних машин та систем НАН України, Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України, Центрі досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М.Доброго НАН України.

З-поміж вітчизняних науковців, які проводили та проводять споріднені дослідження, варто згадати В.Г.Тоценка, Б.М.Герасимова, М.З.Згуровського, Н.Д.Панкратову, Ю.П.Зайченка, О.Ф.Волошина, О.А.Павлова, П.І.Бідюка, Г.М.Гнатієнка, В.Є.Снітюка, та ін.

В цілому ж, слід зазначити, що у той час, як для ППР на основі обробки ЕО окремих типів – ординальних та кардинальних, індивідуальних та групових, абсолютних та відносних (у тому числі, заданих у вигляді парних порівнянь), чітких та нечітких – застосовується ціла низка методів, конкретних підходів, які б дозволяли експертам довільно обирати та використовувати шкали оцінювання безпосередньо в процесі експертизи, а організаторам експертиз, з метою подальшої ППР – узагальнювати експертну інформацію, задану в різних шкалах, не розроблялося.

Все це обумовлює необхідність вирішення важливої актуальної проблеми розробки теоретичних та технологічних зasad експертної ППР, які б дозволили най-

більш ефективно оперувати інформацією, отриманою від експертів, в залежності від рівня їхньої інформованості щодо конкретного питання предметної області, створювати більш адекватні моделі предметних областей та підвищувати достовірність наданих ОПР рекомендацій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконувалося у відповідності до планів науково-дослідних робіт, у рамках виконання держбюджетних тем Інституту проблем реєстрації інформації НАН України:

- “Розробка теоретичних зasad підтримки прийняття рішень у конфліктних ситуаціях” (шифр “Рубіж”; державний реєстраційний номер 0106U000434);
- „Розробка наукових зasad рейтингування вищих навчальних закладів з урахуванням світового досвіду” (шифр “Рейтинг”; державний реєстраційний номер 0107U009176);
- “Розробка наукових зasad створення систем підтримки прийняття рішень ординального типу” (шифр “Ранги”; державний реєстраційний номер 0109U002106).

Автор є одним з відповідальних виконавців вказаних робіт, науковим керівником теми „Ранги”.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення достовірності рекомендацій, наданих ОПР, за рахунок застосування інструментарію ППР, створеного на основі розробки теоретичних та технологічних зasad експертної ППР в слабко структурованих складних системах. Досягнення цієї мети потребує виконання таких завдань:

- 1) Аналіз наявних моделей та методів експертної ППР в слабко структурованих складних системах.
- 2) Розроблення теоретичних зasad створення інструментарію ППР:
 - побудова моделей отримання ЕО, що враховують рівень інформованості експерта в кожному досліджуваному питанні;
 - розробка методу приведення до уніфікованого вигляду ЕО, заданих у шкалах різного рівня інформативності;

- створення ефективних методів обробки групових кардинальних та ординальних ЕО;
- розробка методу агрегації ЕО, заданих у різних за інформативністю шкалах;
- визначення та обґрунтування показників якості результатів оцінювання варіантів рішень.

3) Розроблення технологічних зasad створення інструментарію ППР:

- розробка технологій побудови групами експертів БЗ предметної області;
- розробка технологій експертного оцінювання, що забезпечує повне та адекватне подання знань експертів в досліджуваному питанні у БЗ СППР;
- розроблення технологій експертної ППР в слабко структурованих складних системах на базі запропонованої технології експертного оцінювання;
- створення підсистеми моделювання, призначеної для дослідження параметрів інструментарію ППР;
- визначення умов необхідності врахування компетентності учасників групової експертизи при побудові БЗ предметної області.

4) Реалізація механізму ППР в експертних СППР різноманітного призначення:

- створення програмних засобів для проведення експертного оцінювання;
- розробка програмних засобів групової побудови БЗ;
- розробка СППР різноманітного призначення на базі створених програмних засобів.

Об'єкт дослідження – процес підтримки прийняття рішень в слабко структурованих складних системах.

Предмет дослідження – моделі, методи та технології підтримки прийняття рішень із застосуванням експертного оцінювання.

Методи дослідження. У ході дослідження використовувались: системна методологія, методи та моделі теорії інформації (при визначенні рівня інформативності шкал), методи теорії матриць, графів, множин, методи та моделі „штучного інтелекту” (при розробці методів обробки ЕО), методи математичної статистики (при імітаційному моделюванні експертних суджень та при визначенні узгодженості ЕО),

методи теорії ігор (при вирішенні практичних задач ППР у конфліктних ситуаціях), та ін.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертації сформульовано й вирішено важливу науково-технічну проблему розробки теоретичних та технологічних зasad експертної ППР, які дозволили отримувати від експертів інформацію, що відповідає рівню їхньої інформованості, створювати більш адекватні моделі предметних областей та підвищувати достовірність наданих ОПР рекомендацій.

Наукова новизна результатів, одержаних у ході вирішення даної проблеми, полягає в наступному:

- 1) Вперше запропоновано нову модель отримання експертної інформації та на основі даної моделі розроблено технологію експертного оцінювання із застосуванням шкал різного рівня інформативності, яка дозволяє уникнути спотворення інформації, отриманої від експерта. Завдяки послідовному підвищенню інформативності остаточне оцінювання проводиться в шкалі, що найбільш відповідає інформованості експерта в питанні, що розглядається.
- 2) Вперше запропоновано метод приведення експертних оцінок, заданих у різних за інформативністю шкалах, до єдиної, найбільш інформативної шкали.
- 3) Вперше розроблено метод узагальнення групових неповних парних порівнянь, заданих у різних шкалах. Завдяки одно-етапності процедури агрегації метод дозволяє застосувати зворотний зв'язок з експертами для досягнення достатнього рівня узгодженості.
- 4) Розроблено новий метод визначення достатнього рівня узгодженості ординальних експертних оцінок та методи зі зворотним зв'язком для досягнення цього рівня узгодженості, що дозволило в повній мірі використовувати ординальні експертні оцінки у ході групової експертизи.
- 5) Запропоновано сімейство авторських методів обробки індивідуальних кардинальних оцінок експертів (комбінаторного типу), що при агрегації парних порівнянь ураховують інформацію кожного з усіх можливих покривних дерев графа, відповідного матриці парних порівнянь.

6) Удосконалено спектральний метод визначення узгодженості експертних оцінок за рахунок значного збільшення кількості складових спектрів, які будуються на основі матриць парних порівнянь, що дозволило підвищити достовірність визначення узгодженості.

7) На основі запропонованих нових моделей та методів розроблено технологію ППР, що дозволяє оцінювати варіанти рішень, ґрунтуючись на побудованій експертним шляхом моделі предметної області. Завдяки використанню моделей предметних областей, більш адекватних до власних уявлень експертів, забезпечується підвищення достовірності наданих ОПР рекомендацій.

8) Вперше розроблено показник якості оцінювання варіантів рішень, пов'язаний зі стійкістю отримуваних оцінок за наявності збурень у вхідних експертних даних та запропоновано шляхи підвищення даного показника.

9) З метою тестування та дослідження параметрів запропонованої технології ППР створено підсистему імітаційного моделювання експертного оцінювання, яка дала можливість визначити мінімальну чисельність експертної групи, при якій немає необхідності враховувати компетентність експертів.

10) Розроблено механізм побудови структури багаторівневих ієрархічних слабко структурованих складних систем, який дозволяє групам експертів, шляхом декомпозиції цілі функціонування системи, визначити компоненти системи та зв'язки між ними, що надає можливість експертам, розподіленим у комп'ютерній мережі, дійти згоди при формулюванні компонентів складної системи та їхніх властивостей, спільно визначитись з наявністю взаємозв'язків між компонентами та визначити узагальнені кількісні параметри складної системи і, тим самим, значно підвищити ефективність проведення групових експертиз.

Практичне значення одержаних результатів.

- Реалізовано у вигляді комплексу програмних засобів для експертного оцінювання шляхом парних порівнянь створену технологію експертного оцінювання.
- Реалізовано технологію побудови БЗ СППР групами експертів у вигляді системи розподіленого збору та обробки експертної інформації.

- На основі розробленої технології ППР програмно реалізовано СППР різноманітного призначення.

Розроблені у дисертаційній роботі технологія експертного оцінювання та основана на ній технологія ППР реалізовані в СППР Солон-3 [173], комплексі програмних засобів для експертного оцінювання шляхом парних порівнянь (“Рівень”) [210] та в системі оцінки персоналу за кількісними критеріями („Нагляд”) [195]. Технологія побудови моделі предметної області групами розподілених у комп’ютерній мережі експертів реалізована як веб-додаток до СППР у вигляді системи розподіленого збору та обробки експертної інформації („Консенсус”) [194].

Системи „Консенсус” та „Солон-3” знайшли практичне застосування при проведенні групових експертіз в межах Ситуаційного центру Інституту проблем математичних машин і систем НАН України.

Система „Нагляд” (назва російською мовою „Надзор”) використовується наглядовими органами Російської Федерації „Ростехнадзор” для оцінки персоналу (інспекторів) та структурних підрозділів організації, які пов’язані з екологічним, технологічним та атомним контролем функціонування потенційно небезпечних об’єктів. Результати дослідження, які застосовуються в системі „Нагляд”, впроваджені ТОВ „МККУ-Мережі” в органах державного управління України.

Окрім того, результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій при викладанні навчальних дисциплін „Комп’ютерні системи штучного інтелекту”, „Телекомунікаційні і інформаційні мережі”, „Глобальна інфраструктура”, „Проектування інфокомунікаційних мереж”.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, що виносяться на захист, отримані автором особисто. У роботах, виконаних у співавторстві, автору належать: в [144] – алгоритмічні та технологічні засади побудови БЗ розподілених СППР; в [211] – методика проведення експериментального дослідження, визначення об’єктів для експертного оцінювання, обробка та аналіз результатів експерименту; в [91] – формулювання та доведення необхідних і достатніх умов конструктивності методів агрегації групових ЕО при застосуванні неповних парних порівнянь; в [212]

– алгоритми обчислення інтегрованих оцінок якості роботи співробітників та відносних оцінок структурних підрозділів, програмна реалізація системи оцінювання персоналу; в [202] – алгоритм розрахунку ефективності ходу гравця та модель взаємодії гравців у грі зі змінною силою відповіді; в [198] – ідея застосування методу визначення вагомості критеріїв за частковими та глобальним ранжуваннями для відбору кандидатів на вакантні посади на основі досвіду ОПР; в [110, 111] – аналіз поведінки коефіцієнта конкордації при здійсненні перестановок у ранжуваннях та метод визначення достатності ступеня узгодженості множини індивідуальних ранжувань; в [163] – ідея методу імітації індивідуальних ранжувань, методика та реалізація експериментального дослідження визначення залежності значущості врахування компетентності експертів від кількості членів експертної групи; в [128, 213] – метод імітаційного моделювання ЕО ординального та кардинального типів, закони розподілу модельованих ЕО; в [214, 215] – ідея методу організації зворотного зв’язку з експертами групи задля досягнення достатнього рівня узгодженості; в [216] – технологія експертного оцінювання при застосуванні різних шкал, методика проведення порівняльного дослідження, алгоритмічна та програмна реалізація комплексу для проведення експерименту; в [217] – ідея застосування експертної ППР для вибору конфігурації сховищ даних.

Апробація результатів дисертації. Основні ідеї та підходи, викладені в дисертації, доповідалися та обговорювались на наступних наукових заходах:

- Науково-практичний семінар “Теоретичні і практичні аспекти підтримки прийняття рішень” (Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, м.Київ, 2007р.);
- Низка семінарів „Системні дослідження та інформаційні технології” (Учбово-науковий комплекс „Інститут прикладного системного аналізу” при НТУУ „КПІ”, м. Київ, 2011–12pp.);
- Щорічна підсумкова наукова конференція Інституту проблем реєстрації інформації НАН України (м. Київ, 2008–12pp.);
- Друга, Четверта, п’ята, шоста, сьома та восьма конференції з міжнародною участю “Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика” СППР – 2006,

2008–2012 (Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м.Київ, 2006, 2008–12pp.);

- Міжнародний форум „Проблеми розвитку інформаційного суспільства” (м.Львів, 2009р.);
- X та XI Міжнародні симпозіуми з методу аналізу ієрархій, ISAHP 2009 (м.Пітсбург, США, 2009р.) та ISAHP 2011 (м.Сорренто, Італія, 2011р.);
- Міжнародна школа-семінар „Спеціальна сесія щодо прийняття рішень в сфері сталого розвитку: Summer School 2010” (Італія, 2010р.);
- Міжнародна конференція Товариства Дослідження Операцій „Operational Research – 52” (м.Лондон, Великобританія, 2010р.).

Публікації. Результати дисертації викладені в 41 публікації, у тому числі, в 25 статтях у фахових наукових виданнях, серед яких 12 статей одноосібних, тезах 12 доповідей наукових конференцій та 4 свідоцтвах про реєстрацію авторського права на твір.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел з 217 найменувань, додатків. Обсяг основної частини – 263 сторінки. Робота містить 97 рисунків і 33 таблиці.

Висловлюю ширу вдячність доктору технічних наук, професору Віталію Георгійовичу Тоценку – ініціатору і науковому керівнику цього дослідження. Саме праці цього авторитетного вченого та наукова робота під його керівництвом упродовж двох десятиліть (1988–2007) визначили напрямок дисертації.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

1.1 Експертна підтримка прийняття рішень у слабко структурованих складних системах

Задачі ППР є характерними для так званих слабко структурованих предметних областей [1-3], які являють собою складні системи. Зазвичай ППР здійснюється на основі заздалегідь побудованих моделей цих систем. На рис.1.1 зображено спрощену схему, в якій, окрім основних властивостей слабко структурованої складної системи, показано наявність взаємозв'язку між побудовою моделей таких систем та необхідністю використання експертного оцінювання при розв'язанні задач ППР.



Рис.1.1 Основні властивості складних систем в яких застосовується експертна ППР

Задачі, пов'язані з слабко структурованими складними системами характеризуються наступними основними особливостями:

- *неможливість формалізації цілі* функціонування системи (Ціллю функціонування систем, що не створені людиною, наприклад, екологічних, природних, суспільних, адміністративних і т.п., зазвичай є їх роботоздатність у цілому або підтримка деяких параметрів в заданих межах, проте формалізувати таку ціль, як правило, неможливо через численність факторів, які впливають на її функціонування, та складність і незрозумілість зв'язків між цими факторами);
- *неможливість побудувати аналітичну модель* предметної області (через відсутність формалізованої цілі функціонування системи та складність зв'язків між компонентами системи не можливо побудувати функцію, оптимізація якої забезпечила б найкращий режим функціонування);
- *відсутність оптимальності* (через відсутність об'єктивної функції оптимізації, можливо оптимізувати лише окремі фактори, що, в загальному випадку, не приводить до оптимальності функціонування усієї системи);
- *неповнота опису об'єктів* у предметній області, що пов'язана з неточністю, неповнотою, невизначеністю та недостовірністю наявної інформації про об'єкти;
- *відсутність еталонів* для оцінювання об'єктів (бо, здебільшого, маємо справу із, так званими, невідчутними/невимірними факторами/критеріями);
- *унікальність* задачі, що розв'язується і неможливість повторення процесу прийняття рішення (оскільки, об'єкти в слабко структурованих предметних областях унікальні і процес вирішення реальних задач та перенесення їх на інші об'єкти потребує великих затрат або просто неможливий);
- *динамічність* пов'язана з тим, що структура та функціонування об'єкта з часом змінюються, тобто об'єкт еволюціонує (тому, задачі у таких системах повинні бути адаптивними, здатними змінюватись при зміні об'єкта);
- *вплив людського фактору* (оскільки, об'єктами управління або елементами системи можуть бути люди, які мають свободу волі, і передбачити їхню поведінку часто буває неможливо, бо людина діє в системі, враховуючи свої особисті цілі та

інтереси, тому при моделюванні предметної області поведінку людей важко враховувати);

Окрім цього, неформалізовані задачі можуть бути охарактеризовані наступними особливостями:

- неоднозначністю, неповнотою, суперечливістю й помилковістю вихідних даних, знань про проблемну область та про конкретну задачу, що розв'язується;
- великою розмірністю простору рішення, що призводить до досить значного перебору при пошуку рішення;
- даними і знаннями, що динамічно змінюються.

Усі вище перелічені обставини не дозволяють застосовувати для прийняття рішень підходи імітаційного моделювання, орієнтовані на використання кількісних об'єктивних оцінок [4].

Клас задач, що вирішуються за допомогою інструментарію ППР є досить широким і постійно розширяється. До цього класу можна віднести наступні сфери людської діяльності: промисловість, енергетика, оборона, комерція, банки, транспорт, управління економікою, медицина, сталий розвиток, автоматизація, інформатизація, хоча лише цими галузями клас задач не обмежується. В умовах постійного підвищення відповідальності за прийняття рішень в різних сферах життєдіяльності людини, у світі постійно зростає обсяг застосування СППР, що розроблені на основі відповідних технологій ППР.

Фактично, задачі у слабко структурованих предметних областях через перераховані вище їхні особливості, не можуть вирішуватись у повній мірі без залучення експертів – спеціалістів, які могли б задіяти свою компетентність (знання, досвід, інтуїцію) для побудови адекватних моделей таких складних систем і, в подальшому, на основі цих моделей оцінювати варіанти рішень.

1.2 Застосування моделей та методів експертної підтримки прийняття рішень у світовій практиці

1.2.1 Основні класи задач підтримки прийняття рішень в слабко структурованих складних системах

Виходячи з того, що системи ППР (СППР) створені та слугують для допомоги особам, що приймають рішення, можна окреслити коло задач, що вирішуються за допомогою цих технологій. До основних класів задач такого типу слід віднести вибір кращого варіанту рішення із запропонованих, ранжирування варіантів рішень, кількісне оцінювання варіантів. Останній клас задач може включати оцінювання ефективності варіантів рішень на деяких заданих проміжках часу та з урахуванням витрачених на упровадження рішення ресурсів. Слід зауважити, що варіанти рішень попередньо можуть бути сформульовані експертним шляхом або ж, наприклад, згенеровані у результаті морфологічного аналізу [5, 6], застосування теорії рішень винахідницьких задач „ТРІЗ” [7], у ході аналізу когнітивних карт [8], у результаті застосування методу написання сценаріїв [9] у сфері передбачення [10, 11], та ін.

Залишаючись досить актуальною на теперішній час, особливий інтерес серед класу задач ППР викликає задача найефективнішого розподілу обмежених ресурсів серед низки управлінських рішень (проектів), кожне з яких вимагає визначеній кількості ресурсів [12].

Серед відомих класів СППР доцільно відзначити системи для прогнозування часових рядів, системи на основі мереж Байєса та експертних СППР [13]. Останні знайшли особливо широке застосування в умовах недостатності об'єктивної інформації про об'єкт моделювання.

Широке розповсюдження та застосування в даній області на теперішній час має відомий метод аналізу ієрархій (MAI) розроблений Томасом Сааті [14]. Цей метод знайшов широке розповсюдження через свою простоту і наразі має багато як критиків так і прихильників [15-17]. На теперішній час розроблено багато модифікацій MAI, які в тих чи інших обставинах приводять до кращих результатів. Варто згадати

уведення від'ємних ваг критеріїв у так званому «біполярному» MAI [18], модифікації стосовно методу визначення ваг пріоритетів на основі матриці парних порівнянь з використанням методів лінійної оптимізації [19-21], поширення на MAI нечітких оцінок [22]. Відомі також і спрощення MAI [23], хоча вони фактично досягаються шляхом виключення застосування парних порівнянь, а тим самим, ігноруються переваги по підвищенню за цей рахунок достовірності експертних оцінок.

При умові, якщо у експерта не виникає труднощів при формулюванні повної множини критеріїв для оцінювання альтернатив (варіантів рішень), то часто перевагу при виборі віддають багатокритеріальним методам. Значний вклад у їх розробку та популяризацію за останні роки вніс професор Воронін А.М. [24-25].

1.2.2 Практичне застосування технологій експертної підтримки прийняття рішень

Наведений нижче перелік прикладів застосувань технологій ППР у світі за останні роки, безумовно, засвідчує актуальність тематики та розкриває широту можливого застосування таких технологій.

Варто надати приклади застосування технологій в енергетичній сфері:

- Застосування методу аналізу ієрархій для визначення апріорного розподілу часу безперебійної роботи високонадійних компонентів газового обладнання [26]
- Аналіз та оцінка технологічних та операційних альтернатив для систем видобутку важкої нафти у Колумбії [27]
- Повне урахування витрат на інтегрований розподіл енергоресурсів за допомогою методу аналізу ієрархій [28]

У промисловості:

- Застосування методів аналізу ієрархій та мереж при оцінці зворотної логістики та корпоративної продуктивності у автомобільній промисловості Бразилії [29]
- Застосування методів ELECTRE та MACBETH у контексті підвищення продуктивності промисловості (Франція)) [30]
- Визначення пріоритетності заходів з розробки нової продукції у виробництві електроніки [31]

У комерційній (діловій) сфері:

- Нечіткий підхід до мультикритеріальної підтримки прийняття рішень для оцінки іміджу та репутації корпорації на ринку авіаперевезень [32]
- Застосування MAI при вирішенні задачі вибору постачиків [33]
- Метод аналізу мереж як інструмент якісного моделювання: дослідження фінансової кризи [34]
- Застосування мультикритеріального аналізу варіантів рішень для вибору зарубіжних ринків експорту [35]

У банківській галузі:

- Аналіз злочинів у банківській сфері за допомогою комбінованого підходу, що поєднує теорію ігор та метод аналізу мереж (Індонезія) [36]
- Аналіз ефективності діяльності банків у Чорногорії за допомогою методу аналізу ієрархій [37]
- Оцінка рупії: аналіз вигід, втрат, можливостей та ризиків [38]

При вирішенні кадрових питань:

- Дослідження застосування мультикритеріальної підтримки прийняття рішень у системі відбору кандидатів у мережі [39]
- Сучасний метод оцінки персоналу [40]

У транспортній сфері:

- Застосування методу аналізу ієрархій для визначення пріоритетів під час виділення засобів для морського транспортування вантажів [41]
- Мультиагентний багатокритеріальний аналіз при оцінці проектів у транспортній галузі [42]

У сфері сталого розвитку:

- Багатокритеріальний аналіз можливих сценаріїв для зменшення впливів авіаційної галузі на зміну клімату – застосування програми D-Sight на базі методу PROMETHEE [43]
- Вибір стратегій для екологічно сталого управління каналом поставок підприємств електронної промисловості [44]

- Порівняльний аналіз варіантів вітряних електростанцій на основі методу аналізу мереж [45]

При автоматизації та інформатизації:

- Створення методології для вибору найкращої альтернативи під час придбання інформаційної системи для компанії [46]
- Застосування багатокритеріальної моделі прийняття рішень для вибору найкращого способу автоматизації сфери продажу для колумбійського підприємства [47]
- Підхід до оцінки симуляційних пакетів програмного забезпечення на основі альфа-зрізі у нечіткому методі аналізу мереж [48]

В управлінні:

- Застосування багатокритеріальної підтримки прийняття рішень для розробки стратегій та управління змінами [49]
- Розстановка пріоритетів серед дев'яти основних проблем перспективного розвитку Малайзії до 2020 року [50]

1.2.3 Функціональна модель СППР

Комп'ютерні системи, в яких реалізовані технології ППР і які розглядаються у рамках даного дослідження, є СППР універсального призначення, оскільки галузь їхнього застосування залежить лише від конкретного наповнення БЗ системи експертними знаннями, отриманими у вигляді як кількісних, так і якісних оцінок.

В БЗ СППР накопичуються знання експертів стосовно кожної конкретної предметної області. Ці набори даних доцільно називати саме таким чином, оскільки вони повністю відповідають означенняю БЗ, а саме: БЗ – це база даних особливого типу, що призначена для управління знаннями (метаданими), тобто для їх збору, зберігання, пошуку та видачі. Під БЗ розуміють сукупність фактів і правил виводу, що допускають логічний висновок і осмислену обробку інформації.

Основні властивості, що вирізняють СППР серед інших інтелектуальних систем представлені на функціональній моделі СППР, зображеній у вигляді схеми (див. рис. 1.2).

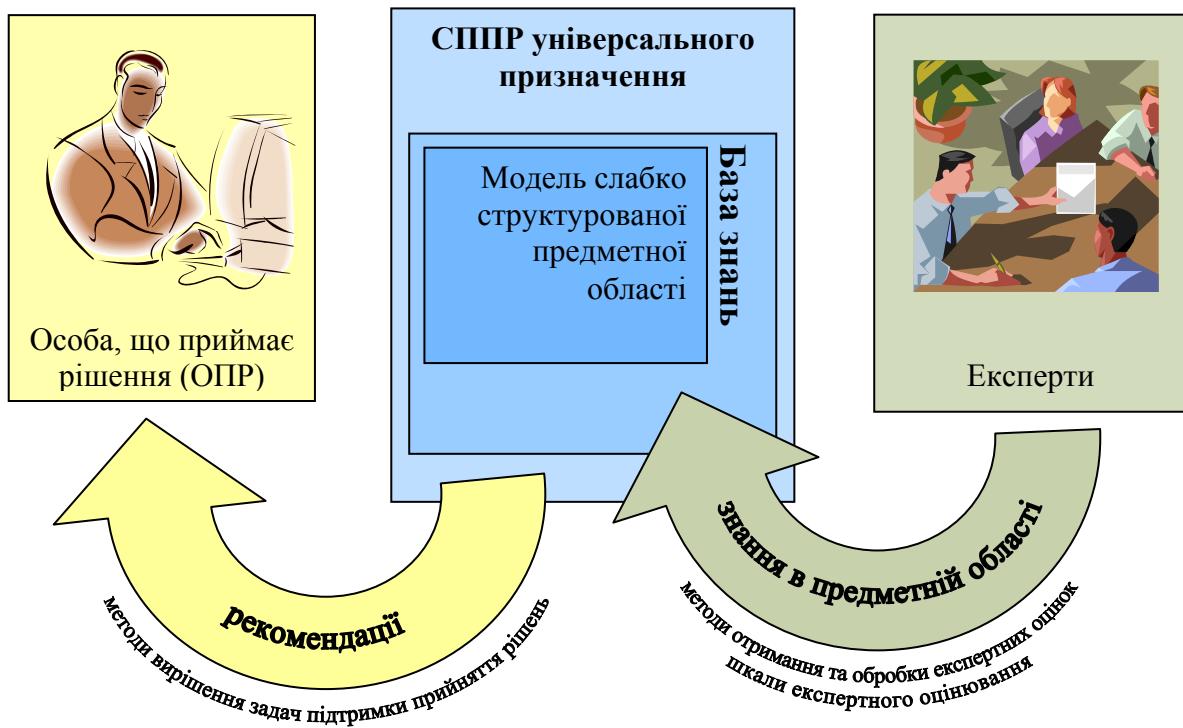


Рис 1.2 Функціональна модель СППР універсального призначення

На рисунку показано, що основною функцією СППР, які реалізують технології ППР, є видача рекомендацій ОПР. Ці рекомендації формуються на основі знань в предметній області, які, у свою чергу, отримуються від експертів у цій області.

1.2.4 Схема обробки інформації при підтримці прийняття рішень

Технологією ППР передбачені ряд етапів обробки потоків інформації, необхідних для прийняття обґрутованого рішення. На рис.1.3 представлено спрощену схему обробки інформації у процесі ППР.

У схему увійшли наступні елементи (відповідно до етапів обробки інформації):

- 1) відбір експертів для участі в побудові моделі предметної області;
- 2) отримання від експертів знань про предметну область (проведення експертизи);

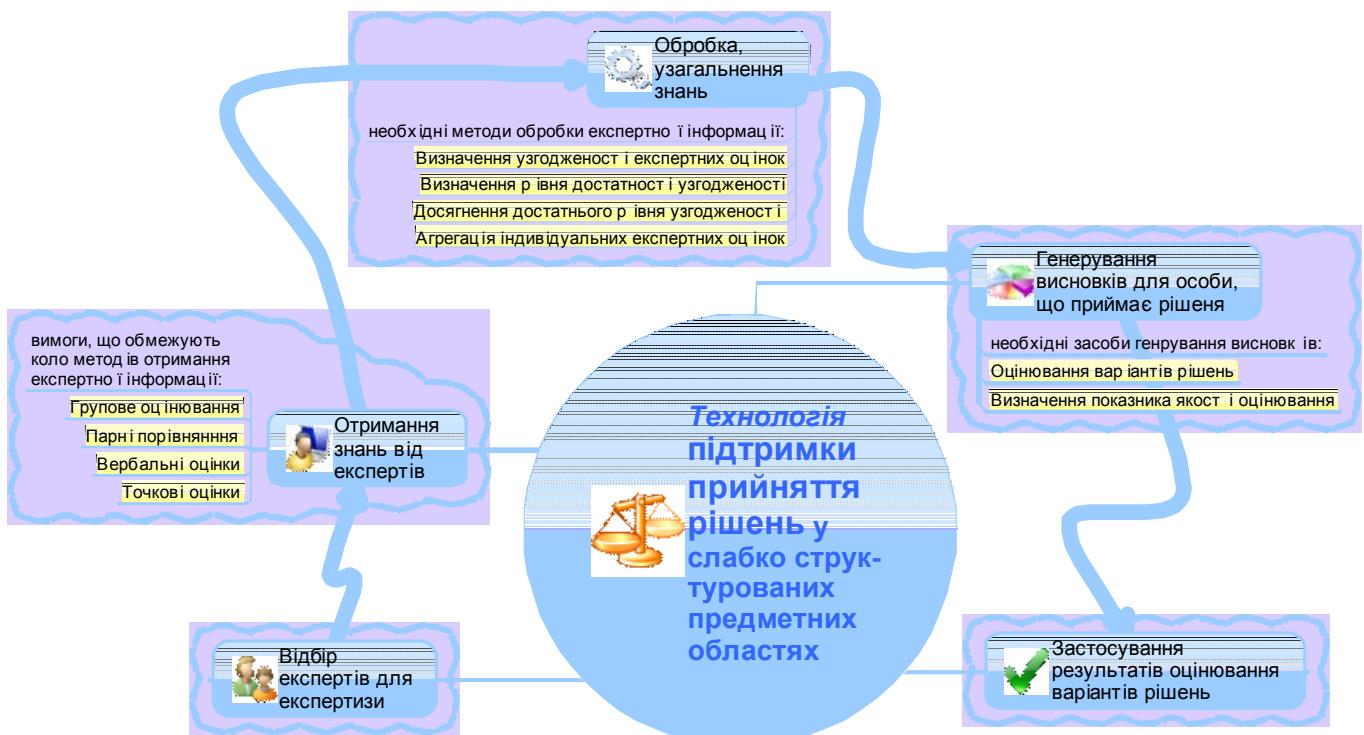


Рис.1.3 Схема обробки інформації у процесі ППР

- 3) обробка і узагальнення знань у процесі побудови моделі;
- 4) оцінка варіантів рішень на основі побудованої моделі;
- 5) застосування результатів оцінювання.

Перший та останній етапи в цьому переліку, хоча і можуть бути частково автоматизовані, все ж лише опосередковано відносяться до самого процесу ППР (вони часто не включаються до складу СППР при їхньому проектуванні) та можуть бути виділені в окремі задачі і розв'язуватись незалежно. Тому питання відбору експертів та застосування результатів не порушуються у даній роботі.

1.2.5 Огляд сучасних систем підтримки прийняття рішень

У зв'язку зі стрімким зростанням застосування технологій ППР останнім часом відмічається зростання і попиту на інтелектуальні системи, призначенні розв'язувати задачі ППР. Серед останніх світових розробок СППР слід згадати: ExpertChoice, SuperDecisions, DecisionLens, D-Sight, Promethee, ОЦЕНКА И ВЫБОР, СОЛОН та їхні модифікації.

Проведено огляд публікацій, пов'язаних з проблемою розробки сучасних СППР. Слід зазначити, що подібний огляд не може охопити усього різноманіття систем, які у тих чи інших джерелах мають назву систем підтримки прийняття рішень. До того ж, до огляду не варто включати вузькопрофільні, спеціалізовані СППР, такі як медичні СППР, чи СППР, комбіновані з Гео-інформаційними системами. Спільні риси, що характеризують усі архітектури СППР, незалежно від призначення, обмежуються наступними: наявність бази знань, наявність моделі предметної області (контексту рішення та критеріїв оцінки), наявність інтерфейсу для користувачів [51]. З огляду на викладені міркування, пропонується зосередити увагу на СППР універсального призначення, математичне забезпечення яких включає найбільш популярні сучасні методики прийняття рішень на основі експертних даних.

1.2.5.1 СППР SuperDecisions

Один з найпоширеніших на сьогоднішній день метод підтримки прийняття рішень – метод аналізу ієрархій та мереж, розроблений Сааті [52, 53], реалізований, зокрема, у СППР SuperDecisions. Ця комп’ютерна система прийшла на зміну відомому у недалекому минулому програмному продуктові ExpertChoice [54]. Система призначена для розрахунку відносної ефективності (вагомості) альтернатив на основі їхньої багатокритеріальної оцінки. Граф ієрархії критеріїв у загальному випадку включає чотири підграфи: переваги (B – benefits), можливості (O – opportunities), витрати (C – costs) та ризики (R – risks).

Ваги кожної з наявних альтернатив та важливість критеріїв визначаються експертами шляхом парних порівнянь у фундаментальній шкалі, або безпосереднім оцінюванням. Після цього, оцінки агрегуються методом зваженого сумування. Оцінки за критеріями, що відповідають перевагам та можливостям беруться зі знаком плюс, а оцінки за критеріями, що визначають витрати та ризики – зі знаком мінус.

Діапазон сфер прикладного застосування системи дуже широкий. На рис. 1.4 показаний вигляд загальної “мережі”, побудованої для оцінки протиракетної оборони США.

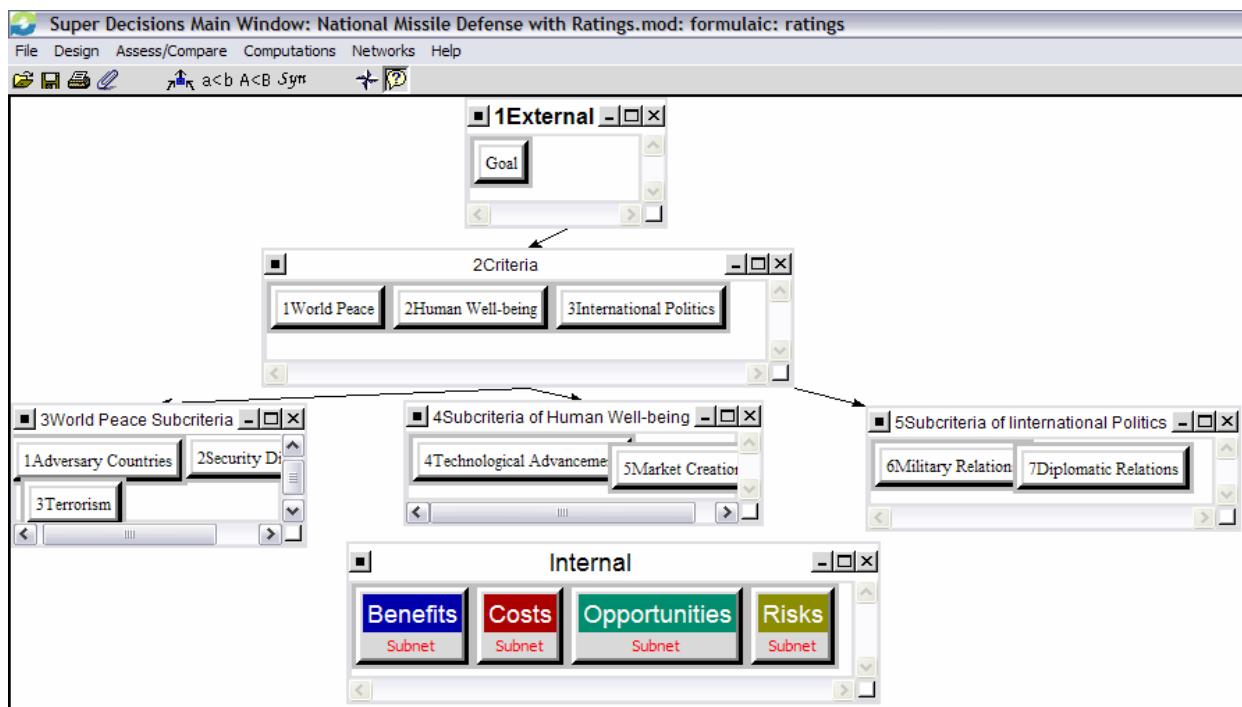


Рис. 1.4 Екранна форма СППР SuperDecisions: оцінка системи протиракетної оборони США

Зазначимо, що SuperDecisions є лише однією з багатьох СППР, в основі якої лежать методи аналізу ієрархій та мереж. З-поміж інших СППР, у яких реалізовані ці методи, варто згадати такі системи як DecisionLens, Expert Choice, MakeItRational, Mind Decider, Rational Focal Point (RFP) Smarter Government.

1.2.5.2 СППР PROMETHEE Visual

Дана СППР, як і розглянута у попередньому пункті, призначена для побудови ранжирування варіантів рішень (альтернатив) на основі їхніх оцінок за кількома критеріями. Система та метод PROMETHEE (у перекладі на українську мову ця абревіатура розшифровується як «метод організації ранжирування переваг для зображення оцінок»), який лежить в її основі, розроблені бельгійськими вченими Жаном-П'єром Брансом та Берtrandом Марешалем [55]. Promethee Visual є «нащадком» попередніх продуктів, де було реалізовано відповідний метод, таких як PromCalc та DecisionLab.

Агрегація оцінок здійснюється методом зваженої суми. Критерії можуть бути якісними або кількісними. Оцінки можуть бути абсолютною та відносними. Особливість методу – наявність так званої «функції переваги» (звичайна, U-подібна, V-подібна, Гаусівська, ступінчаста), яка задає характер відношення переваги у залежності від значень одного чи кількох визначальних параметрів.

Вигляд інтерфейсу системи показаний на рис. 1.5.

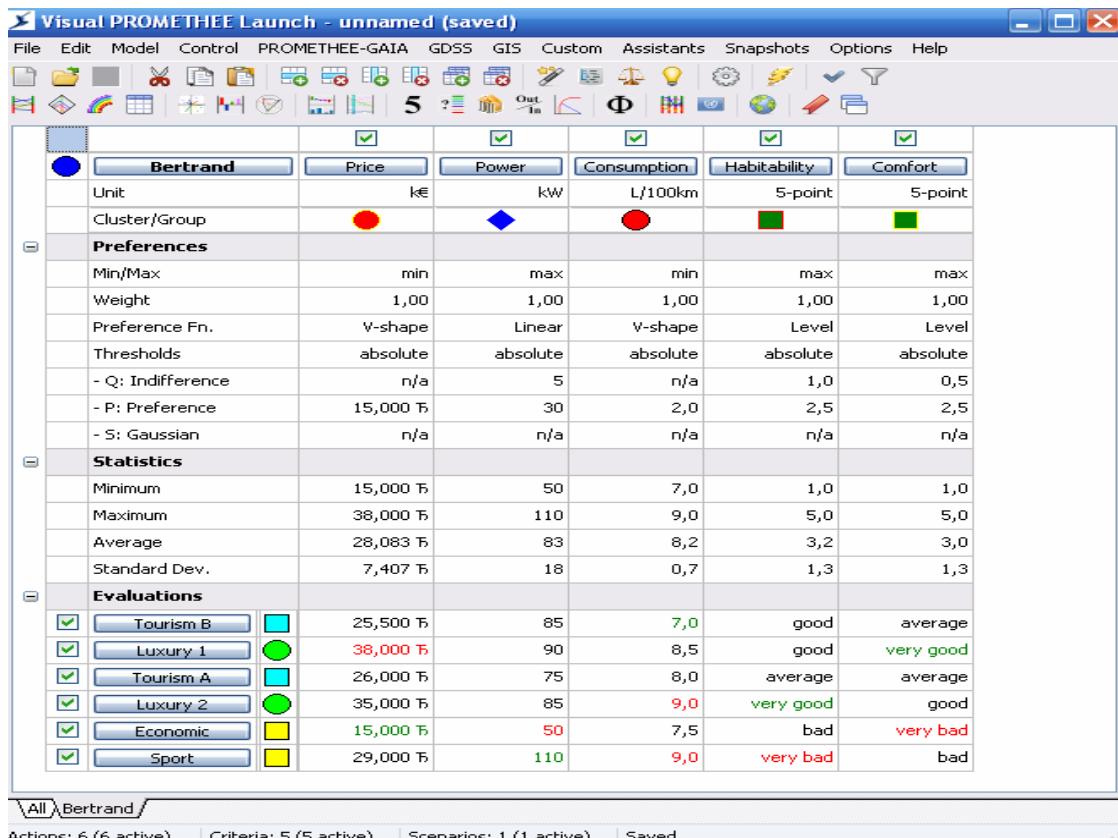


Рис. 1.5 Екранна форма інтерфейсу системи Promethee: приклад вибору автомобіля

1.2.5.3 СППР 1000minds

1000minds [56] – інструмент для групового, у загальному випадку, дистанційного прийняття рішень з ранжируванням альтернатив на основі їхніх оцінок за кількома (двоюма або більше) критеріями. Система не передбачає завантаження програмного забезпечення на індивідуальні робочі місця експертів – уся робота з підтримки прийняття рішень відбувається у мережі.

Chart and selected alternatives				x: Cost (\$K)	y: Total score	y/x ratio	Confidence in cost estimates: 1=low 2=med 3=high	Rank
✓	✗	?	ALTERNATIVE					
●	●	●	Upgrade System Y	300	89,0%	0,296732		3 1 st
●	●	●	Inventory Information System	1000	84,3%	0,0843137		3 2 nd
●	●	●	Upgrade System Z	450	82,4%	0,183007		2 3 rd
●	●	●	Voice over IP	300	64,3%	0,214379		3 4 th
●	●	●	Electronic Staff Rosters	90	62,0%	0,688453		3 5 th
●	●	●	New Data Centres	890	58,8%	0,0660939		3 6 th
●	●	●	Storage System	450	48,6%	0,108061		1 7 th
●	●	●	Business Intelligence Project	760	44,7%	0,0588235		3 8 th
●	●	●	Upgrade System X	500	33,7%	0,067451		1 9 th
●	●	●	Server Virtualisation	250	30,6%	0,122353		2 10 th
●	●	●	Desktop Platform Refresh	110	7,1%	0,0641711		3 11 th
●	●	●	Upgrade Finance System	610	3,9%	0,0064288		2 12 th

Рис. 1.6 Вигляд інтерфейсу СППР 1000minds на прикладі ранжування інноваційних проектів у сфері інформаційних технологій

В основі математичного забезпечення системи лежить метод PAPRIKA (Potentially All Pairwise RanKings of all possible Alternatives), тобто, метод усіх потенційних попарних ранжувань усіх можливих альтернатив, описаний, зокрема, у [57]. У процесі експертизи експертам пропонується попарно ординально порівнювати альтернативи із заданої множини (відповісти на питання: «яка за двох запропонованих альтернатив краща?»). При цьому, як правило, йдеться про досягнення компромісу між кількома критеріями. Наприклад, експерту пропонується обрати високовартісний але перспективний проект або менш перспективний проект з нижчою собівартістю. Критеріїв може бути не два, а більше. Порядок парних порівнянь – такий, щоб мінімізувати кількість звернень до експерта; велика кількість значень ординальних парних порівнянь відновлюється за транзитивністю, на основі наявних відповідей експерта. Кінцевим результатом експертизи є рейтинг та ранжування альтернатив. На рис. 1.6 показаний вигляд таблиці із ранжуванням інноваційних проектів у сфері інформаційних технологій, побудованим за допомогою системи 1000minds.

1.2.5.4 СППР AIRM online

СППР “AIRM online” фактично являє собою програмну реалізацію методу AIRM (aggregated indices randomization method), тобто, рандомізації агрегованих індексів. Опис методу можна знайти, зокрема, у [58]. Метод розроблений з огляду на невизначеність, яка виникає під час оцінки вагових коефіцієнтів: інформація про ваги критеріїв та альтернатив (об'єктів) часто задана у вигляді не чисельних, а ординальних або інтервальних оцінок. Такої інформації недостатньо для однозначного задавання вагових коефіцієнтів. Значення вектора ваги обирається на основі Баєсівської рандомізації із множини всіх можливих значень, які можуть приймати його координати. Вважається, що кожна координата є рівномірно розподіленою на певному чисельному проміжку, і, відповідно, агрегований показник якості об'єктів Q , що порівнюються за кількома критеріями, також є випадковою величиною. Його значення визначається як математичне сподівання цієї величини, а точність характеризується стандартним відхиленням показника.

Вигляд інтерфейсу показаний на рис. 1.7 нижче.

Name	Accord Sedan	Accord Hybrid	Pilot	4.CR-V	5.Element	6.Odyssey
Price	20360.000	31090.000	27595.000	20700.000	18980.000	25645.000
Maintenance	1000.000	1100.000	1700.000	1900.000	1600.000	2700.000
Fuel	31.000	35.000	22.000	27.000	25.000	26.000
Seats	5.000	5.000	8.000	5.000	4.000	8.000
Cargo	14.000	14.000	87.600	72.900	74.600	147.400

Рис. 1.7 Фрагмент інтерфейсу СППР „AIRM online” на прикладі вибору автомобіля за кількома критеріями

1.2.5.5 СППР Analytica

У візуальному програмному пакеті “Аналітика”, розробленому компанією Lumina Decision Systems [59], для ілюстративного подання ситуації, що вимагає прийняття рішення, використовуються так звані діаграми впливів (див. рис. 1.8).

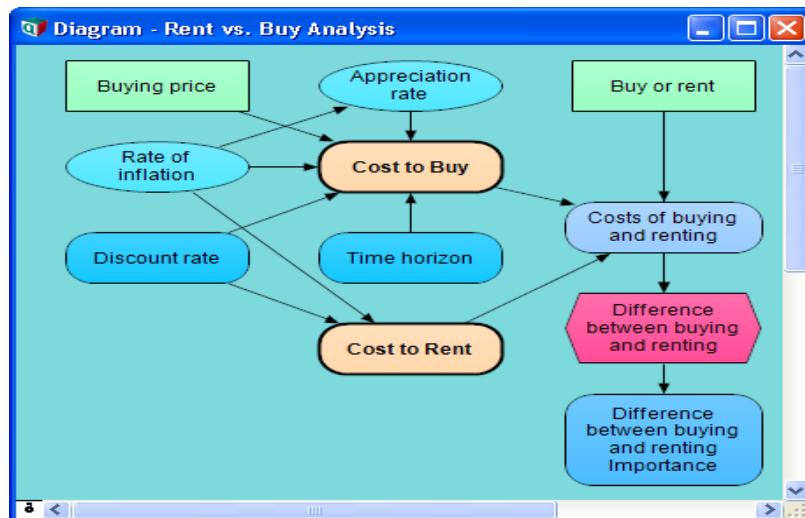


Рис. 1.8 Діаграма впливів для моделі «Buy vs. Rent» (придбання чи оренда будинку).

Вузли на діаграмі впливів можуть належати до одного з наступних типів: Decision («рішення», кількісна величина, яку ОПР може безпосередньо контролювати), Chance («шанс», величина, що має ймовірнісний характер), Objective («ціль», головна мета, на яку спрямована експертиза, як правило, експертиза має єдину мету), Variable («змінна»), Constraint («обмеження»), Module («модуль»), вузол, що, у свою чергу, об’єднує кілька вузлів нижчого рівня, тобто, декомпозується на окремий великий фрагмент діаграми), Index («індекс», що позначає назви елементів певної множини або діапазону, наприклад, назви місяців, чи назви проектів), Constant («константа»), Function («функція», даний вузол викликає наявну або користувачьку функцію чи бібліотеку), Button («кнопка», що викликає виконання певної користувачької процедури (script)).

Слід зазначити, що математичне забезпечення системи ґрунтується не на якихось конкретних методах багатокритеріальної підтримки прийняття рішень, а, здебільшого, на статистичному інструментарії. Значна увага приділяється побудові фун-

кцій розподілу ймовірностей величин, що характеризують альтернативні варіанти рішення.

Система не дозволяє вводити оцінки у вигляді парних порівнянь – від експерта вимагається, щоб він вводив одиниці виміру, діапазони, граничні значення величин, що впливають на досягнення цілі.

1.2.5.6 СППР D-Sight

Програма D-Sight [60] призначена для багатокритеріального оцінювання (ранжування) множини альтернатив із використанням різних шкал (кількісних та якісних). Слід зазначити цікаву можливість формування експертом власної шкали, такої як, наприклад, шкала професійних навичок. Під час експертизи, як і в більшості інших СППР, можна задавати значення оцінок альтернатив та ваг критеріїв. У програмі передбачено багато засобів візуалізації результатів, зокрема, з використанням інструментарію методу PROMETHEE/GAIA та елементів багатофакторної теорії корисності (MAUT) (див. рис. 1.9).

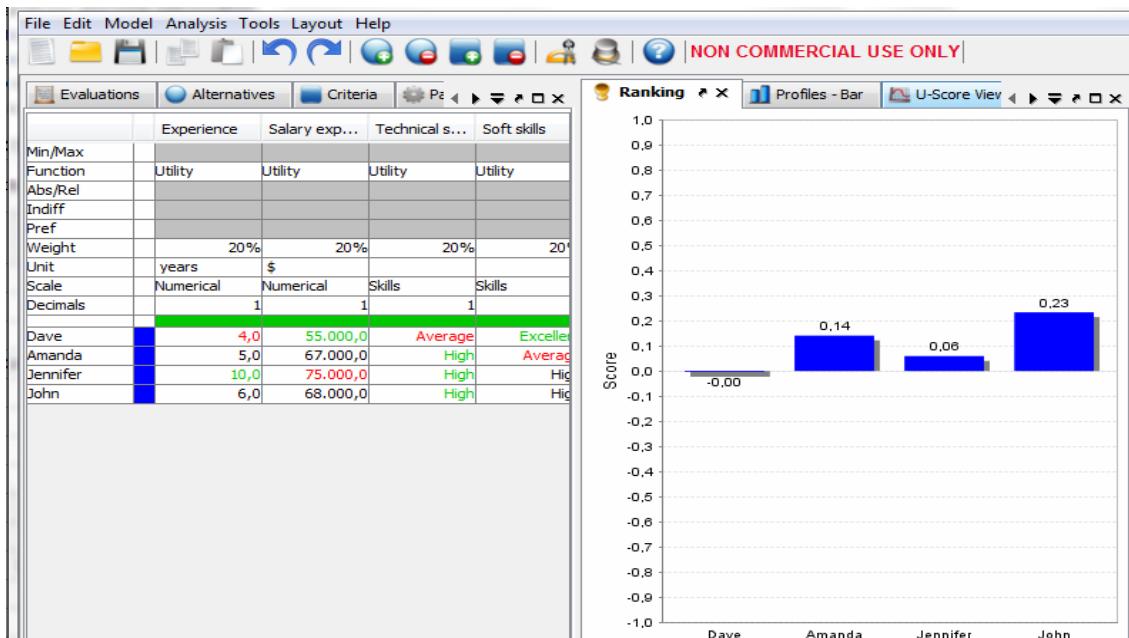


Рис. 1.9 Вигляд інтерфейсу програми D-Sight на прикладі відбору одного з чотирьох кандидатів на вакантну посаду

1.2.5.7 СППР MakeItRational

Ще одна СППР, де реалізований метод аналізу ієрархій – MakeItRational [61]. Система призначена для багатокритеріального оцінювання та вибору альтернатив з заданої множини. Спочатку вводиться множина альтернатив, потім – глобальний критерій оцінювання, після цього – ієрархія його підкритеріїв, що відбражают як негативні, так і позитивні впливи (витрати та вигоди). На наступному етапі альтернативи оцінюються за критеріями, при чому оцінки можна задавати безпосередньо, у вигляді чисельних значень, або ж у вигляді парних порівнянь у фундаментальній шкалі Сааті. Кінцевим результатом експертизи є рейтинг альтернатив за глобальним критерієм та його підкритеріями. Вигляд інтерфейсу даної СППР показаний на рис 1.10.

У системі передбачені можливості експортування результатів в MS Excel та автоматичного формування документу з заключним звітом про результати експертизи.

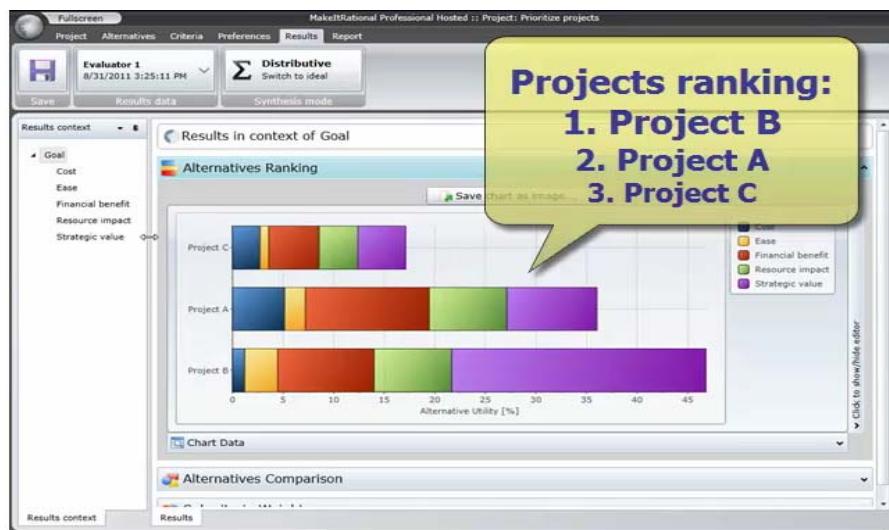


Рис. 1.10 Вигляд інтерфейсу СППР MakeItRational

1.2.5.8 СППР MindDecider

СППР MindDecider [62], як і інші системи, наведені у даному огляді, призначена для багатокритеріального оцінювання та побудови рейтингів альтернатив. Експертиза поділяється на декілька етапів, кожному з яких відповідає певний режим ро-

боти: планування та дизайн, оцінювання, аналіз за часом, формування звіту. Спочатку формується головна ціль, потім – множина альтернатив, критерії оцінки та діапазони значень оцінок. Далі проводиться оцінювання альтернатив за критеріями. Після агрегування оцінок альтернатив за окремими критеріями будується їхній глобальний рейтинг (виражений у процентах), та глобальне ранжування.

Приклад інтерфейсу системи наведено на рис. 1.11.

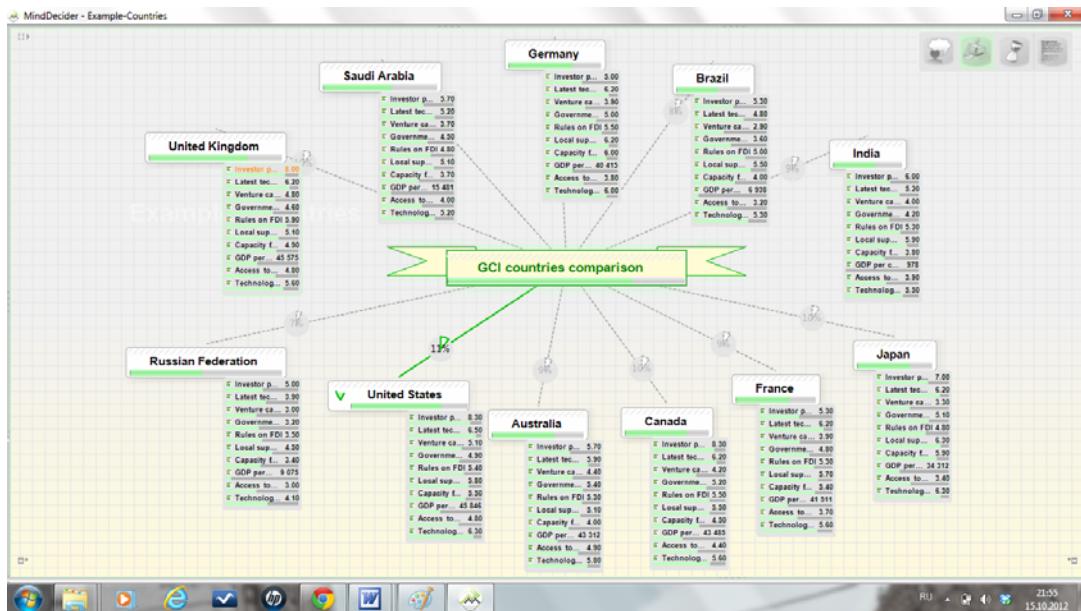


Рис. 1.11 Вигляд інтерфейсу СППР MindDecider на прикладі багатокритеріальної оцінки інвестиційної привабливості країн

1.2.5.9 СППР Logical Decisions

СППР Logical Decisions [63] використовує інструментарій методу аналізу ієрархій та багатофакторної теорії корисності. Система призначена для багатокритеріальної оцінки альтернатив із заданої множини. Ваги критеріїв («measures») задаються шляхом безпосереднього оцінювання, або парних порівнянь у довільній шкалі. Альтернативи оцінюються попарно, знов-таки, у довільній шкалі. На рис. 1.12 та 1.13 показаний, відповідно, вигляд ієрархії критеріїв та ранжування 3-х альтернатив за цими критеріями.

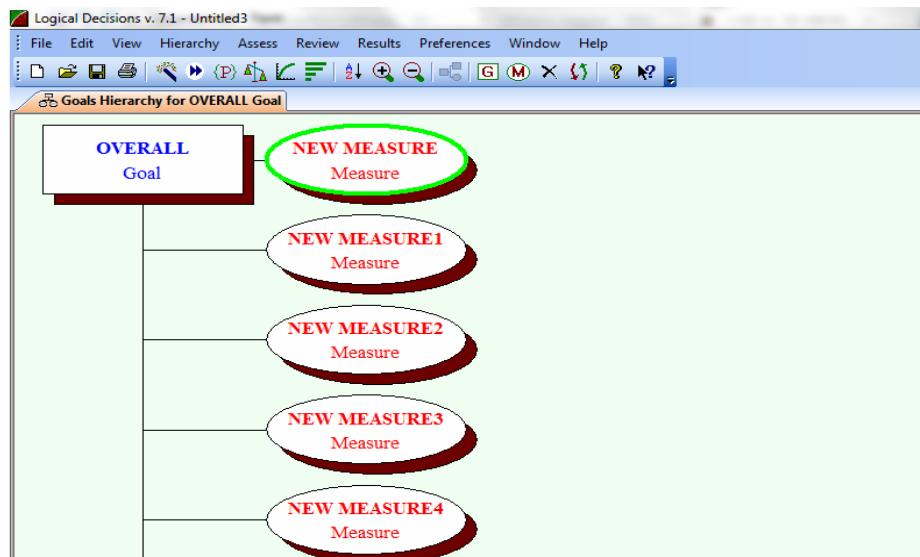


Рис. 1.12 Вигляд ієархії критеріїв в системі Logical Decisions

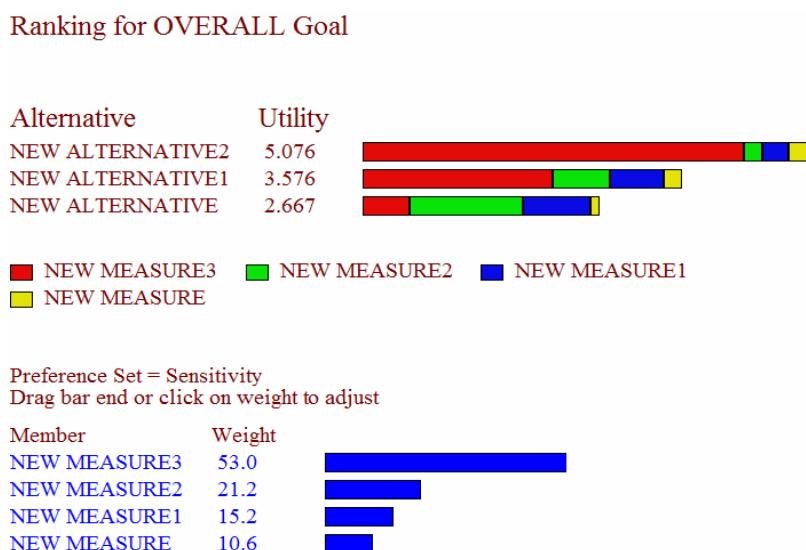


Рис. 1.13 Ранжування 3-х альтернатив за 4-ма критеріями в СППР Logical Decisions

1.2.5.10 СППР Tree Age Pro

СППР Tree Age Pro [64] призначена для оцінки різних варіантів рішень. Можливі варіанти представляються у вигляді гілок дерева рішень. Граф дерева рішень (подібно до діаграм впливів у системі Analytica) може включати вершини різних типів: «шанс» (ймовірнісну вершину), «марковську вершину», «вершину-рішення», «вершину, що відповідає логічній змінній» та ін. Фактично, Tree Age Pro, знов-таки,

подібно, до системи Analytica, являє собою ціле середовище із широкими можливостями для автоматизації та структурування процесу експертного оцінювання та вибору під час вирішення задач різноманітної специфіки. Втім, інструментарій, що лежить в основі математичного забезпечення системи, ґрунтуються, здебільшого, на апараті теорії ймовірностей.

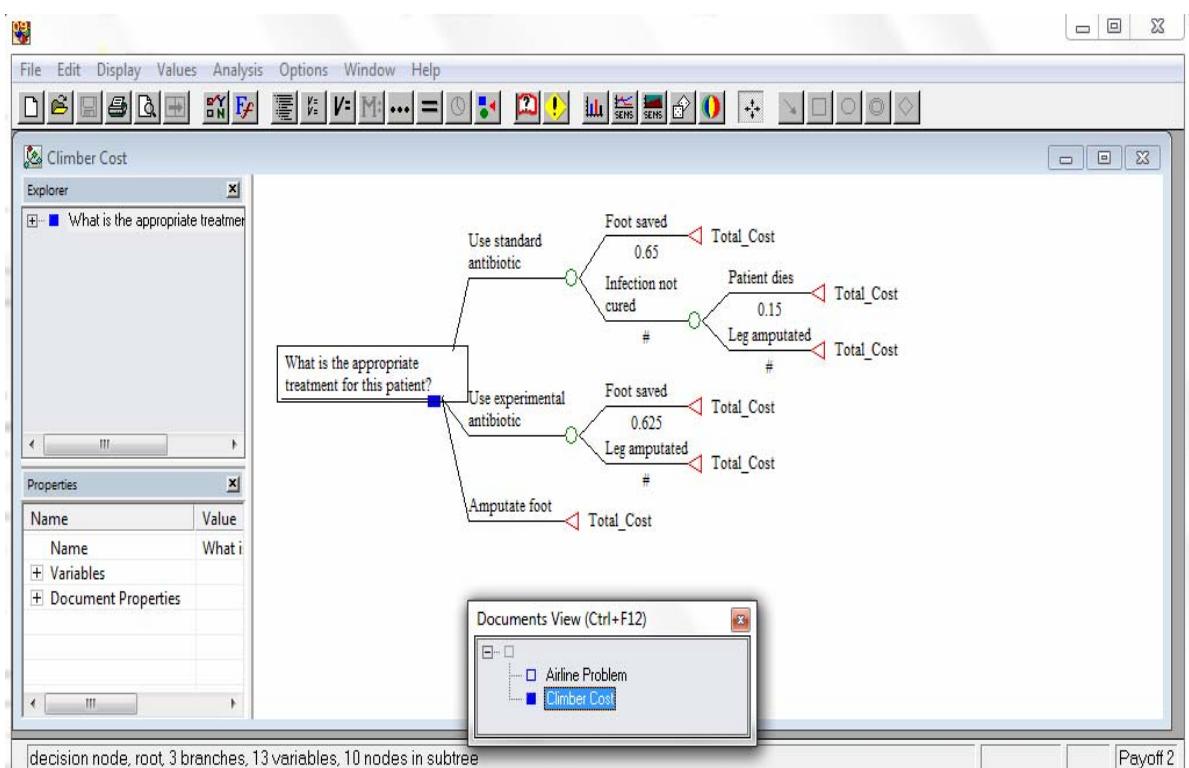


Рис. 1.14 Інтерфейс СППР Tree Age Pro Suite 2009 на прикладі вибору програми лікування пацієнта

1.2.5.11 СППР RFP (Rational Focal Point)

RFP (Rational Focal Point) [65] – комплекс засобів для автоматизації процесу підтримки прийняття рішень на муніципальному рівні. Зокрема, йдеться про рішення щодо фінансування різноманітних проектів, портфельного інвестування, та ін. Варіанти рішення оцінюються за кількісними та якісними критеріями. Система передбачає застосування як парних порівнянь, так і безпосереднє експертне оцінювання. Очевидно, що, оскільки йдеться про рішення масштабу міста, слід враховувати велику кількість факторів, вплив яких змінюються у часі, а також, думки багатьох

експертів, які, у загальному випадку, працюють у дистанційному режимі. Отже, розробники системи (компанія IBM) зробили наголос на мережевому режимі роботи системи та на можливостях «програмування» варіантів рішення у часі.

1.2.5.12 СППР Very Good Choice

Програма Very Good Choice [66], розроблена компанією MVLsoft, використовує у якості базового методу підтримки прийняття рішень метод ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Realite – виключення та вибір, що відображають реальність) [67]. Програма виконана у вигляді «надбудови» (add-in) для пакету Microsoft Excel. Інтерфейс виконаний виключно французькою мовою (адже метод ELECTRE користується популярністю переважно у франкомовних країнах).

1.2.5.13 СППР «ОЦЕНКА И ВЫБОР»

«ОЦЕНКА И ВЫБОР» – інтернет-базована програмна система, призначена для вирішення задач багатокритеріального прийняття рішень при умові, що задача може бути ієрархічно структурована (від критеріїв верхнього рівня до критеріїв нижнього: Мета аналізу – Узагальнені показники – Показники). «ОЦЕНКА И ВЫБОР» використовує різноманітні методи підтримки прийняття рішень: Метод аналізу ієрархій Т.Сааті (MAI), функції цінності, метод простого зважування, домінантний аналіз Парето, аналіз ВИГОДИ/ВИТРАТИ. Авторами системи є А.І. Іофін (Канада) та А.Д. Абдрахімов (Росія).

Кінцевий результат експертизи – рейтинги альтернатив, розраховані як зважені суми відповідних показників, що характеризують ці альтернативи. Показники можуть бути якісними, кількісними, логічного типу (так/ні).

Варто наголосити, що система апріорно орієнтована на *дистанційне* вирішення задач підтримки прийняття рішень. Детальніше з описом можливостей та процесу функціонування системи можна ознайомитися в [68, 69].

1.2.5.14 Інструментальна система «СВИРЬ»

Серія СППР «СВИРЬ» належить до доробку Санкт-Петербурзької школи, очолюваної С.В. Міконі. Згідно з авторським описом, система вибору та ранжирування «СВИРЬ» є інструментальною системою, призначеною для вирішення задач багатокритеріального вибору. Вона відповідає таким вимогам як: універсальність, можливість одночасного використання об'єктивних та суб'єктивних оцінок, розв'язання задач високої розмірності, автономність у вирішенні задач, можливість комплексування з іншими системами для обміну даними та їхньої обробки, ергономічність, здатність до розвитку.

Задачі багатокритеріального вибору розв'язуються у системі методами багатокритеріальної оптимізації та класифікації, аналізу ієрархій. Ваги критеріїв оцінки об'єктів задаються безпосередньо, обчислюються на основі матриць парних порівнянь на основі переваг, заданих експертами, або обчислюються на основі рівноцінності ознак у таблицях чи рівноцінності первинних ознак.

Результати представляються у єдиній кольоровій шкалі якості із можливістю її настроювання та збереження. На виході система також дозволяє отримати графіки розподілу об'єктів за критеріями та за загальною оцінкою та проаналізувати вклад критеріїв до загальної оцінки.

Система та її модифікації описані у численних публікаціях, зокрема у [70, 71].

1.2.5.15 СППР „Солон-2”

СППР типу “Солон-2” є інструментом підтримки прийняття рішень шляхом формування комплексних цільових програм (КЦП). КЦП являє собою сукупність заходів, що об'єднані глобальною ціллю та спільними ресурсами. Основні задачі, що виникають під час формування КЦП – це

- 1) формулювання головної цілі,
- 2) визначення перспективних напрямків її виконання (підцілей),
- 3) відбір найефективніших засобів (проектів) та

4) розподіл ресурсів між відібраними проектами.

Для вирішення задач 2) та 3) виникає потреба у ранжируванні об'єктів (проектів, цілей).

Технологічний процес підтримки прийняття рішень за допомогою СППР “Солон-2”, включає наступні етапи: декомпозиція головної цілі та побудова ієрархії цілей, (експертне) визначення часткових коефіцієнтів впливу підцілей, визначення (розрахунок) відносної ефективності напрямків виконання програми та генерація альтернативних проектів, розрахунок коефіцієнтів впливу проектів на досягнення головної цілі, що використовуються у якості показників відносної ефективності проектів. Для розрахунку відносної ефективності проектів у даній СППР застосовується метод цільового динамічного оцінювання альтернатив (МЦДОА).

Детальний опис роботи СППР “Солон-2” можна знайти у [72, 73]. Екранна форма з фрагментом ієрархії цілей показана на рис. 1.15.

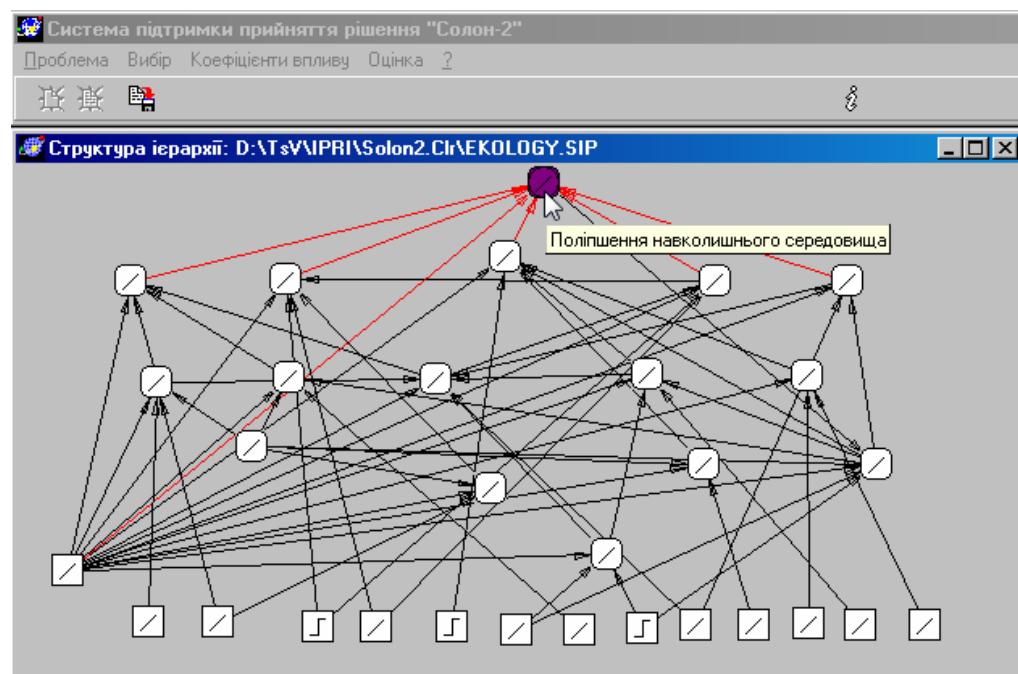


Рис. 1.15 Фрагмент ієрархії цілей, пов'язаних із поліпшенням екологічної ситуації, побудованої в СППР “Солон 2”

1.2.5.16 Зведений порівняльний аналіз сучасних систем підтримки прийняття рішень

У [74, 75] наведено порівняльний аналіз деяких СППР, зокрема, не згаданих у даному огляді. Узявши за основу зроблений аналіз та доповнивши його інформацією про нові СППР, що заслуговують на увагу, отримано зведені дані про системи (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.1 Порівняльна інформація про можливості сучасних СППР

Назва СППР	Реалізовані методи	Парні порівняння	Часовий аналіз	Аналіз чутливості	Групове оцінювання	Оцінювання ризиків	Наявність веб-версії
1000Minds	PAPRIKA	Так	Ні	Так	Так	Ні	Так
AIRM Online	AIRM	Ні	Ні	Так	Ні	Так	Так
Analytica		Ні	Так	Так	Ні	Так	Так
Decision Lab		Так	Ні	Так	Ні	Так	Ні
Decision Lens	AHP, ANP	Так		Так	Так		Так
D-Sight	MAUT, PROMETHEE	Так	Ні	Так	Так	Так	Так
Expert Choice	AHP	Так	Ні	Так	Так	Так	Так
Logical Decisions	AHP, MAUT	Так	Ні	Так	Так	Так	Ні
MakeItRational	AHP	Так	Ні	Так	Так	Ні	Так
MindDecider	AHP	Ні	Так	Так	Так	Так	Ні
PROMETHEE Visual	PROMETHEE	Так	Ні	Так	Так	Так	Ні
RFP	AHP, ANP	Так	Так	Так	Так	Так	Так
SuperDecisions	AHP, ANP	Так	Ні	Так	Ні	Так	Ні
TreeAge Pro		Ні	Ні	Так	Ні	Так	Ні
Very Good Choice	ELECTRE	Так	Ні	Так	Так	Так	Ні
ОЦЕНКА И ВЫБОР	АHP, ФЦ, ПареттоAn	Так	Ні		Так	Ні	Так
СВИРЬ	БКОпт, Класиф, АHP	Так	Ні	Так	Так		Ні
СОЛОН	МЦДОА	Так	Так	Так	Так	Так	Так

Не зупиняючись докладно на окремих програмах та методах, що лежать в основі їхнього математичного забезпечення, звернімо увагу на критерії, за якими порівнюються сучасні СППР, та найважливіших (згідно з таблицею) можливостях цих програмних продуктів. Як бачимо, загальні вимоги до СППР передбачають наступні можливості: введення оцінок у вигляді парних порівнянь, аналізу «чутливості» рішення до зміни ваг критеріїв та значень оцінок, проведення групових експертіз та роботи у дистанційному режимі. Незважаючи на відсутність будь-яких офіційних

стандартів розробки СППР, можна досить чітко виокремити необхідні вимоги до них, керуючись здоровим глуздом та основними функціями цих систем.

Хоча наведений огляд в жодному разі неможна вважати вичерпним, але він ілюструє найбільш загальні тенденції у розвитку сучасних СППР, що використовують експертні оцінки, зокрема, задані у вигляді парних порівнянь. В контексті даної роботи варто зосередити увагу на тому факті, що у жодній з наведених СППР не передбачено можливості одночасного введення та подальшої агрегації оцінок за одним і тим же критерієм у різних шкалах, хоча початкові кроки до цього зроблені. Так, наприклад, у системах СОЛОН та PROMETHEE Visual оцінки за різними критеріями можуть задаватися у різних шкалах, а потім вони відповідним чином уніфікуються, а в системі SuperDecisions передбачена можливість вводу оцінок як у шкалі парних порівнянь Saatі, так і у вигляді абсолютнох значень. Втім, можливість вводу у різних шкалах кожного окремого парного порівняння не передбачається. На подолання цього обмеження, між іншим, спрямована розробка відповідної технології прийняття рішень.

В результаті наведеного аналізу відомих світових розробок комп'ютерних систем такого типу та ознайомлення з їхніми можливостями, було виявлено суттєвий недолік наявних СППР, який впливає на ефективність їхнього застосування.

Наприклад, існують технології ППР та реалізовані на їхній основі СППР, в яких при отриманні інформації від експертів попередньо обирається шкала оцінювання, але необґрунтовано вважається, що обрана шкала однаково прийнятна для усіх експертів, або для усіх питань у заданій предметній області. Таким чином, ігнорується той факт, що кожний експерт має свій рівень обізнаності в кожному питанні експертизи.

Цей недолік в наявних технологіях ППР призводить до того, що на експерта опосередковано здійснюється тиск під час отримання у нього знань, або ж, навпаки, експертні знання отримуються не в повній мірі. Даний недолік суттєво впливає на адекватність побудованих експертним шляхом моделей предметних областей і, як наслідок, на відповідність рекомендацій, що надає СППР, дійсним уявленням експертів (їхнім знанням) про предмет експертизи.

На основі огляду розроблених СППР та їхнього застосування можна зробити висновок, що невід'ємними вимогами до організації роботи з експертами в сучасних СППР є групова експертиза. Можливість супроводу системи (її БЗ) під час довготривалої експлуатації, з наданням експертам можливості змінювати свої попередні судження внесені в БЗ, на жаль на теперішній час, розробниками СППР практично не надається.

З огляду на вищезгадані обмеження наявних технологій ППР та СППР, постає актуальна проблема розробки інструментарію підтримки прийняття рішень різноманітного призначення, що дозволить більш ефективно, адекватно, без тиску на експерта отримувати, тлумачити, обробляти, узгоджувати та агрегувати індивідуальні ЕО, і тим самим, дозволить підвищити ефективність процесу прийняття рішень на основі цих експертних даних.

1.3 Проблема класифікації та вибору шкал експертного оцінювання

Проблеми класифікації та вибору шкал експертного оцінювання досить широко висвітлені в науковій літературі. Серед останніх слід виділити низку статей, що найбільше наблизились до вказаних проблем.

Деякі шкали і їхні властивості охарактеризовані в роботах В.Кушербаєвої та Ю.Сушкова [76], де було запропоновано альтернативний варіант шкали для експертного оцінювання (т.зв. логістична шкала), яка, за словами авторів, переважно може застосовуватись при вирішенні таких задач прийняття рішень, як ранжування альтернатив.

Серед вітчизняних авторів питання вибору шкали нещодавно торкнулися Н.Яремчук та О.Сікоза [77], вирішуючи задачу побудови лінгвістичних шкал при експертному оцінюванні властивостей складних об'єктів.

Особливо слід відзначити експериментальне дослідження, що нещодавно проведено М.Елліоттом [78], в якому досліджувався вплив вибраної числової шкали на відповідність результатів експертного оцінювання внутрішнім уявленням експерта. У результаті цього дослідження було з'ясовано, що вибір шкали має значний вплив

на результиручу оцінку варіанту рішення. Було проаналізовано три різновиди числових шкал, значення поділок яких призначались лінгвістичним змінним шкали Сааті [79] двох видів – з 5-ма та з 9-ма градаціями. Серед розглянутих числових шкал наступні: цілочислова (англійською – integer), збалансована (balanced), запропонована А.Сало і Р.Хамалайненом [80] та степенева (power), запропонована декількома авторами, в тому числі Стівеном [81] та Луцмою [82, 83]. Одним із результатів дослідень, зазначених у [78], є аналіз інформації від експертів про їхнє відношення до запропонованої їм шкали для оцінювання.

До того, слід відмітити огляд та порівняння п'яти основних шкал оцінювання, представлений у роботі [84]. Крім згаданих вище шкал, до огляду увійшли шкала Ма-Чженга [85] та шкала Донеган-Додд-МакМастера [86].

Порівняльне дослідження наведених вище шкал та оптимізаційна модель вибору шкали для використання експертом наведені в роботі [87]. Систематизація та загальна класифікація шкал відношень представлена в роботі Уедлі та Чу [88].

На основі сформульованих автором вимог до шкал експертного оцінювання, окреслено коло шкал і відповідних класів ЕО, які рекомендуються для використання при ППР з метою підвищення ефективності проведення експертиз. Для підвищення достовірності отриманих від експертів оцінок пропонується повсякчас застосовувати парні порівняння об'єктів експертизи. Окрім того, оскільки людині-експерту зручніше оперувати нечисловими даними, то пропонується застосування вербальних шкал при експертному оцінюванні. На основі аналізу даної проблематики запропоновано використовувати модель відносних вимірювань і відповідну їй шкалу відношень, як такі, що здатні найбільш повно відобразити різноманіття властивостей об'єктів предметних областей та їхні взаємовідношення при моделюванні предметної області. У зв'язку з вибором зазначененої моделі експертного оцінювання, з урахуванням позиції школи Т. Сааті, зроблено висновок про недоцільність використання у ній класу нечітких ЕО, оскільки модель відносних вимірювань, у якій аксіоматично передбачається, що судження про переваги об'єктів подаються засобами обмеженої вербальної шкали, врешті, сама по собі, є досить нечіткою і подальша її „фазифікація” є недоцільною [89].

Кількість об'єктів, які подаються експертові для оцінювання, рівно як і кількість поділок шкали оцінювання, прийнято задавати не більшою ніж 7 ± 2 , згідно з психофізичними обмеженнями короткотермінової пам'яті людини щодо одночасного запам'ятування та відтворення об'єктів [90]. Якщо ж, наприклад, кількість об'єктів для порівняння більше семи (в крайньому випадку, дев'яти), то пропонується проводити розбиття об'єктів на групи таким чином, щоб їх кількість, що за-пам'ятується, не перевищувала 9.

1.4 Дослідження з метою підвищення достовірності рекомендацій для осіб, що приймають рішення

1.4.1 Моделі, що застосовуються при експертній підтримці прийняття рішень в слабко структурованих складних системах

Згідно зі схемою обробки інформації у ході ППР (див. рис. 1.3), варто виділити наступні моделі, що застосовуються для експертної ППР:

– модель *слабко структурованої складної системи* (див. далі рис. 1.16), яка по своїй суті є ієархією цілей (базою знань деякої предметної області), побудованою, в загальному випадку, групами експертів шляхом застосування відповідної технології. На вхід моделі подається найменування головної цілі функціонування системи, сформульоване особою, що приймає рішення, варіанти рішень (альтернативи), попередньо сформульовані експертним шляхом або згенеровані одним із методів, згаданих в п.1.2.1, а також, експертні оцінки ступенів впливу між цілями ієархії, часові затримки досягнення цілей, терміни виконання цілей, тощо. Частина вихідних даних моделі, а саме сформульовані групами експертів множини альтернатив, поступають на вхід моделі експертного оцінювання, інші дані, у вигляді складових побудованої ієархії цілей – на вхід моделі ППР.

– модель *експертного оцінювання* передбачається у двох варіантах: призначена для послідовної обробки реальних експертних оцінок та слугує для проведення тестування інструментарію ППР без залучення експертів. Перший, основний, варіант мо-

делі включає отримання ЕО, визначення рівня їхньої узгодженості, перевірку на достатність рівня узгодженості оцінок для експертної групи, досягнення достатнього рівня узгодженості шляхом зворотного зв'язку з експертами та узагальнення узгоджених ЕО. Другий варіант моделі експертного оцінювання передбачає імітацію ЕО, як випадкових величин. Для обох варіантів моделей може задаватись шкала оцінювання (ординальна чи кардинальна), як вхідний керуючий параметр моделі. Okрім того, при обробці групових ЕО, заданих у шкалах різного рівня інформативності, шкала оцінювання не задається априорі. На виході моделі – оброблені узагальнені ЕО для ієрархії цілей (відносні ваги впливів цілей, рейтинги формульовань, даних різними експертами групи, тощо).

– модель *ППР* є по суті реалізацією МЦДОА і на виході дає відносні оцінки варіантів рішень (альтернатив), або їх упорядкування (рейтинг).

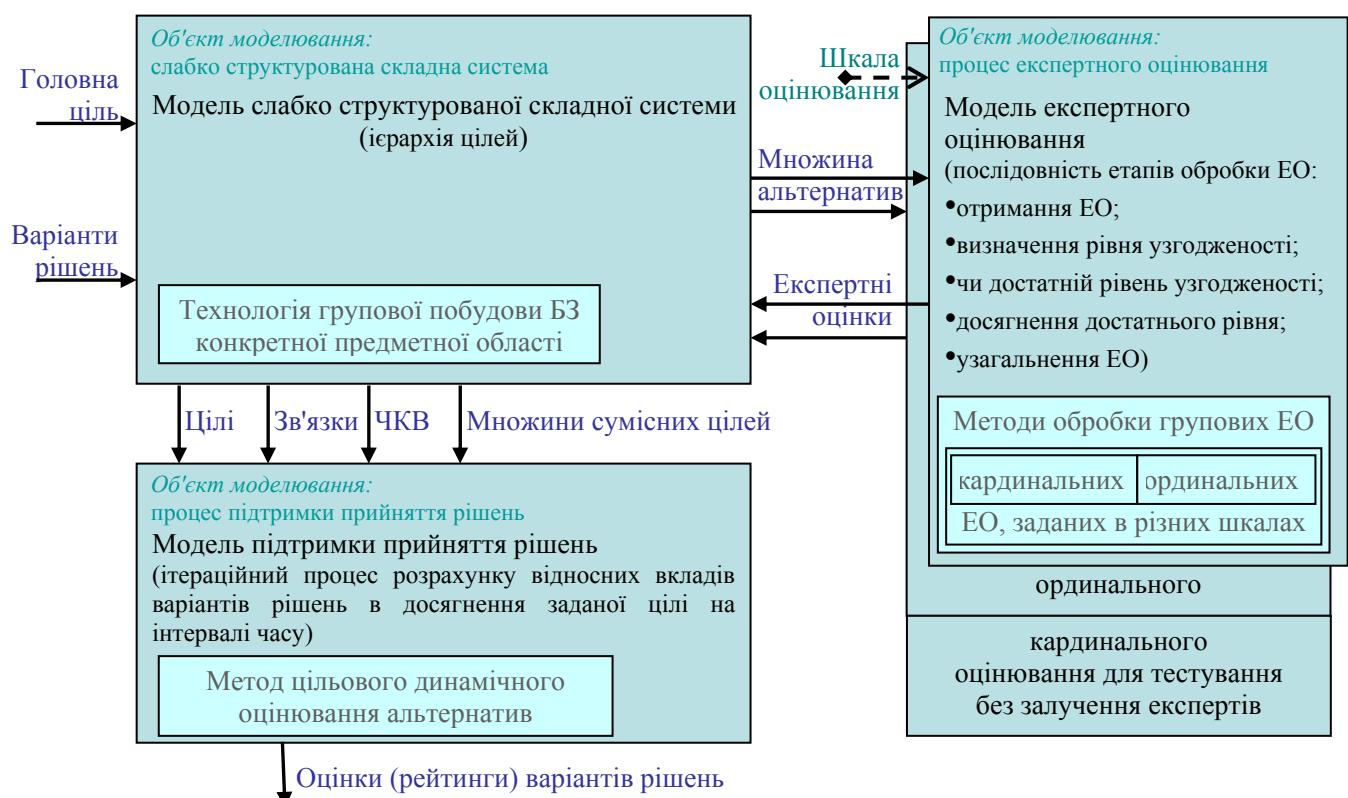


Рис. 1.16 Моделі для експертної підтримки прийняття рішень в слабко структурованих складних системах

1.4.2 Обґрунтування необхідності створення нових моделей та методів експертної підтримки прийняття рішень

Як випливає із сформульованої актуальної проблеми, вимоги до організації експертиз у сучасних СППР варто доповнити вимогою щодо ефективного, адекватного, повного, без тиску отримання, тлумачення, оброблення, узгодження та агрегування експертної інформації. Виконання цієї вимоги дозволяє поліпшити достовірність рекомендацій, які даються особам, що приймають рішення, за рахунок підвищення адекватності моделей предметних областей власним уявленням експертів, залучених до побудови моделей.

Для забезпечення зазначених вимог пропонується у процесі виконання парних порівнянь, для кожного оцінювання пари об'єктів, надати експертові можливість використовувати шкалу, найбільш адекватну його знанням про предмет експертизи, включаючи можливість не надавати інформацію у разі недостатньої впевненості у перевазі якогось із елементів пари. У результаті надання таких можливостей оцінки експертів у більшій мірі становляться відповідними дійсним їхнім уявленням про об'єкти експертизи та про співвідношення між цими об'єктами.

Зазначимо, що серед відомих на теперішній час систем та технологій ППР не існує таких, в яких надавалася б можливість отримання експертної інформації за кожним парним порівнянням у окремо обраній шкалі оцінювання. Шкала оцінювання, а насамперед її докладність, відіграє ключову роль для забезпечення адекватності уведеної (обраної) оцінки експерта до оцінки, що виникла в його уяві на основі знань, досвіду та інтуїції.

Вивчивши різноманіття шкал експертного оцінювання і відібравши ті, що задовольняють вимогам до технології ППР, було запропоновано синтезувати універсальну динамічну шкалу для проведення парних порівнянь експертом. Динаміка або гнучкість шкали полягає у можливості зміни її докладності (кількості поділок) у процесі оцінювання. Отже, задля досягнення експертом можливості оцінити (порівняти) запропоновану пару об'єктів у шкалі з докладністю, що відповідає рівню компетентності цього експерта стосовно саме даної пари об'єктів, пропонується покро-

кова процедура поступового збільшення докладності шкали у процесі оцінювання з можливістю виходу з процедури на будь-якому кроці при досягненні відповідності поточної докладності шкали рівню компетентності експерта.

1.4.3 Парадигми дослідження

В основу дослідження та розробки інструментарію ППР покладено дві парадигми. Послідовно зупинимось на кожній із них.

Перша парадигма вже згадувалась у попередньому підрозділі, вона полягає в тому, що для кожного окремого елементарного оцінювання експертові пропонується шкала, найбільш адекватна його знанням про предмет експертизи. У цьому випадку для пояснення доречною може бути наступна аналогія: якщо експерта вважати деяким метрологічним приладом, який слугує для вимірювання заданого параметру, то докладність шкали може бути трактовано як клас точності даного приладу. Тоді адекватність шкали оцінювання знанням експерта відповідає достатності точності вимірювального приладу для виконання деякого визначеного вимірювання. Окрім того, при проведенні експертизи, передбачається, що експерт може надавати неповну (не надавати) інформацію стосовно деяких пар об'єктів. Зазвичай це відбувається коли у експерта немає упевненості у наявності переваги серед пари об'єктів.

Друга парадигма пов'язана саме з останнім випадком і полягає в тому, що не існує абсолютної рівнозначності при порівнянні альтернатив. “Рівнозначність” при порівнянні еквівалентна “нерозрізненню” або пропуску порівняння, що призводить до неповноти наданої інформації. Згідно до цієї парадигми – не існує абсолютної рівнозначності при порівнянні об'єктів. У таких випадках, якщо експерт схиляється до думки про рівнозначність об'єктів, це свідчить про недостатність у нього знань, для того щоб розрізнати такі об'єкти. Відповідно до згаданої аналогії із області метрології, випадок рівнозначності (відмови від оцінювання) може трактуватись як недостатність точності вимірювального приладу. Описаний постулат знаходить особливо широке практичне підтвердження саме в слабко структурованих неформалізованих предметних областях, коли маємо справу з порівняннями, так званих, “невідчутних”

(англійською “intangible”) факторів. Отже, виходячи із другої парадигми, “рівнозначність” при попарному порівнянні еквівалентна “нерозрізненню” або пропуску порівняння, і тому в шкалі оцінювання для парних експертних порівнянь не передбачається наявність поділки „рівнозначно” („однаково”). Функція для виходу експерта з процесу оцінювання „Не можу / Затрудняюсь визначити” фактично знімає необхідність вибору поділки шкали „рівнозначно”.

Слід зауважити, що парадигми, покладені в основу дисертаційного дослідження випливають із цілей та сутності самого дослідження і їхнє підґрунтя підтверджується здоровим глуздом.

1.4.4 Основні задачі дослідження

Сформульована вище проблема дисертаційного дослідження складається з низки локальних задач, розв’язання яких вбачається необхідним для вирішення проблеми. Основні задачі формулюються згідно з етапами обробки інформації зображеними на рис.1.3.

На етапі отримання знань від експертів технологія ППР, що розробляється вимагає розробки нового механізму експертного оцінювання. Таким чином, перша задача дослідження пов’язана з розробкою технології експертного оцінювання, що забезпечує найбільш повне та адекватне подання знань експертів у відповідній моделі предметної області.

Оскільки докладність знань кожного окремого експерта в кожному окремому питанні експертизи (компетентність експерта) є різною, то необхідність повного та адекватного отримання експертної інформації зумовлює забезпечення можливості експертам подавати свої оцінки у різних за докладністю шкалах.

Вирішення другої задачі дослідження – приведення оцінок до уніфікованого вигляду – є необхідною умовою для подальшої обробки отриманих індивідуальних ЕО, а саме, для визначення рівня їхньої узгодженості та, надалі, їх узагальнення.

Без сумніву, невід’ємною складовою технології ППР, а також СППР, розроблених на основі цих технологій, є ефективні методи обробки ЕО (як кардинальних, так

і ординальних). Отже, наступною задачею дисертаційного дослідження є розробка та вибір ефективних методів обробки ЕО, попередньо приведених до уніфікованого виду. До задач обробки ЕО слід віднести: визначення рівня узгодженості ЕО, наданих різними членами експертної групи, знаходження мір достатності цього рівня, узагальнення (агрегацію) ЕО при досягненні достатнього рівня узгодженості.

З метою розробки технології ППР, що більш ефективно, адекватно, повно, без тиску на експерта дозволяє отримувати, тлумачити, обробляти, узгоджувати та узагальнювати експертну інформацію, пропонується розробити метод агрегації індивідуальних ЕО, як результатів попарних порівнянь, поданих у різних шкалах. Метод агрегації призначається для визначення кількісних відносних показників впливу в БЗ СППР та має підтримувати функціональним у випадку неповного надходження інформації про експертні переваги. Задача розробки такого методу включає можливість організації зворотного зв'язку з експертами у разі недостатньої узгодженості індивідуальних ЕО з метою досягнення достатнього її рівня для подальшої агрегації.

Ефективність отримання експертної інформації залежить, з-поміж іншого, від таких взаємопов'язаних чинників, як тривалість і вартість самої експертизи. Звичайно, досягнення бажаного результату з меншими витратами – це мета, якої воліють досягти задля підвищення ефективності будь-якої системи. Стосовно СППР це може бути скорочення або спрощення деяких експертних процедур. Однією з важливих процедур в експертному оцінюванні є визначення компетентності експертів. Оскільки, при ППР передбачається організація виключно групових експертіз, актуальним є питання: чи завжди при проведенні експертизи потрібно враховувати компетентність членів експертної групи? І в яких випадках процедуру визначення компетентності можна не виконувати? Таким чином, окреслено наступну задачу дисертаційного дослідження, розв'язання якої має дати відповідь на поставлене запитання.

Кількість прийнятних показників якості ППР в слабко структурованих предметних областях є значно обмеженою через повну відсутність будь-яких еталонів для порівняння результатів. У зв'язку з цим, перед дослідженням постає задача розробки таких показників з метою подального їх застосування для визначення якості рекомендованих рішень та способів підвищення цих показників у разі потреби.

1.4.4 Загальна методика проведення дослідження та методи вирішення задач

Задля підвищення достовірності результатів оцінювання варіантів рішень, а наразі, і якості рішень, що рекомендуються ОПР, пропонується у першу чергу підвищити відповідність створених з використанням технологій ППР моделей предметних областей до власних уявлень експертів. Для досягнення цієї мети пропонується спеціальна технологія оцінювання групами експертів, яка передбачає попарні порівняння альтернатив з застосуванням кожним експертом для кожного окремого порівняння шкали експертного оцінювання такої докладності, яка найбільш відповідає рівню компетентності експерта стосовно питання, що розглядається.

Оскільки мова йде про моделі, що базуються на експертній інформації та про їх відповідність (адекватність) до власних уявлень експертів, то, очевидно, що працевздатність та ефективність такої запропонованої експертної технології можливо перевірити лише покладаючись на результати відповідного експериментального дослідження із застосуванням реальних експертів. Тому проміжними додатковими задачами дисертаційного дослідження постають створення експериментального програмного комплексу та виконання за його допомогою відповідного дослідження.

Окрім цього, створений у результаті дисертаційного дослідження інструментарій ППР потребує багатократних різноманітних перевірок, стосовно, наприклад, визначення ефективності методів обробки ЕО, якості отримуваних результатів, питань оптимального структурного складу інструментарію, та ін. Задля проведення таких тестувань та суттєвого зниження ресурсних витрат на них, пропонується, у випадках, коли це можливо, замість оцінок, даних реальними експертами, використовувати програмно змодельовані ЕО. Тому вважається доречним до додаткових завдань дослідження долучити задачу створення моделюючого програмного комплексу, здатного імітувати ЕО різного типу, які при проведенні тестування інструментарію поступають на вхід компонентів, що тестиються.

Таким чином, загальна методика дослідження базується на вирішенні питань, що виникають в ході створення інструментарію ППР із зазначеними властивостями

з наступною перевіркою результатів методом математичного моделювання та за допомогою проведення експериментальних досліджень.

1.5 Висновки за розділом 1

Для підвищення достовірності рекомендацій, які надаються особам, що приймають рішення в слабко структурованих предметних областях пропонується підвищити адекватність моделей цих областей до власних уявлень експертів, на знаннях яких базуються ці моделі. Задля підвищення ефективності процесу прийняття рішень необхідна розробка моделей та методів експертної ППР та на їхній основі інструментарію, котрий дозволить більш ефективно отримувати, тлумачити, обробляти, узгоджувати та узагальнювати індивідуальні ЕО та надавати більш достовірні рекомендації ОПР. На відміну від існуючих моделей ППР, пропонується при отриманні знань у експертів, при окремому оцінюванні, застосовувати шкали з докладністю, що як найкраще відповідає компетентності (інформованості, обізнаності) даного експерта в питанні, що розглядається. Тобто, шляхом поступового підвищення докладності (інформативності) шкали у ході конкретного оцінювання, експертом досягається найбільша відповідність шкали до власної компетентності в даному окремому питанні.

У результаті проведеного попереднього дослідження підтверджено необхідність розробки моделей та методів експертної ППР у слабко структурованих складних системах різноманітної природи з метою досягнення вищого рівня ефективності прийняття рішень в таких предметних областях. Розкрита сутність запропонованих парадигм на яких мають базуватись вказані розробки.

Згідно етапів обробки інформації в ході ППР, сформульовано основні задачі, які мають бути вирішенні при розробці теоретичних та технологічних засад створення відповідного інструментарію.

Запропоновано загальну методику проведення дослідження та використання необхідного математичного апарату.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ОБРОБКИ ГРУПОВИХ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК В МОДЕЛІ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ

В даному розділі розглядаються методи, призначені для обробки експертних оцінок. Оскільки запропонована модель експертного оцінювання при ППР передбачає використання групових експертіз, то беруться до розгляду методи, що оперують оцінками, отриманими від групи експертів. У двох окремих підрозділах розкрито розроблені нові методи обробки експертних оцінок двох типів: кардинальних та ординальних.

Методи обробки експертних оцінок є невід'ємною складовою технологій ППР, а також розроблених на основі таких технологій СППР.

2.1 Методи обробки кардинальних експертних оцінок

Методи, викладені у даному підрозділі призначені для обробки експертних оцінок, представлених чисельними показниками, що відображають значення співвідношень між оцінюваними об'єктами. Такі експертні оцінки називають кардинальними, на відміну від ординальних, які відображають виключно порядок розміщення об'єктів без урахування співвідношень між ними.

2.1.1 Комбінаторний груповий метод обчислення ваг альтернатив

Запропонований метод дозволяє провести розрахунки усереднених ваг об'єктів, що підлягають оцінюванню (альтернатив), на основі експертної інформації, а саме, матриць парних порівнянь, отриманих від групи експертів. Метод враховує рівень компетентності кожного експерта в питанні, що розглядається. Питання визначення відносних коефіцієнтів компетентності експертів у складі групи виходить за рамки даної роботи, пропонується застосовувати для цього метод описаний в [73, с.165]. У даному підрозділі також представлені основні характеристичні параметри методу,

які отримані в результаті експериментального дослідження та розглянуто ітеративний спосіб реалізації цього методу.

Зазвичай, для отримання усереднених ваг об'єктів, які оцінювались групою експертів, використовуються методи групового експертного оцінювання зі зворотним зв'язком з експертами [91]. Однак існують ситуації, коли зворотній зв'язок з експертом неможливий або недоцільний, наприклад, у випадку складності повторного зібрання групи експертів для внесення уточнень у їхні попередні оцінки, або коли існують жорсткі обмеження в часі на проведення експертизи. У таких та подібних випадках існує можливість усереднити результати парних порівнянь експертів, що зазвичай представлені матрицями парних порівнянь (МПП), та розрахувати усереднені ваги об'єктів, які оцінювались експертами.

В основу далі викладеного методу покладено елементи комбінаторної обробки результатів парних порівнянь, що вперше були застосовані в авторському методі індивідуального експертного оцінювання зі зворотним зв'язком з експертом [92]. Зважаючи на це, запропонований метод можна віднести до сімейства методів так званої комбінаторної обробки.

2.1.1.1 Формальна постановка задачі

Задача являє собою, фактично, стандартну задачу агрегації експертних оцінок, що подані у вигляді матриць парних порівнянь.

Дано: A_i , $i=(1, m)$ – матриці парних порівнянь альтернатив розмірністю $n \times n$ кожна, де m – кількість експертів, n – кількість альтернатив. c_j – ступені компетентності експертів відносно питання, пов'язаного з оцінкою даних альтернатив, причому $\forall j | j=(1, m), c_j > 0, \sum_j c_j = 1$.

Визначити: Усереднені значення ваг альтернатив w_k , $k=(1, n)$.

2.1.1.2 Покроковий хід вирішення задачі

Метод визначення ваг альтернатив зручно розділити на наступні кроки:

1-й крок – це генерація на основі реальних матриць парних порівнянь, сформованих кожним з експертів, множини ідеально-узгоджених матриць (ІУМПП). Причому ІУМПП формуються аналогічно тому, як запропоновано в комбінаторному методі експертного оцінювання [92], а саме: визначаються *інформаційно-значимі* множини елементів МПП мінімальної потужності, на основі яких і формуються ІУМПП. Інформаційно-значима (інформаційно-вагома) множина елементів ІУМПП ω – це така множина мінімальної потужності, що складається з елементів матриці, яка несе інформацію про всю ІУМПП загалом. Причому, $\omega \subset \Omega$, де Ω – множина всіх елементів МПП і, як показано в [92], коли $|\Omega| = n^2$, то $|\omega| = n - 1$. Таким чином, для будь-якої ІУМПП за множиною елементів ω можна відтворити множину всіх елементів Ω , визначивши значення відсутніх в ω елементів через ті, що належать цій множині.

2-й крок – кожній із ІУМПП ставиться у відповідність ваговий коефіцієнт, який відображує на скільки вагомим є вплив інформації, що міститься в даній ІУМПП на шукані ваги альтернатив. Кожний такий ваговий коефіцієнт враховує як ступені компетентності експертів, що брали участь у формуванні ІУМПП, так і рівень відмінності реальної МПП від ідеально узгодженої.

3-й крок – за кожною із сформованих ІУМПП, однозначно знаходяться проміжні значення ваг альтернатив (це можна зробити, наприклад, базуючись на будь-якому одному із стовпчиків або рядків ІУМПП).

4-й крок – ці проміжні значення ваг, дляожної ІУМПП, будуть помножені на відповідні їм вагові коефіцієнти матриць.

5-й крок – для визначення усереднених значень ваг альтернатив знаходяться середні арифметичні значення отриманих добутків.

2.1.1.3 Чисельний приклад

Для більш докладного опису методу – розглянемо конкретний приклад. Припустимо, маємо чотири альтернативи, які представлені для оцінки групі із трьох експертів. Кожний з експертів має свій рівень компетентності в питанні, що розглядається та сформував свою *реальну* матрицю парних порівнянь розмірністю 4x4, на-

приклад, використовуючи адитивні парні порівняння (при таких порівняннях експертіві ставиться запитання “На скільки одиниць одна альтернатива переважає іншу?”). У верхній частині таблиці 2.1 представлено реальні МПП сформовані кожним із групи експертів. Далі детально розглянемо інформацію, представлена в цій таблиці.

Таблиця 2.1 Чисельні дані, що використовуються у прикладі

реальні матриці експертів		1 2 3 4		1 2 3 4		1 2 3 4
	1-го експерта	0 -5 -2 -2 5 0 3 4 2 -3 0 0 2 -4 0 0	0 -6 -2 -1 6 0 2 3 2 -2 0 0 1 -3 0 0	0 -3 -3 0 3 0 2 3 3 -2 0 -1 0 -3 1 0		
	2-го експерта				3-го експерта	
Ідеально узгоджені матриці сформовані по реальній матриці						
№ п/п	Вигляд графу Г	1-го експерта	2-го експерта	3-го експерта	№ п/п	Вигляд графу Г
1		0 -5 -2 -2 5 0 3 3 2 -3 0 0 2 -3 0 0	0 -6 -2 -1 6 0 4 5 2 -4 0 1 1 -5 -1 0	0 -3 -3 0 3 0 0 3 3 0 0 3 0 -3 -3 0	9	
2		0 -5 -2 -1 5 0 3 4 2 -3 0 1 1 -4 -1 0	0 -6 -2 -3 6 0 4 3 2 -4 0 -1 3 -3 1 0	0 -3 -3 0 3 0 0 3 3 0 0 3 0 -3 -3 0	10	
3		0 -5 -2 -2 5 0 3 3 2 -3 0 0 2 -3 0 0	0 -6 -2 -2 6 0 4 4 2 -4 0 0 2 -4 0 0	0 -3 -3 -4 3 0 0 -1 3 0 0 -1 4 1 1 0	11	
4		0 -5 -2 -2 5 0 3 3 2 -3 0 0 2 -3 0 0	0 -6 -4 -1 6 0 2 5 4 -2 0 3 1 -5 -3 0	0 -3 -1 0 3 0 2 3 1 -2 0 1 0 -3 -1 0	12	
5		0 -5 -2 -2 5 0 3 3 2 -3 0 0 2 -3 0 0	0 -6 -1 -1 6 0 5 5 1 -5 0 0 1 -5 0 0	0 -3 1 0 3 0 4 3 -1 -4 0 -1 0 -3 1 0	13	
6		0 -5 -2 -1 5 0 3 4 2 -3 0 1 1 -4 -1 0	0 -6 -4 -3 6 0 2 3 4 -2 0 1 3 -3 -1 0	0 -3 -1 0 3 0 2 3 1 -2 0 1 0 -3 -1 0	14	
7		0 -5 -2 -2 5 0 3 3 2 -3 0 0 2 -3 0 0	0 -6 -4 -4 6 0 2 2 4 -2 0 0 4 -2 0 0	0 -3 -1 -2 3 0 2 1 1 -2 0 -1 2 -1 1 0	15	
8		0 -5 -1 -1 5 0 4 4 1 -4 0 0 1 -4 0 0	0 -6 -3 -3 6 0 3 3 3 -3 0 0 3 -3 0 0	0 -3 1 0 3 0 4 3 -1 -4 0 -1 0 -3 1 0	16	

1-й крок. Коротко зупинимось на формуванні множини ІУМПП (більш докладно це розглянуто в [92]). В другій зліва колонці основної таблиці зображені вигляди графів, які використовуються для графічного представлення інформаційно-вагомих

множин елементів МПП. Кожне ребро в графі поставлено у відповідність одному окремому інформаційно-вагомому елементові, на базі яких формується ІУМПП. Так, наприклад, якщо в графі є ребро між вершинами 1 і 3, то до множини належить інформаційно-вагомий елемент a_{13} . Тобто існує відповідність між графом і множиною елементів МПП. В [92] показано, що зв'язність графа – є необхідною і достатньою умовою інформаційної вагомості множини елементів МПП, поставлених у відповідність цьому графові. Потужність цієї множини, а заодно, і кількість ребер в графі, рівна $(n - 1)$. Отже, якщо граф має вигляд, як зображеного на рис. 2.1, то відповідна ІУМПП формується наступним чином: елементи матриці a_{12} , a_{13} та a_{14} , яким відповідають ребра графа, беруться з відповідної реальної МПП, а решта елементів цієї матриці розраховуються виходячи зі співвідношень, що існують між елементами ІУМПП (для адитивних порівнянь, наприклад, $a_{ij} = a_{kj} - a_{ki}$).

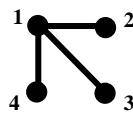


Рис. 2.1 Приклад зображення графа, що відповідає ІУМПП

В даному випадку: $a_{23} = a_{13} - a_{12}$; $a_{24} = a_{14} - a_{12}$; $a_{34} = a_{14} - a_{13}$. Також, без втрати загального вигляду парних порівнянь, вважаємо, що $\forall i, j (a_{ii} = 0; a_{ij} = -a_{ji})$. Сформовані таким чином матриці, зображені в рядках таблиці 2.1, кожен з яких відповідає інформаційно-вагомій множині елементів, представлений у вигляді графа (перша колонка).

Так, наприклад, в рядку 1 тіла таблиці представлені ІУМПП, сформовані на основі інформаційно-вагомої множини елементів, зображені у вигляді графа, що в лівій колонці цього рядка. Перша колонка в рядку – це ІУМПП, побудована на базі елементів a_{12} , a_{13} та a_{14} реальної матриці, сформованої 1-м експертом, а решту елементів цієї матриці обчислено, як згадувалось раніше ($a_{23} = a_{13} - a_{12}$; $a_{24} = a_{14} - a_{12}$; $a_{34} = a_{14} - a_{13}$; $\forall i, j [a_{ii} = 0; a_{ij} = -a_{ji}]$). Далі у рядку зображені матриці сформовані на базі тих самих елементів (a_{12} , a_{13} та a_{14}) реальних матриць, які надали, відповідно, 2-й та 3-й експерти.

2-й крок. Згідно з методом, кожній ГУМПП ставиться у відповідність коефіцієнт, котрий відображує ступінь відмінностей цієї ГУМПП від кожної з реальних матриць, представлених експертами, що приймають участь в експертизі. Для визначення цих вагових коефіцієнтів можна запропонувати функцію f , яка б окрім усього іншого, враховувала рівень компетентності експертів, які мають відношення до конкретної сформованої ГУМПП:

$$R_{inj} = f(c_i, c_j, \Delta_{inj}),$$

де R_{inj} – ваговий коефіцієнт (рейтинг) ГУМПП, сформованої на основі реальної матриці, заданої i -м експертом, на базі n -ї інформаційно-вагомої множини елементів, при порівнянні цієї ГУМПП з реальною матрицею, заданою j -м експертом; c_i, c_j – ступені компетентності відповідних експертів; Δ_{inj} – величина, що характеризує ступінь відмінності ГУМПП, сформованої на базі n -ї інформаційно-вагомої множини елементів та на основі реальної МПП, заданої i -м експертом, – від реальної матриці, заданої j -м експертом.

Питання знаходження найбільш адекватної функції для знаходження Δ_{inj} залишилося для подальших досліджень. А поки що, оскільки коефіцієнт R_{inj} має відображувати ступінь вагомості впливу відповідної ГУМПП на усереднений результат, то величину Δ_{inj} можна запропонувати обчислювати, наприклад, для випадку адитивних парних порівнянь, як зворотну величину від суми модулів різниць між однотименними елементами відповідних матриць. Оскільки, функція має бути однозначно визначеною у всіх можливих точках та знаменник функції має бути більшим одиниці, то можна взяти логарифм від суми, збільшеної на число e , наприклад:

$$\Delta_{inj} = 1 / \ln\left(\sum_{k,l} |a_{kl}^{in} - a_{kl}^j| + e\right).$$

Згідно зі здоровим глузdom, рейтинг ГУМПП має зростати зі зменшенням відмінностей цієї матриці від реальних матриць, заданих експертами. Значимість відмінностей має бути прямо пропорційною компетентності експерта, що задав відповідну матрицю.

Виходячи з цього, функцію обчислення коефіцієнта R_{inj} природно вибрati мультиплікативного типу, яка забезпечує зростання рейтингу при зменшенні суми мо-

дулів різниць між однотипними елементами матриць або/та при збільшенні ступенів компетентності відповідних задіяних експертів:

$$R_{inj} = c_i c_j \Delta_{inj} = c_i c_j / \ln(\sum_{k,l} |a^{inj}_{kl} - a^j_{kl}| + e).$$

Повертаючись до прикладу, який відображенний в таблиці 2.1, ваговий коефіцієнт (рейтинг) для зображенії, наприклад, другою зліва у 3-му рядку ГУМПП обчислюється наступним чином. Нехай, у цьому прикладі ступені компетентності експертів у питанні, що стосується оцінювання даних альтернатив, будуть задані нормованими величинами: $c_1 = 0.2$; $c_2 = 0.5$; $c_3 = 0.3$. Тоді $R_{132} = c_1 c_2 \Delta_{132} = 0.2 \times 0.5 / \ln(\sum_{k,l} |a^{13}_{kl} - a^2_{kl}| + e) = 0.2 \times 0.5 / \ln(3 + e) = 0,05735$. Аналогічним чином визначаються і решта рейтингів для ГУМПП.

3-й крок. Відповідно до запропонованого методу, на послідовному етапі, по кожній з ГУМПП визначаються ваги альтернатив. Це можна зробити однозначно, взявши, наприклад, елементи будь-якого з рядків ГУМПП, або будь-якого із стовпчиків. Наприклад, будемо брати перший рядок ГУМПП, сформованої на основі реальної матриці, заданої i -м експертом, на базі n -ї інформаційно-вагової множини елементів, при порівнянні її з реальною матрицею, заданою j -м експертом, тоді ваги альтернатив w^{inj}_m по цій матриці будуть визначені, як різниця між максимальним значенням у рядку $-a^{inj}_{1\max}$ і кожним елементом даного рядка $-a^{inj}_{1m}$ відносно безпосередньо оціненого значення ваги альтернативи, що відповідає максимальному елементу рядка $-w^{inj}_{\max}$:

$$w^{inj}_m = w^{inj}_{\max} + a^{inj}_{1\max} - a^{inj}_{1m}.$$

4-й (останній) крок. Усереднені значення ваг альтернатив знаходяться як сума добутків ваг альтернатив, визначених по ГУМПП та нормованих значень рейтингів цих матриць:

$$w_m = \sum_{i,j,n} (w^{inj}_m \cdot R_{inj} / \sum_{k,l,s} R_{ksl}) = \sum_{i,j,n} ((w^{inj}_{\max} + a^{inj}_{1\max} - a^{inj}_{1m}) \cdot R_{inj} / \sum_{k,l,s} R_{ksl}).$$

Для прикладу із таблиці 2.1, при проведенні безпосереднього оцінювання однієї з альтернатив (таке оцінювання необхідне тільки при адитивних парних порівнян-

нях), наприклад, $w_1 = 1.0$, – обчислені ненормовані ваги будуть такими: $w_2 = 5.652012$; $w_3 = 2.979152$; $w_4 = 2.550111$.

2.1.1.4 Експериментальне дослідження параметрів методу

Для застосування викладеного вище методу в конкретних ситуаціях потрібно оцінити його параметри, які б характеризували цей метод в порівнянні з великою кількістю методів обробки експертної інформації. Параметрами є оцінки методу за різними критеріями, такими як похибка оцінювання, узгодженість результатів, час одержання оцінок, т.ін. Оцінки методів за названими критеріями можуть бути визначені тільки шляхом експерименту, який забезпечує статистичну спроможність оцінок. Методика експерименту для оцінки параметрів методів описана в [93], тому можемо скористатись нею для проведення дослідження і визначення: 1) коефіцієнта узгодженості множини експертних оцінок відносних ваг альтернатив; 2) математичного очікування відносної похибки визначення відносної ваги альтернативи; 3) математичного очікування тривалості процесу одержання експертних оцінок відносних ваг альтернатив. Результати експериментального дослідження зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 Результати експериментального дослідження запропонованого методу

Тип парних порівнянь, що застосовувались	Адитивні	Мультиплікативні
Коефіцієнт узгодженості	0.87113	0.84530
МО відносної похибки	0.073928	0.125754
МО тривалості визначення відносних ваг	20.09	21.56
Кількість проведених розрахунків	816	816

2.1.1.5 Особливості реалізації методу

Як можна побачити із опису запропонованого методу, однією з основних його особливостей є генерація досить великої кількості (в [92] показано, що їхня кількість $C_{n(n-1)/2}^{(n-1)}$, де n – кількість альтернатив) наборів, серед яких відбираються інформаційно-значимі для побудови ГУМПП, щоб в подальшому проводити розрахунки на основі цих матриць. У роботі [94], в якій комбінаторний метод авторами, по суті, було «перевідкрито» з подальшим вибаченням у поправках [95], було наведено, що кількість інформаційно-значимих ГУМПП (у згаданій статті це кількість зв'язуючих (остовних) дерев графа, відповідного матриці) є рівною $n^{(n-2)}$ (згідно з теоремою Кейлі [96]).

Задля оптимізації обчислень ваг альтернатив у методі запропоновано застосувати ітераційний процес, що дозволяє виключити накопичення в пам'яті комп'ютера значної кількості такого виду інформації. Отже, в процесі генерації ГУМПП, після виконанняожної такої дії (на k -му кроці алгоритму), вага j -ї альтернативи розраховується базуючись на даних, отриманих на попередньому кроці алгоритму:

$$w_j^{(k)} = \frac{S_{w_j}^{(k)}}{S_R^{(k)}}, \text{де:}$$

- чисельник дробу $S_{w_j}^{(k)}$ – накопичена сума ваг j -ї альтернативи на k -му кроці алгоритму і обчислюється через аналогічну величину, визначену на $(k-1)$ -му кроці: $S_{w_j}^{(k)} = S_{w_j}^{(k-1)} + v_j^{(k)} \cdot R^{(k)}$, де $v_j^{(k)}$ – вага j -ї альтернативи обчислена по k -ій ГУМПП, $R^{(k)}$ – рейтинг k -ої ГУМПП, причому початкове значення рівне: $\forall j \in \overline{1, n}, S_{w_j}^{(0)} = 0$;

- знаменник $S_R^{(k)}$ – накопичена сума рейтингів ГУМПП на k -му кроці і обчислюється через таку ж саму величину визначену на попередньому кроці: $S_R^{(k)} = S_R^{(k-1)} + R^{(k)}$, де $S_R^{(0)} = 0$.

Таким чином, використання цих рекурентних виразів дозволяє обчислювати ваги альтернатив у процесі генерації та перебору ГУМПП, і дає можливість не накопичувати дані в пам'яті ПК.

2.1.1.6 Переваги та недоліки методу

До переваг запропонованого методу слід віднести наступні:

- найбільш повно використовує інформацію кожного з наявних елементів із МПП, наданих експертами;
- існує можливість застосування методу як при адитивних, так і при мультиплікативних парних порівняннях;
- може застосовуватись без змін при неповних парних порівняннях;
- добре підлягає розпаралелюванню;
- дозволяє визначити усереднені експертні оцінки альтернатив при неможливості організувати зворотний зв'язок з експертами при груповому оцінюванні;
- для підсумкового усереднення ваг може використовуватись як середнє арифметичне, так середнє геометричне;

До недоліків може бути віднесено:

- можливість виникнення порушень ранжирування ваг вже розрахованих альтернатив у разі додавання елементу до множини альтернатив або у разі вилучення деякого елемента з неї (феномен реверсу рангів), які притаманні переважній більшості методів експертного оцінювання;
- трудомісткість алгоритму, хоча в області застосування – СППР, де розмірність МПП не перевищує 7 ± 2 і при малому складі групи експертів (до 5-7 осіб), представлений метод має прийнятні показники тривалості розрахунків на сучасних ПК.

2.1.2 Метод, який дозволяє зберегти ранжирування альтернатив

В даному підрозділі пропонується метод агрегації експертних оцінок, який, на відміну від викладеного в попередньому підрозділі, є вільним від явища реверсу рангів. Проаналізовано причини порушення ранжирування (виникнення реверсу рангів) альтернатив при визначенні їхніх ваг на основі парних порівнянь з застосуванням методів агрегації. Розглядаються випадки як додавання, так і виключення деякої

альтернативи до / з множини альтернатив, що підлягають оцінюванню. В результаті проведеного експериментального дослідження отримані основні характеристичні параметри запропонованого методу.

2.1.2.1 Феномен реверсу рангів та причини його виникнення

При обчисленні усереднених ваг альтернатив, коли використовується інформація про їхні експертні парні порівняння, часто має місце феномен порушення ранжирування або зміни ваг раніше проранжируваних (оцінених) альтернатив при додаванні чи виключенні деякої альтернативи з множини таких, що розглядаються. Цей феномен має назву „реверс рангів” і був відкритим теоретиками [97-99], що досліджували метод аналітичних ієрархічних процесів Saati [52]. Це явище є досить небажаним, особливо коли застосовуються методи агрегації експертних оцінок в СППР при вирішенні задачі знаходження максимальної (мінімальної) по вазі альтернативи або ранжирування альтернатив.

В [100] викладено та доведено достатню умову відсутності реверсу рангів для методів парних порівнянь “трикутник” та “квадрат”. Вона полягає в ідеальній узгодженості вихідної та результатуючої матриць парних порівнянь. Ця умова є справедливою і для запропонованих в [92, 101] методів обробки результатів парних порівнянь. Але на практиці, виконання такої умови малоймовірне, через те, що, в основному, на практиці ми маємо справу з не ідеально узгодженими матрицями парних порівнянь.

При проведенні досліджень методів обробки, включаючи комбінаторну обробку, результатів парних порівнянь [92, 101] на предмет можливості виникнення реверсу рангів було зроблено ряд висновків. Виявлено, що при розрахунках ваг альтернатив при додаванні деякої альтернативи до множини, реверс рангів виникає внаслідок врахування додаткової інформації про взаємодію базових альтернатив, тобто тих альтернатив, що були задіяні в попередніх розрахунках. В той самий час, коли мова йде про виключення деякої альтернативи з множини альтернатив, ваги яких мають бути визначені, то в цьому випадку, реверс рангів виникає внаслідок втрати (не вра-

хування при розрахунках) частини інформації про взаємодію (взаємний вплив) тих альтернатив, що залишаються в згаданій множині.

Базуючись на цих висновках, які випливають із суті самих парних порівнянь, пропонується спосіб уникнення реверсу рангів. Разом з тим, пропонується метод обробки МПП, який можна використовувати при розрахунках ваг альтернатив, коли збереження рангів є важливою умовою задачі прийняття рішень.

Сенс застосування парних порівнянь, для більшості експертних методів отримання ваг альтернатив, полягає в тому, що для підвищення достовірності отримуваних оцінок використовується деяка збитковість інформації, що отримується від експерта. А саме, при розрахунках ваг альтернатив, зазвичай враховується інформація про співвідношення між альтернативами. І, крім безпосередніх порівнянь деякої пари альтернатив, враховуються ще й опосередковані. Так, наприклад, для знаходження співвідношення між альтернативами i та j , крім елемента МПП a_{ij} , в розрахунках усереднених ваг альтернатив приймають участь ще й ланцюжки (послідовності) елементів $\langle a_{ik}, a_{kl}, \dots, a_{nj} \rangle$, де $i \neq k \neq l \neq \dots \neq n \neq j$.

Отже, виходячи з вищевикладених положень, можна зробити висновок, що для збереження ранжирування (щоб уникнути реверсу рангів) потрібно при розрахунках ваг альтернатив залишати без змін (не доповнювати і не вилучати) інформацію про взаємний вплив базових альтернатив.

2.1.2.2 Два випадки можливого виникнення реверсу рангів

Розглянемо окремо два випадки зміни потужності множини альтернатив. У обох випадках можливе виникнення реверсу рангів.

Перший випадок – зменшення на одиницю потужності множини альтернатив (виключення із розгляду однієї альтернативи). Для уникнення реверсу рангів у відповідних задачах підтримки прийняття рішень потрібно, щоб інформація про взаємовплив альтернатив, яка була присутня до зменшення потужності множини альтернатив, враховувалася б і при розрахунках ваг альтернатив при меншій на одиницю потужності множини. Щоб забезпечити цю умову, пропонується в алгоритмі оброб-

ки експертної інформації не робити повторний перерахунок ваг для зменшеної множини альтернатив. В цьому випадку пропонується залишити без змін всі ваги альтернатив, розраховані для множини альтернатив, більшої на одиницю потужності, а тільки виключити вагу відповідної виключеної із розгляду альтернативи. Далі, передбачається лише перенормування ваг альтернатив, що залишилися.

Таким чином, коли існує можливість, а така можливість при виключенні із розгляду однієї альтернативи існує, пропонується враховувати накопичену інформацію про взаємовплив альтернатив, яка була присутня завдяки щойно вилученій альтернативі. Крім того, додатковий сенс в такому способі вирішення питання є і в тому, що крім відсутності реверсу рангів, достовірність отриманих ваг альтернатив є вищою в порівнянні з розрахунками цих ваг на основі МПП зменшеної множини альтернатив.

Другий випадок – збільшення на одиницю потужності множини альтернатив (додавання однієї альтернативи). Для того, щоб зберігались ранжирування базових альтернатив пропонується при розрахунках їхніх ваг не брати до уваги додаткову інформацію про взаємний вплив базових альтернатив, яку отримано завдяки проведеним додатковим парним порівнянням доданої альтернативи з рештою альтернатив (з базовими). Тобто, пропонується розраховувати ваги базових альтернатив без врахування інформації ланцюжків елементів МПП, до яких має відношення додана альтернатива. Таким чином, враховуються тільки безпосередні зв'язки (впливи) доданої альтернативи з множиною базових. Ймовірно, що в такому випадку достовірність отриманих ваг альтернатив, а тому і точність методу парних порівнянь буде дещо нижчою, в порівнянні з випадком, коли враховується вся інформація з МПП (всі взаємні впливи альтернатив). Таке можливе зниження точності доречно вважати „платою” за відсутність реверсу рангів.

2.1.2.3 Опис методу для випадку додавання альтернативи до множини

В основу запропонованого методу покладено ідеї викладені в [101], але необхідність виконання умов не порушення ранжирування приводить до внесення де-

яких спрощень, а саме до відмови від застосування рейтингів ідеально узгоджених матриць парних порівнянь при визначенні ваг альтернатив. Причиною відмови від застосування рейтингів є те, що при їхніх розрахунках передбачалось знаходження ступеня відмінності кожної ідеально узгодженої МПП від реальної МПП, яке в свою чергу передбачало використання інформації про кожний елемент МПП (тобто враховувались усі взаємні впливи альтернатив), що могло приводити до порушення ранжирування базових альтернатив.

Метод отримання ваг альтернатив пропонується розглянути на прикладі найбільш загального виду – методі групового експертного оцінювання. Для застосування даного методу до індивідуального експертного оцінювання – достатньо прийняти кількість експертів рівною одиниці.

2.1.2.4 Формальна постановка задачі

Дано: $A_i = (a_{pq})$, $i \in M$, $p, q \in n$ – матриці парних порівнянь альтернатив розмірністю $n \times n$ кожна, де $M = \{1..m\}$ – множина індексів експертів, $n = \{1..n\}$ – множина індексів альтернатив. $A_i^+ = (a_{pq})$, $i \in M$, $p, q \in n^+$ – матриці парних порівнянь альтернатив розмірністю $(n+1) \times (n+1)$, де $n^+ \supset n$, $|n^+| = |n| + 1$. Причому A_i^+ – це A_i , доповнена одним рядком і стовпчиком, які відповідають парним порівнянням $(n+1)$ -ї альтернативи з рештою n альтернатив. $c_j, j = (1, m)$ – ступені компетентності експертів відносно питання, пов’язаного з оцінкою даних альтернатив. $w_k, k \in n$ – усереднені значення ваг альтернатив, обчислені на основі матриць A_i , $i \in M$.

Визначити: Усереднені значення ваг альтернатив $w_k^+, k \in n^+$ при умові збереження ранжирування альтернатив, вказаного вагами $w_k, k \in n$.

2.1.2.5 Покрокове вирішення задачі

Метод визначення ваг альтернатив можна умовно розділити на наступні кроки:

1-й крок – це генерація множини ІУМПП на основі реальних матриць парних порівнянь A_i^+ , сформованих кожним з m експертів (аналогічно описаному в підпункті

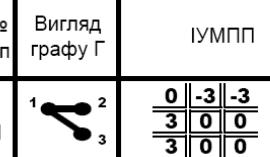
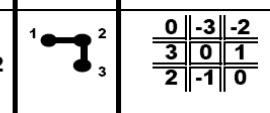
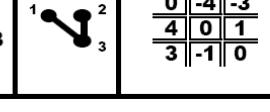
2.1.1.2 Крок 1).

2-й крок – задля збереження ранжирування альтернатив з індексами $k \in n$ – вибираємо із множини всіх ГУМПП, сформованих на основі реальних МПП A_i^+ , $i \in M$ тільки ті, які без доданих стовпчика і рядка співпадають з наявними в множині ГУМПП, які були сформовані на основі МПП A_i , $i \in M$.

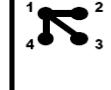
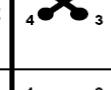
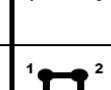
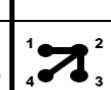
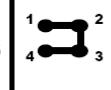
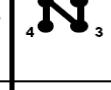
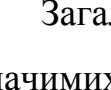
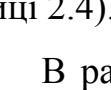
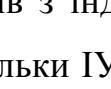
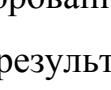
Ось наприклад, нехай маємо результати адитивних парних порівнянь трьох альтернатив, проведених деяким експертом x . Вони представлені у вигляді реальної матриці A_x розмірністю 3 x 3 (див. табл. 2.3). Далі в таблиці показано множину із трьох ГУМПП сформованих, базуючись на інформаційно значимих множинах елементів реальної МПП. Множини зображені в таблиці у вигляді неоріентованих графів Γ . Вершини графів позначені індексами альтернатив, що задіяні в експертному оцінюванні, а наявність ребра свідчить про приналежність відповідного елемента МПП до множини інформаційно значимих.

Припустимо, що для експертного оцінювання подано додаткову альтернативу з індексом 4. Експертом x МПП A_x доповнено стовпцем і рядком під номерами 4. В результаті, сформована матриця A_x^+ прийме вигляд, як зображене в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 Вихідні дані чисельного прикладу

реальна матриця		A_x
№ п/п	Вигляд графу Γ	ГУМПП
1		$\begin{array}{c cc c} 1 & 2 & 3 \\ \hline 0 & -3 & -3 \\ \hline 3 & 0 & 1 \\ \hline 3 & -1 & 0 \end{array}$
2		$\begin{array}{c cc c} 0 & -3 & -3 \\ \hline 3 & 0 & 0 \\ \hline 3 & 0 & 0 \end{array}$
3		$\begin{array}{c cc c} 0 & -3 & -2 \\ \hline 3 & 0 & 1 \\ \hline 2 & -1 & 0 \end{array}$

Таблиця 2.4 Чисельні дані прикладу після додавання альтернативи

реальна матриця		A_x^+
		$\begin{array}{ c c c c } \hline 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & -3 & -3 & -2 \\ \hline 3 & 0 & 1 & -1 \\ \hline 3 & -1 & 0 & 2 \\ \hline 2 & 1 & -2 & 0 \\ \hline \end{array}$
№ п/п	Вигляд графу Γ	ІУМПП
1		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -3 & -3 & -2 \\ \hline 3 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 3 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 2 & -1 & -1 & 0 \\ \hline \end{array}$
2		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -3 & -3 & -4 \\ \hline 3 & 0 & 0 & -1 \\ \hline 3 & 0 & 0 & -1 \\ \hline 4 & 1 & 1 & 0 \\ \hline \end{array}$
3		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -3 & -3 & -1 \\ \hline 3 & 0 & 0 & 2 \\ \hline 3 & 0 & 0 & 2 \\ \hline 1 & -2 & -2 & 0 \\ \hline \end{array}$
4		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -3 & -2 & -2 \\ \hline 3 & 0 & 1 & 1 \\ \hline 2 & -1 & 0 & 0 \\ \hline 2 & -1 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}$
5		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -3 & -2 & -4 \\ \hline 3 & 0 & 1 & -1 \\ \hline 2 & -1 & 0 & -2 \\ \hline 4 & 1 & 2 & 0 \\ \hline \end{array}$
6		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -3 & -2 & 0 \\ \hline 3 & 0 & 1 & 3 \\ \hline 2 & -1 & 0 & 2 \\ \hline 0 & -3 & -2 & 0 \\ \hline \end{array}$
7		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -4 & -3 & -2 \\ \hline 4 & 0 & 1 & 2 \\ \hline 3 & -1 & 0 & 1 \\ \hline 2 & -2 & -1 & 0 \\ \hline \end{array}$
8		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -4 & -3 & -5 \\ \hline 4 & 0 & 1 & -1 \\ \hline 3 & -1 & 0 & -2 \\ \hline 5 & 1 & 2 & 0 \\ \hline \end{array}$
9		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -4 & -3 & -1 \\ \hline 4 & 0 & 1 & 3 \\ \hline 3 & -1 & 0 & 2 \\ \hline 1 & -3 & -2 & 0 \\ \hline \end{array}$
10		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -3 & -4 & -2 \\ \hline 3 & 0 & -1 & 1 \\ \hline 4 & 1 & 0 & 2 \\ \hline 2 & -1 & -2 & 0 \\ \hline \end{array}$
11		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -3 & -6 & -4 \\ \hline 3 & 0 & -3 & -1 \\ \hline 6 & 3 & 0 & 2 \\ \hline 4 & 1 & -2 & 0 \\ \hline \end{array}$
12		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -1 & -3 & -2 \\ \hline 1 & 0 & -2 & -1 \\ \hline 3 & 2 & 0 & 1 \\ \hline 2 & 1 & -1 & 0 \\ \hline \end{array}$
13		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & 0 & -3 & -1 \\ \hline 0 & 0 & -3 & -1 \\ \hline 3 & 3 & 0 & 2 \\ \hline 1 & 1 & -2 & 0 \\ \hline \end{array}$
14		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -1 & 0 & -2 \\ \hline 1 & 0 & 1 & -1 \\ \hline 0 & -1 & 0 & -2 \\ \hline 2 & 1 & 2 & 0 \\ \hline \end{array}$
15		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -5 & -4 & -2 \\ \hline 5 & 0 & 1 & 3 \\ \hline 4 & -1 & 0 & 2 \\ \hline 2 & -3 & -2 & 0 \\ \hline \end{array}$
16		$\begin{array}{ c c c c } \hline 0 & -1 & -4 & -2 \\ \hline 1 & 0 & -3 & -1 \\ \hline 4 & 3 & 0 & 2 \\ \hline 2 & 1 & -2 & 0 \\ \hline \end{array}$

Загальна кількість ІУМПП, які можуть бути сформовані на базі інформаційно значимих множин елементів МПП A_x^+ розмірності 4×4 , – 16 (вони зображені в таблиці 2.4).

В рамках запропонованого методу, задля збереження ранжирування альтернатив з індексами 1-3, при додаванні альтернативи з індексом 4, беруться до уваги тільки ІУМПП, пронумеровані від 1 до 9, а з номерами від 10 до 16 – будуть проігноровані при розрахунках. Тобто розглядаються тільки ті ІУМПП із таблиці 2.4, які є результатом доповнення ІУМПП із таблиці 2.3 відповідними стовпчиком і рядком.

3-й крок – за кожною із вибраних на 2-му кроці ГУМПП, однозначно знаходяться проміжні значення ваг альтернатив (це можна зробити, наприклад, базуючись на будь-якому одному із стовпчиків або рядків ГУМПП).

4-й крок – ці проміжні значення ваг, дляожної ГУМПП, множаться на відповідні ступені компетентності тих експертів, на основі чиїх МПП сформовані ці ГУМПП.

5-й крок – для визначення усереднених значень ваг альтернатив знаходяться середні арифметичні значення добутків, отриманих на 4-му кроці.

2.1.2.6 Експериментальне дослідження методу

Експериментальне дослідження методу було проведено для визначення його основних характеристичних показників. Метою дослідження було:

- експериментально підтвердити відсутність реверсу рангів альтернатив;
- виявити ступінь впливу на показники застосування спрощеного алгоритму при порівнянні з методом представленим в [101];
- виявити ступінь впливу на показники методу ігнорування деякої кількості ГУМПП задля збереження ранжирування.

Результати цього дослідження представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 Порівняльні результати експериментального дослідження методів

Тип парних порівнянь, що застосовувались	Адитивні			Мультиплікативні		
	Основний	Спрощений	Збереження рангів	Основний	Спрощений	Збереження рангів
Властивість алгоритму, що застосовується						
Коефіцієнт узгодженості	0,87113	0,87271	0,87734	0,84530	0,84623	0,84759
МО відносної похибки	0,073928	0,096419	0,095286	0,125754	0,12661	0,128508
МО тривалості визначення відносних ваг	20,09	19,73	19,82	21,56	20,71	20,95
Кількість проведених розрахунків (дослідів)	816	816	816	816	816	816

2.1.2.7 Висновки за результатами дослідження методу

За результатами експериментального дослідження методу, запропонованого в даному підрозділі, можна сформулювати наступні висновки:

1. При застосуванні запропонованого методу порушення раніше отриманого ранжирування при додаванні деякої альтернативи до множини оцінюваних альтернатив не відбувається;
2. Основні показники досліджуваного методу, який в таблиці 2.5 позначено як „спрощений”, не значно (не більше ніж на 2%) відрізняються від показників методу представленого в [101] (позначеного „основний”);
3. При застосуванні в досліджуваному методі засобів для збереження рангів (ігнорування при розрахунках ваг деякої кількості сформованих ГУМПП) також не призводить до значного погіршення показників.

2.2 Методи обробки ординальних експертних оцінок

Методи ординального оцінювання (методи обробки ординальних оцінок) разом з методами обробки кардинальних ЕО служать для отримання знань від експертів про предметну область і є однією з необхідних складових для створення СППР. Ординальні (рангові, порядкові) ЕО, на відміну від кардинальних, несуть менше інформації про предмет експертизи, і тому вимагають від експерта менше знань, зусиль і компетентності в питанні, що розглядається. Згідно з цим, логічно припустити, що і тривалість експертизи (а отже і її вартість) є меншою при застосуванні ординальних оцінок ніж у випадку кардинальних.

Ординальне експертне оцінювання застосовується в багатьох слабко структурованих областях людської діяльності, таких як бізнес, державне управління, наукове планування й т.п. у тому числі й при підтримці прийняття рішень у цих предметних областях. Ординальні ЕО особливо корисні, коли експерти, використовуючи метод парних порівнянь, зазнають труднощів при оцінюванні ступеня переваги однієї альтернативи над іншою. У таких випадках доцільно не чинити тиск на експертів, а за-

пропонувати їм визначити тільки наявність переваги між альтернативами (а не ступінь її), тобто побудувати ранжирування альтернатив. Окрім того, з деяким ступенем упевненості можна припустити, що експерти володіють достатньою кількістю інформації (мають достатню компетентність у питанні експертизи), щоб визначити перевагу однієї з альтернатив в кожній із усіх можливих пар і, як наслідок, індивідуальні експертні ранжирування будуть строгими. При такому груповому експертному оцінюванні залишається актуальної проблема адекватної й справедливої агрегації індивідуальних ранжирувань.

У випадку групових експертиз, а саме такі варто застосовувати в СППР, завжди актуальною є проблема узгодження оцінок, даних різними експертами, адже знаходити (обчислювати) усереднені значення індивідуальних оцінок, які значно відрізняються (або й, навіть, суперечать одна одній) не має сенсу. У зв'язку з цією проблемою постають дві очевидні задачі: це визначення міри достатності узгодження групових оцінок для доцільності їхньої подальшої агрегації та організація зворотного зв'язку з експертами для підвищення узгодженості індивідуальних оцінок експертів у випадку її недостатності. Ці задачі, стосовно ординальних оцінок, розглядаються у наступних підрозділах.

2.2.1 Достатність ступеня узгодженості групових ординальних оцінок

2.2.1.1 Стан дослідження проблеми

Підхід до оцінювання ступеня узгодженості індивідуальних ранжирувань (ординальних оцінок) представлений багатьма роботами, деякі з них відомі ще з XVIII століття [102, 103]. Серед розглянутих методів оцінювання узгодженості широку популярність одержали: коефіцієнти рангової кореляції, які застосовані для двох ранжирувань (наприклад, коефіцієнти рангової кореляції Кандела [104] і Спірмена [105]), а також коефіцієнти конкордації [104], застосовані для множин, що містять більше двох індивідуальних ранжирувань.

В СППР, у яких застосовуються ординальні оцінки, дані різними експертами, виникає необхідність визначення можливості узагальнення (агрегації) індивідуальних ранжирувань. Інакше кажучи, необхідно визначати, чи достатній ступінь узгодженості індивідуальних ординальних оцінок групи експертів? Адже у випадку, коли індивідуальні ранжирування досить сильно неузгоджені, будувати узагальнене ранжирування на їхній підставі не зовсім коректно.

Слід зазначити, що кількість експертів у групах при проведенні оцінювальних процедур у СППР зазвичай мала (обчислюється одиницями). Також мала й кількість даних ними оцінок, що робить неприйнятним застосування апарату математичної статистики для перевірки ступеня узгодженості експертних думок у групах.

У роботі [106] розглядається питання про граничні значення коефіцієнтів конкордації й рангової кореляції. Достатність узгодженості ранжирувань тут розглядається в контексті вимог особи, що приймає рішення (ОПР), до точності визначення узагальненого ранжирування, тобто пропонується дізнатися у даної особи про припустиме значення відхилень індивідуальних ранжирувань від узагальненого ранжирування. Такі відхилення (їх можна назвати мірою близькості ранжирувань) пропонується вимірювати величиною рівною мінімальній кількості перестановок сусідніх об'єктів/альтернатив в індивідуальному ранжируванні, необхідних для перетворення його в узагальнене ранжирування. Слід зазначити, що такого роду питання (наприклад, «Яка, на Вашу думку, кількість перестановок сусідніх альтернатив припустима для збереження достатнього ступеня узгодженості індивідуальних ранжирувань?») не завжди можуть бути зрозумілі ОПР і, тому, у реальних СППР таких питань потрібно, по можливості, уникати.

Критерієм достатності ступеня узгодженості (порогом застосування ординальних ЕО) вважається збереження результуючого (узагальненого) ранжирування, отриманого при агрегації повністю узгоджених (у цьому випадку, повністю співпадаючих) індивідуальних ранжирувань. Для агрегації індивідуальних ранжирувань у цій роботі розглядається використання методу Борда [102, 107].

2.2.1.2 Аналіз поведінки порогу застосування коефіцієнта конкордації

Експериментальний аналіз поведінки порогу застосування коефіцієнта конкордації вказує на відсутність монотонної залежності між кількістю перестановок сусідніх альтернатив у кожному з індивідуальних ранжирувань і значенням даного коефіцієнта. Цей факт можна показати на простому прикладі.

Приклад 2.1 Дано множину з 5-ти повністю узгоджених (тобто співпадаючих) ранжирувань 3-х альтернатив $\{\langle a, b, c \rangle; \langle a, b, c \rangle\}$. Коефіцієнт конкордації даної множини індивідуальних ранжирувань дорівнює 1. Він визначається за відомою формулою: $W = (12S)/[m^2(n^3 - n)]$, де m – кількість ранжирувань, n – число альтернатив, S – сума квадратів відхилень сум рангів від середнього значення цих сум.

Визначимо значення коефіцієнта конкордації при різноманітній кількості перестановок сусідніх альтернатив в індивідуальних ранжируваннях. У цьому прикладі будемо переставляти першу пару альтернатив у ранжируваннях із заданої множини.

Результати змін у множині індивідуальних ранжирувань і значення коефіцієнта конкордації, що відповідають отриманим множинам, зведені в таблицю 2.6. Жирним шрифтом у таблиці виділені альтернативи, піддані перестановці.

Таблиця 2.6 Приклад, що демонструє відсутність монотонної залежності між кількістю перестановок сусідніх альтернатив в індивідуальних ранжируваннях і коефіцієнтом конкордації

Кількість перестановок сусідніх альтернатив	Множина індивідуальних ранжирувань	Коефіцієнт конкордації
0	$\{\langle a, b, c \rangle; \langle a, b, c \rangle\}$	1
1	$\{\langle b, a, c \rangle; \langle a, b, c \rangle\}$	0.84
2	$\{\langle b, a, c \rangle; \langle b, a, c \rangle; \langle a, b, c \rangle; \langle a, b, c \rangle; \langle a, b, c \rangle\}$	0.76
3	$\{\langle b, a, c \rangle; \langle b, a, c \rangle; \langle b, a, c \rangle; \langle a, b, c \rangle; \langle a, b, c \rangle\}$	0.76
4	$\{\langle b, a, c \rangle; \langle a, b, c \rangle\}$	0.84
5	$\{\langle b, a, c \rangle; \langle b, a, c \rangle\}$	1

Як можна бачити із цього прикладу, величина коефіцієнта конкордації не зменшується монотонно з ростом кількості перестановок сусідніх альтернатив в індивідуальних ранжируваннях.

Крім цього, за результатами експерименту замічено, що ступінь узгодженості ранжувань, виражений у вигляді коефіцієнта конкордації, не відображає стійкість (незмінність) підсумкового узагальненого ранжування. Тобто, монотонна залежність між величиною коефіцієнта конкордації й кількістю перестановок в підсумковому ранжуванні відсутня, що показано в наступному прикладі.

Приклад 2.2 Дано початкові умови прикладу 2.1. У таблиці 2.7, крім кількості перестановок сусідніх альтернатив в індивідуальних ранжуваннях і коефіцієнта конкордації, будемо відображати її підсумкове ранжування, отримане методом Борда на основі індивідуальних ранжувань. Фактично сутність методу Борда полягає в підрахунку сум рангівожної альтернативи, що входить в індивідуальне ранжування, і подальшому ранжуванні знайдених сум.

Таблиця 2.7. Приклад відсутності монотонної залежності між кількістю перестановок альтернатив у підсумковому ранжуванні й значенням коефіцієнта конкордації

Кількість перестановок сусідніх альтернатив	Множина індивідуальних ранжувань	Підсумкове ранжування	Коефіцієнт конкордації
0	{ $\langle a, b, c \rangle; \langle a, b, c \rangle$ }	$\langle a, b, c \rangle$	1
3	{ $\langle b, a, c \rangle; \langle b, a, c \rangle; \langle b, a, c \rangle; \langle a, b, c \rangle; \langle a, b, c \rangle$ }	$\langle b, a, c \rangle$	0.76
7	{ $\langle c, b, a \rangle; \langle b, a, c \rangle; \langle b, a, c \rangle; \langle a, c, b \rangle; \langle a, c, b \rangle$ }	$\langle a, b, c \rangle$	0.04

З таблиці 2.7 видно, що при 3-х перестановках альтернатив і коефіцієнти конкордації 0.76 підсумкове ранжування змінилося в порівнянні з початковим підсумковим ранжуванням (5-ти співпадаючих індивідуальних ранжувань $\langle a, b, c \rangle$). У той час як при 7-ми перестановках і коефіцієнти конкордації 0.04 підсумкове ранжування залишилося попереднім.

Викладені міркування свідчать про необхідність пошуку нових способів перевірки достатності ступеня узгодженості індивідуальних ранжирувань, при чому, по можливості, у процес подібної перевірки не слід залучати ОПР або експертів. Програмна реалізація такої перевірки в СППР ординального типу необхідна для визначення доцільності агрегування індивідуальних ранжирувань або (якщо ступінь узгодженості ранжирувань недостатній) для організації зворотного зв'язку з експертами. В останньому випадку організатор експертизи зможе звернутися до експертів із пропозиціями про зміну індивідуальних ранжирувань (ординальних оцінок) альтернатив для поліпшення узгодженості.

2.2.1.3 Ідея визначення достатності ступеня узгодженості множини індивідуальних ранжирувань

Пропонується вважати множину індивідуальних ранжирувань достатньо узгодженою для їхньої агрегації, у тому випадку, якщо отримане на їхній основі підсумкове відношення також є ранжуванням (тобто відношенням лінійного порядку). Така вимога, здається природною при груповому прийнятті рішень, оскільки виключає появу протиріч у підсумковому відношенні (порушення його транзитивності). Тим самим виключається можливість прояву т.зв. парадоксу Кондорсе [103], внаслідок якого може ставитися під сумнів можливість здійснення однозначного й конструктивного групового вибору.

2.2.1.4 Формальна постановка та запропоноване вирішення задачі

Формальна постановка задачі в цьому випадку може бути наступною.

Дано: $R^{(m)} = \{r_i\}, i = (1, m)$ – множина m індивідуальних ранжирувань експертами n об'єктів, тобто $r_i = \{r_i^j\}, j = (1, n)$, де $\forall k \neq l \Rightarrow r_i^k \neq r_i^l, r_i^j \in \mathbb{N}$ – ранг j -го об'єкта в i -ому ранжуванні.

Визначити: чи достатній рівень узгодженості множини ранжирувань $R^{(m)}$ для побудови на її основі агрегованого ранжування.

Хід розв'язку:

1) Індивідуальні ранжирування r_i , $i = (1, m)$ подаються у вигляді матриць відношень $\|A^k\| = \{a_{ij}^k\}$, $[k = (1, m), i = (1, n), j = (1, n)]$ способом, запропонованим Кондорсе [103, 107]:

$$a_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{якщо } r_i^k \succ r_j^k \\ 0, & \text{якщо } r_i^k = r_j^k \\ -1, & \text{якщо } r_i^k \prec r_j^k \end{cases}$$

Тут символ « \succ » означає відношення «переважати», а символ « \prec » – «поступатись». Передбачається, що краща альтернатива в ранжуванні передує гіршій, і, відповідно, їй присвоюється менший порядковий номер або ранг.

Відзначимо, що побудовані в такий спосіб відношення є відношеннями лінійного порядку (або ранжуваннями) і, отже, задовольняють властивостям рефлексивності, антисиметричності, транзитивності та зв'язності.

2) Підсумкова матриця відношения $\|\tilde{A}\| = \{\tilde{a}_{ij}\}$ будується за правилом Кондорсе,

а саме: $\forall i \neq j \tilde{a}_{ij} = \text{sign} \left(\sum_{k=1}^m a_{ij}^k \right)$. У цьому випадку кожну індивідуальну матрицю можна вважати множиною якихось індивідуальних елементарних рішень експерта, що відображають результати ординальних парних порівнянь об'єктів. Кожне таке елементарне рішення відповідає недіагональному елементу матриці. При цьому підсумкова матриця містить множину елементарних групових рішень сформованих за принципом більшості. Тобто $\tilde{a}_{ij} = 1$, якщо більшість із $a_{ij}^k = 1$ і $\tilde{a}_{ij} = -1$, якщо більшість із $a_{ij}^k = -1$.

3) Підсумкова матриця $\|\tilde{A}\|$ аналізується на предмет її несуперечності. Під несуперечністю у цьому випадку мається на увазі відсутність порушень транзитивності між елементами матриці. Зі способу побудови матриць відношень індивідуальних ранжувань $\|A^k\|$ і побудови підсумкової матриці $\|\tilde{A}\|$ видно, що для неї завжди виконуються три властивості відношения лінійного порядку (а саме, властивості рефлексивності, антисиметричності й зв'язності). Таким чином, наявність порушень

транзитивності у $\|\tilde{A}\|$ свідчить про протиріччя в судженнях членів групи експертів, і рівень узгодженості множини ранжирувань $R^{(m)}$ пропонується вважати недостатнім для побудови агрегованого ранжирування на основі даної множини індивідуальних ранжирувань. Логічним підтвердженням даного положення є той факт, що у разі порушення транзитивності в матриці $\|\tilde{A}\|$, відповідне їй відношення, фактично, не є відношенням лінійного порядку (тобто не є ранжуванням).

Способи аналізу матриць відношень на предмет наявності в них такого роду протиріч добре відомі [104, 109, 121]. Для визначення кількості порушень транзитивності (кількості циклічних тріад елементів матриці) у $\|\tilde{A}\|$ пропонується попередньо розрахувавши рядкові суми її позитивних (у цьому випадку рівних одиниці) елементів: $s_i = \sum_{j, \tilde{a}_{ij} > 0} \tilde{a}_{ij}$ і знаючи число об'єктів n , зробити розрахунок за формулою:

$$t = C_n^3 - \sum_i C_{s_i}^2 \text{ або еквівалентно: } t = \frac{n(n-1)(n-2)}{6} - \sum_i \frac{s_i(s_i-1)}{2}.$$

Таким чином, у ході розв'язку ми доходимо висновку, що за умови $t=0$ досягається достатній рівень узгодженості множини ранжирувань $R^{(m)}$, і на основі цієї множини можна будувати агреговані ранжирування. Для агрегації індивідуальних ранжирувань можна скористатися відомими методами [108, 109]. У випадку невиконання умови (при $t>0$) пропонується організувати зворотний зв'язок з експертами з метою приведення t до нуля.

Слід зазначити, що при парних значеннях t може виникати ситуація, коли принцип більшості при формуванні елементів підсумкової матриці $\|\tilde{A}\|$ не виконується через паритет думок, тоді пропонується домагатися виконання цього принципу так само за допомогою зворотного зв'язку з експертами (звертання до деяким з них із пропозицією змінити їхню початкову оцінку).

2.2.1.5 Чисельний приклад

Розглянемо чисельний приклад, що демонструє визначення достатності ступеня узгодженості множини строгих індивідуальних ранжирувань.

Приклад 2.3 Дано індивідуальні ранжирування 5-ти об'єктів, виконані 5-ма експертами: $R^{(5)} = \{<a,d,c,b,e>; <a,b,e,d,c>; <e,c,d,a,b>; <c,a,b,e,d>; <d,c,a,b,e>\}$. Припустимо, що ранжирування ідуть у послідовності номерів експертів, які них надали: $r_1 = <a,d,c,b,e>; r_2 = <a,b,e,d,c>; r_3 = <e,c,d,a,b>; r_4 = <c,a,b,e,d>; r_5 = <d,c,a,b,e>$.

Визначимо, чи достатній ступінь узгодженості даної множини ранжирувань.

Рішення:

1) Допустимо, об'єктам відповідають наступні номери, які використовуються для індексування елементів матриць відношень: $a \sim 1, b \sim 2, c \sim 3, d \sim 4, e \sim 5$, тоді індивідуальні ранжирування будуть представлені у вигляді наступних матриць:

$$A^1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}; A^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}; A^3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$A^4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}; A^5 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

2) Підсумкова матриця відношенння має вигляд: $\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$.

3) Рядкові суми рівних одиниці елементів матриці \tilde{A} наступні: $s_1 = 3; s_2 = 1; s_3 = 3; s_4 = 2; s_5 = 1$. У результаті, скориставшись наведеною вище формулою, одержимо кількість порушень транзитивності в підсумковому відношенні $t = 3$. Оскільки значен-

ня $t > 0$, ступінь узгодженості заданої множини ранжувань не достатній, для того, щоб на його основі одержати узагальнене ранжування.

2.2.2 Методи зі зворотним зв'язком для досягнення достатньої узгодженості індивідуальних ранжувань при груповому прийнятті рішень

В попередньому пункті, а також в [110, 111] показано, що коефіцієнти конкордації й рангової кореляції, уведені Кендалом [112], не залежать монотонно від мінімальної кількості перестановок альтернатив у ранжуванні, необхідних для зміни (приведення до узгодженого вигляду) підсумкового (групового) ранжування й, тому, не можуть служити мірою визначення достатності ступеня узгодженості індивідуальних ранжувань. Там само також запропонованій критерій достатності узгодженості індивідуальних ранжувань альтернатив. Пропонується вважати множину індивідуальних ранжувань досить узгодженою для виконання подальшої агрегації, якщо підсумкове відношення, отримане на їхній основі методом Кондорсе [103] – транзитивне, тобто також є ранжуванням. Підсумкове відношення будується у вигляді матриці домінування (див. нижче крок 2 алгоритму). Якщо матриця не є транзитивною, агрегація індивідуальних ранжувань уважається неприпустимою через значні протиріччя в ранжуваннях, і, в цьому випадку, потрібно звертатися до експертів із пропозицією змінити свої ранжування альтернатив таким чином, щоб підсумкове відношення стало транзитивним.

Додатковою умовою при організації зворотного зв'язку з експертами ї агрегації індивідуальних ординальних експертних оцінок може бути, але не обов'язково, одержання строгого підсумкового ранжування. Така вимога може виникнути зі специфіки конкретної розв'язуваної задачі або ж, як наслідок, з постулату, що задані індивідуальні ранжування теж є строгими.

Існуючі індивідуальні методи агрегації ординальних переваг (з урахуванням парадоксів і вад підсумованих і грунтовно вивчених Ерроу [113]) не завжди дозволяють отримати відношення повного (лінійного) порядку. Наприклад, т.зв. Парадокс

Кондорсе (порушення транзитивності в результирующему відношенні) часто трапляється при агрегації індивідуальних ранжирувань.

Крім того, важливо зазначити, що застосування зворотного зв'язку не повинне чинити будь-який тиск на раніше висловлену думку експерта, і виконання цієї умови гарантується постійною наявністю для експерта вибору приймати пропозиції щодо зміни свого ранжирування, чи ні.

2.2.2.1 Постановка задачі

Пропонується наступний варіант формальної постановки задачі:

Дано: Множину $A = \{A_i; i = 1..m\}$ альтернатив, що оцінюються; множину R строгих ранжирувань цих альтернатив, виконаних n експертами, де $R = \{r_{ik}; i=1..m; k=1..n\}$; підсумкове відношення D , у загальному випадку, не транзитивне, задане у вигляді матриці, побудованої шляхом агрегації індивідуальних ранжирувань методом Кондорсе [103, 107, 108, 114] $D = \{d_{ij} | i, j = 1..m, i \neq j\}, d_{ij} = \text{sign}\left(\sum_{k=1}^n r_{ik}\right)$,

$$d_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 1, & A_i \succ A_j \\ -1, & A_i \prec A_j \end{cases} \quad (\text{символ } «\succ» \text{ означає відношення «домінування»}).$$

Потрібно організувати зворотний зв'язок з експертами з метою перетворення підсумкового відношення D в транзитивне.

Тобто, потрібно послідовно визначати, до кого саме із групи експертів потрібно звернутися, і які саме альтернативи запропонувати переставити в їхніх індивідуальних ранжируваннях. Критерієм якості зворотного зв'язку повинна бути мінімізація кількості звертань до експертів у процесі діалогу, який дозволить зробити підсумкове відношення транзитивним.

2.2.2.2 Стратегія організації зворотного зв'язку

Оскільки кількість звертань до експертів із пропозиціями про зміну їхніх попередніх оцінок залежить від самих відповідей експертів (тобто від того, погоджується експерт на пропозицію, чи ні), то мінімізувати їхню кількість в класичному вигляді

не вдається. У зв'язку із цим, пропонується, крім загальної кількості питань, що задаються, групі експертів у процесі діалогу, ураховувати також і ймовірність позитивних відповідей на задані питання. Адже специфіка зворотного зв'язку така, що негативні відповіді експертів у процесі діалогу (тобто їхні відмови змінити раніше висловлену думку) ведуть до наступного пошуку інших варіантів перетворення підсумкового відношення в транзитивне, і, тим самим, до нових пропозицій до експертів із приводу зміни їхніх вихідних (початкових) ранжувань.

Будемо керуватися наступними припущеннями, що характеризують логіку роботи експерта:

1) Експерт більш охоче погоджується змінювати менш важливі з його погляду раніше зроблені ним оцінки, ніж більш важливі. Виходячи із цього, експерт імовірніше погодиться переставити у своєму ранжуванні 5-у альтернативу з 6-ю, ніж 1-у з 2-ю (за умови, що розглянуті альтернативи ранжувані в порядку зниження їхньої ваги).

2) Імовірність наявності хоча б однієї негативної відповіді в послідовності пропозицій/питань до експертів, зростає із числом таких пропозицій. Тобто, чим більше змін пропонується прийняти експертам, тим менше ймовірність одержати від нього загальне схвалення. Тому, наприклад, експерт із більшою ймовірністю погодиться переставити у своєму раніше зробленому ранжуванні 3-ю альтернативу з 4-ю, ніж 3-ю з 6-ю, оскільки в останньому варіанті будуть мати місце зміни розміщення крім 3-ї і 6-ї альтернатив у ранжуванні, ще й зміни розміщення 4-ї і 5-ї альтернатив відносно 3-ї і 6-ї.

Виходячи з вищевикладених постулатів будемо формувати наступну стратегію організації зворотного зв'язку із прагненням мінімізувати число звертань до експертів групи. Ідея алгоритму полягає в приведенні набору строгих ранжувань, даних експертами, які при агрегації методом Кондорсе не утворять строгое підсумкове ранжування (у загальному випадку, дане відношення може не задовольняти властивості транзитивності й тому, по суті, не бути ранжуванням), до набору строгих ранжувань, що задовольняють останній умові. У процесі даного перетворення враховується прагнення звести кількість звертань до експертів до мінімуму.

2.2.3 Ідея методу вирішення задачі з використанням Генетичного алгоритму

Для реалізації даної стратегії пропонується здійснювати пошук на множині всіх можливих варіантів строгих ранжирувань експертів такого набору ранжирувань, який на конкретному етапі є найближчим за кількістю і якістю змін, а, отже, таким, що максимізує ймовірність згоди експертів здійснити дані зміни, до набору вихідних експертних ранжирувань, що утворюють строгое підсумкове ранжирування при агрегації методом Кондорсе. Для реалізації такого виду пошуку пропонується використати один із еволюційних методів – Генетичний алгоритм (ГА) [115], який дозволяє досить ефективно відшукувати хороші рішення в задачах пошуку екстремуму функції багатьох змінних.

Однієї з особливостей ГА є його універсальність. Фактично, для реалізації будь-якої конкретної задачі пошуку екстремуму необхідно задати специфічну функцію корисності й здійснити кодування варіантів рішень із області можливих рішень.

Зупинимося докладніше на функції корисності ГА. У запропонованому алгоритмі передбачається пошук варіанту рішення, що відповідає мінімуму функції корисності. Варіант рішення в цьому випадку являє собою набір строгих експертних ранжирувань, агрегація яких методом Кондорсе являє собою, так само, деяке строгое ранжирування. На додаток, є можливість звести до цього варіанту рішення набір вихідних експертних ранжирувань, використовуючи мінімальну на поточний момент кількість звертань до експертів. Саму функцію корисності пропонується побудувати з урахуванням викладених вище постулатів, що характеризують логіку роботи експерта й враховуючи збереження ваг еквівалентних перестановок у ранжируваннях.

З огляду на вищевикладене, функція F корисності представляється як сума компонентів F_u :

$$F = \sum_{u=1}^n F_u . \quad (2.1)$$

Кожний такий компонент відповідає експертному ранжуванню й має вигляд:

$$F_u = (2d - 1)(m - h + 1) - d^2 , \quad (2.2)$$

де m – кількість альтернатив у ранжируванні, h – менший із двох рангів альтернатив, що приймають участь у перестановці, d – відстань між альтернативами, що переставляються (абсолютне значення різниці рангів альтернатив, що переставляються).

$$d = |r_1 - r_2|, \quad (2.3)$$

r_1, r_2 – ранги альтернатив вихідного ранжирування експерта, що переставляються.

В виразі (2.2) ураховується кількість, так званих елементарних перестановок альтернатив, тобто перестановок сусідніх альтернатив (при $d = 1$), яка необхідна для здійснення довільної перестановки в експертному ранжируванні. Також, в цій формулі враховується вага кожної елементарної перестановки залежно від її віддаленості від кінця ранжирування. Так, перестановка менш значимих для експерта альтернатив буде мати меншу вагу, і, отже, більше шансів бути запропонованою для виконання експертові. Крім того, у формулі (2.2) закладено властивість, що вага однієї перестановки не сусідніх альтернатив дорівнює сумі ваг послідовності елементарних перестановок сусідніх альтернатив, які в сукупності приводять до цієї однієї перестановки (тобто, є еквівалентною послідовністю перестановок).

Так, наприклад, нехай альтернативи позначені первинними номерами їхніх рангів (1, 2, 3, 4, 5), тоді, щоб переставити альтернативи “2” і “5”, і одержати ранжирування (1, 5, 3, 4, 2), можна здійснити послідовність із 5-ти наступних елементарних перестановок: (“2”; “3”), (“2”; “4”), (“2”; “5”), (“5”; “4”), (“5”; “3”) і тоді: $F_{25} = F_{23} + F_{24} + F_{25} + F_{54} + F_{53}$.

Тепер зупинимося докладніше на кодуванні варіантів рішень ГА (у термінах притаманних еволюційним методам, яким є й ГА, вони називаються “особинами”). Особина в запропонованому варіанті алгоритму являє собою набір строгих ранжирувань експертів, результатом агрегації яких по методу Кондорсе є строгое ранжирування, і до яких пропонується звести вихідний набір експертних ранжирувань. Дляожної такої особини є можливість однозначно обчислити функцію корисності. Пропонується, кожному можливому варіанту ранжирування m альтернатив поставити у взаємно-однозначну відповідність число з натурального ряду. Кількість чисел у такій множині буде дорівнює числу перестановок m елементів: $P_m = m!$. Відразу ж слід зазначити, що мова йде про прийняття рішень у малих групах: експертна група,

як правило, створюється для ухвалення рішення у вузько орієнтованій предметній області, і включає всього лише кількох фахівців, і, крім того, психофізичні обмеження людини не дозволяють їй одночасно оцінювати (і, тим більше, ранжирувати) більше ніж 7 ± 2 об'єктів [90]. Тому, виходячи з малих значень n і m , при рішенні задачі не виникають проблеми з переповненням розрядної сітки комп'ютера у зв'язку з розміщенням великих чисел.

Практична реалізація ГА має ряд особливостей пов'язаних з поданням множини експертних ранжувань як особин у популяції. Перша особливість полягає в реалізації операції «кросинговеру» “cross-over”. Одно-точковий «кросинговер» двох особин популяції пропонується здійснювати у наступний спосіб. Послідовно попарно порівнюються ранжування кожного експерта, які належать до множин ранжувань, що відповідають парі особин, обраних для схрещування. Дляожної такої пари ранжувань знаходиться мінімальна кількість p елементарних перестановок пар альтернатив, що необхідно для перетворення одного ранжування з розглянутої пари в інше. Далі провадиться випадковий вибір кількості елементарних перестановок зроблених над парами альтернатив одного з пар ранжувань, що розглядається при перетворенні його в інше ранжування із цієї пари. Нехай це випадковим чином обране ціле число позначимо через \tilde{p} , тоді $\tilde{p} \in [0; p]$. Тепер генерується множина всіх можливих ранжувань, отриманих шляхом \tilde{p} елементарних перестановок у першому ранжуванні при намірі перетворити його в друге ранжування з пари, що розглядається. Випадковий вибір з отриманого в такий спосіб множини ранжувань дає ранжування експерта, яке входить до складу множини ранжувань, що утворюють результат операції «кросинговера» (особину, породжену схрещуванням).

Другою зі згаданих особливостей є реалізація операції «мутація», що застосовується в ГА. Для кожного ранжування із множини (особини, обраної для мутації) пропонується здійснити з імовірністю, заданою, як вхідний параметр ГА (імовірністю мутації) $m(m - 1)/2$ випадково обраних елементарних перестановок. Ця кількість перестановок відповідає мінімальній кількості елементарних перестановок, необхідних для перетворення будь-якого ранжування в т.зв. «протилежне» ранжуван-

ня, наприклад, для множини ранжирувань $\{(2, 4, 3, 1), (1, 2, 3, 4), (3, 4, 1, 2)\}$ це буде множина $\{(3, 1, 2, 4), (4, 3, 2, 1), (2, 1, 4, 3)\}$. Таким чином, при такому перетворенні з обраної для мутації множини ранжирувань потенційно може бути отримана множина, що складається з будь-яких із всіх можливих ранжирувань. Причому ймовірність одержання в результаті мутації особини, «ближчої» за кількістю перестановок у ранжируваннях до вихідної особини, завжди більша ніж ймовірність одержання більш віддаленої особини.

2.2.3.1 Ідея організації зворотного зв'язку

Отже, ідея організації зворотного зв'язку полягає в наступному: серед множини всіх можливих варіантів ранжирувань альтернатив здійснюється пошук (вибір) з такими умовами:

- 1) ранжирування в шуканому наборі повинні бути строгими;
- 2) результатом агрегації цих ранжирувань методом Кондорсе має бути також строгое ранжирування;
- 3) перетворення вихідного набору експертних ранжирувань у даний набір ранжирувань повинне вимагати від експертів мінімальних поступок з їх боку й, отже, прагнути максимізувати ймовірність, що експерти погодяться змінити попередньо побудовані ними ранжирування (перетворити їх у шуканий набір).

Після цього експертам пропонується перетворити свої вихідні ранжирування шляхом перестановок деяких пар альтернатив у знайдені (обрані) ранжирування. Алгоритм закінчує роботу, якщо експерти погодилися на всі пропозиції про зміну своїх ранжирувань. Відзначимо, що даний процес опитування експертів може проходити паралельно в часі.

У ході експертного опитування йде нагромадження інформації про відповіді експертів на поставлені питання. У випадку відмови котрогось із експертів здійснити запропоновану перестановку пари альтернатив, подальше опитування експертів припиняється й проводиться пошук нового набору ранжирувань, але крім поставлених вище умов ураховується також історія вже зроблених відповідей експертів. Так,

якщо експерт відмовився переставити між собою деяку пару альтернатив, то виключається повторна постановка такого самого питання цьому ж експертові. Якщо ж якийсь експерт уже погодився переставити запропоновану пару альтернатив то, як наслідок, пропозиція про дану перестановку повторно експертові не дається й вага даної перестановки не підсумовується при формуванні критерію наступного вибору. Крім того, у випадку згоди переставити пари не сусідніх альтернатив, уважається, і це здається логічним, що експерт погоджується на всі еквівалентні елементарні перестановки, тобто на всі перестановки пар сусідніх альтернатив.

Виходячи з описаної логіки роботи, можна стверджувати, що даний алгоритм служить для знаходження послідовності перестановок альтернатив, що приводять до формування множини ранжирувань достатнього ступеня узгодженості. У випадку ж, коли через численні відмови експертів не вдається знайти хоч би якусь множину ранжирувань, яка задовольняє всім умовам пошуку, тоді робиться висновок про неможливість даної групи експертів прийти до єдиної узгодженої думки й пропонується провести повторну експертизу або змінити склад даної групи експертів для повторної експертизи (ординального експертного оцінювання).

2.2.3.2 Доведення збіжності методу досягнення достатньої узгодженості індивідуальних ранжирувань зі зворотним зв'язком

Для зручності подальших викладок доцільно формально описати поняття, яке вже згадувалось у даному пункті.

Означення 2.1 Елементарною перестановкою альтернатив в ранжуванні називається перестановка двох сусідніх альтернатив. Тобто, перестановка альтернатив A_1 та A_2 є елементарною, якщо модуль різниці рангів цих альтернатив – r_1 та r_2 , згідно з (2.3), $d=1$.

Виходячи з ідеї організації зворотного зв'язку для доведення збіжності методу достатньо довести наступне твердження.

Твердження 2.1 Із будь-якого ранжування можна отримати будь-яке інше за кінчену кількість елементарних перестановок.

Наслідок 2.1 із Твердження 2.1. Довільну перестановку в ранжируванні можна подати у вигляді скінченої послідовності елементарних перестановок.

Доведення Твердження 2.1:

- 1) Загальна кількість ранжувань із m альтернатив – скінчена і дорівнює $m!$.
- 2) будь-яке ранжування із m альтернатив можна представити ранжуванням $R=(1, 2, \dots, m)$ шляхом перейменування альтернатив.

Зобразимо у графічному вигляді набір усіх можливих ранжувань із m альтернатив. Наприклад, для $m=4$ цю множину можна подати у вигляді графа зображеного на рис. 4.4., де вершини позначені ранжуваннями (їхня кількість $4!=24$), а дуги відповідають елементарним перестановкам, з допомогою яких з одного ранжування отримується інше.

- 3) Із вигляду графа випливає, що з вершини (1234) існує шлях до будь-якої іншої вершини цього графа.

Останнє положення доводить Твердження 2.1.

Варто зауважити, що збіжність методу зі зворотним зв'язком, у даному випадку, доводиться за умови, що усі експерти погоджуються робити перестановки у своїх ранжуваннях для підвищення загальної узгодженості ранжувань у експертній групі. У випадку ж відмови деяких експертів від виконання перестановок може статись, ситуація, коли метод приводить до висновку про неможливість групи експертів прийти до узгодженого рішення.

2.2.3.3 Покроковий алгоритм рішення на ілюстративному прикладі

Нехай групою з 4-х експертів проведено ранжування множини з 4-х альтернатив. Результати ранжування наступні: $R_1=(3, 4, 2, 1)$, $R_2=(1, 3, 2, 4)$, $R_3=(1, 2, 3, 4)$, $R_4=(3, 4, 1, 2)$. У цьому записі позначено, що перший експерт першій альтернативі поставив у відповідність ранг “3”, другій – ранг “4”, третій – ранг “2”, четвертій альтернативі – ранг “1”, другий експерт поставив у відповідність першій альтернативі ранг “1”, і т.д.

Для того, що б перевірити, чи достатній ступінь узгодженості даних експертних ранжувань, виконаємо наступні 3 кроки алгоритму:

Крок 1. По експертних ранжуваннях одержуємо матриці домінування:

$$D_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \\ 0 & -1 \\ 0 \end{pmatrix}, D_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 \end{pmatrix}, D_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 \end{pmatrix}, D_4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \\ 0 & 1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Ці матриці будується в такий спосіб: якщо альтернатива A_1 домінує над альтернативою A_2 , тобто ранг A_1 менший ($r_1 < r_2$), тоді елемент матриці $d_{12}=1$, інакше $d_{12}=-1$. Оскільки матриці, що формуються, обернено симетричні, то обмежуємося поданням тільки частин матриць, що вище головної діагоналі.

Крок 2. За отриманими на попередньому кроці матрицями будуємо підсумкову матрицю домінування D' методом Кондорсе, який передбачає по-елементне складання вихідних матриць $D_i, i = (1, m)$ із наступним знаходженням сигнатури кожного елемента матриці: $D' = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^m D_i\right)$. Відзначимо, що в підсумковій матриці можуть бути нульові елементи поза межами головної діагоналі, які можуть утворюва-

тися при парній кількості експертів у групі. Таким чином, $D' = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 \end{pmatrix}$.

Крок 3. Перевіряємо отримане на попередньому кроці відношення, подане у вигляді матриці D' , на наявність нульових елементів поза головною діагоналлю, і потім, якщо таких немає, то перевіряємо на порушення транзитивності. Наявність хоча б одного нульового елемента поза головною діагоналлю матриці свідчить, що отримане відношення не є відношенням строгого порядку (саме ця вимога поставлена в умові задачі, хоча, у загальному випадку ця вимога й не є обов'язковою, тоді можемо отримати нестроге ранжування). Як відомо із численних джерел [108, 109, 116, 117, 121], на порушення транзитивності вказує наявність у відношенні циклів (3-циклів, циклічних тріад). Три довільні альтернативи (A_1, A_2, A_3) утво-

рюють цикл (циклічну тріаду), якщо має місце співвідношення виду: $A_1 \succ A_2 \succ A_3 \succ A_1$, де символ “ \succ ” означає відношення „переважати” / домінувати (альтернативи завжди можна перенумерувати саме в такий спосіб). Кілька циклів довжини 3 можуть утворювати цикли більшої довжини. Отже, ознакою, що підсумкове відношення є транзитивним, є відсутність у ньому циклів. Наявність циклів у відношенні представленому в матричному вигляді легко перевірити алгоритмічно, як один з варіантів також підходить перевірка на рівність нулю виразу, що визначає кількість 3-циклів у відношенні: $l = C_n^3 - \sum_{i=1}^n C_{S_i}^2$, де $S_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$ – рядкові суми матриці D' , доповненої до квадратної способом $d_{ij} = -d_{ji}$.

Таким чином, за результатами кроку 3 алгоритму робиться висновок, що D' не задовольняє поставленим вимогам (оскільки в D' є нульові елементи поза головною діагоналлю), і, тому переходимо до наступного кроку для організації зворотного зв'язку з експертами.

Крок 4. За допомогою ГА здійснюється цілеспрямований перебір варіантів експертних ранжирувань, які закодовані у вигляді особин популяції зазначеним вище способом. Таким чином, особина являє собою набір з m чисел від 1 до $n!$, кожне з яких відповідає варіанту строгого ранжирування з n альтернатив. Початкова популяція генерується випадковим чином, і, надалі, вона розвивається за законами еволюції: особини народжуються, мутують, схрещуються, помирають, і, при цьому, виживають найбільш пристосовані. Пристосованістьожної особини в даному варіанті алгоритму обернено-пропорційна значенню, обчисленому за формулою (6.1). Пошук за допомогою ГА закінчується, коли за задане число ітерацій (поколінь) краща за пристосованістю особина не змінюється й, тоді, ця краща особина популяції вибирається як результат пошуку. Перед тим, як провадити розрахунок за формулою (6.1), кожна особина (набір ранжирувань) перевіряється на достатність ступеня узгодженості, виконавши кроки 1-3 алгоритму.

В прикладі, що розглядається, за результатами виконання кроку 4 алгоритму, за допомогою ГА, знаходимо особину (12, 3, 1, 9), що відповідає набору ранжирувань

$R_1^* = (2, 4, 3, 1)$, $R_2^* = (1, 3, 2, 4)$, $R_3^* = (1, 2, 3, 4)$, $R_4^* = (2, 3, 1, 4)$, значення функції корисності для якої $F=5$, і це значення є мінімальним.

Крок 5. Послідовно пропонуємо експертам змінити раніше побудоване ними ранжирування R на R^* шляхом однієї або декількох послідовних перестановок альтернатив. У випадку, коли експерти погодилися на всі пропозиції, алгоритм закінчує роботу і по приведених із набору R за допомогою зворотного зв'язку з експертами ранжируваннях набору R^* (тепер уже досить узгоджених) можна одержати узагальнене групове ранжирування.

Отже, на основі порівняння ранжувань R_1 і R_1^* генерується пропозиція до експерта №1: «Чи згодні Ви переставити у своєму ранжуванні альтернативи №1 і №3 (відповідні рангам “3” і “2”)?». Допустимо, експерт погодився. Тоді після перевірки, що в результаті однієї запропонованої перестановки, ранжування R_1 і R_1^* уже збігаються, переходимо до аналізу ранжувань експерта №2. Але, оскільки, $R_2=R_2^*$, так само, як і $R_3=R_3^*$, то переходимо до аналізу ранжувань експерта №4. На основі R_4 і R_4^* формується пропозиція експертові №4: «Чи згодні Ви переставити у своєму ранжуванні альтернативи №1 і №4 (відповідні рангам “3” і “2”)?».

Допустимо, експерт №4 відмовився від пропозиції, тоді переходимо до виконання кроку 4, тобто, здійснююмо пошук набору ранжувань експертів, але вже з урахуванням обмежень внесених відповідями експертів. Результатом виконання кроку 4 алгоритму, є особина $(12, 3, 1, 15)$, що відповідає набору ранжувань $R_1^* = (2, 4, 3, 1)$, $R_2^* = (1, 3, 2, 4)$, $R_3^* = (1, 2, 3, 4)$, $R_4^* = (3, 2, 1, 4)$, зі значенням функції корисності $F=5$ (тут, при підрахунку F , доданок, що відповідає R_1 і R_1^* не враховується, оскільки питання про перестановку альтернативи №1 і №3 уже задавати не потрібно, тому що на нього вже раніше дано позитивну відповідь).

При виконанні кроку 5 і аналізі ранжувань експерта №1, питання до експерта із приводу перестановки альтернатив №1 і №3 уже не задається, оскільки на нього вже раніше отримано позитивну відповідь. При аналізі ранжувань експерта №4, на основі R_4 і R_4^* формується наступна пропозиція експертові №4: «Чи згодні Ви переставити у своєму ранжуванні альтернативи №2 і №4 (відповідні рангам “4” і “2”)?». У випадку згоди експерта, у результаті виконаної перестановки стає справедливим ранжування $R^* = (1, 2, 3, 4)$.

дливою рівність $R_4=R_4^*$, і на цьому алгоритм організації зворотного зв'язку завершує роботу. У результаті роботи алгоритму набір експертних ранжувань R приведено до набору R^* , який має достатній ступінь узгодженості для виконання агрегації з метою побудови підсумкового групового ранжування.

2.2.4 Альтернативний підхід до вирішення задачі досягнення достатньої узгодженості

Вирішення задачі організації зворотного зв'язку з експертами за допомогою Генетичного алгоритму описано в попередньому пункті та в роботі [118]. У поточному пункті пропонується підхід до рішення цієї задачі, що виключає перебір (у тому числі направлений) всіх можливих варіантів послідовних перестановок альтернатив в індивідуальних ранжуваннях.

Далі пропонується варіант вирішення задачі, сформульованої в підпункті 2.2.2.1.

Тобто, потрібно побудувати процедуру, що дозволить послідовно визначати, до кого саме із групи експертів потрібно звертатися, і які саме альтернативи пропонувати експертам для перестановки в індивідуальних ранжуваннях.

Отже, для того, щоб підсумкове відношення стало транзитивним, необхідно позбутися циклів у ньому. Для цього експертам потрібно переставити відповідні пари альтернатив в індивідуальних ранжуваннях.

Процедури однозначного вибору експертів, оцінки яких «псують» підсумкове відношення (є причиною його не-транзитивності), і альтернатив, які потрібно переставляти в першу чергу, не існує. Втім, виходячи з міркувань підвищення ефективності зворотного зв'язку (очевидно, що потрібно завжди намагатися мінімізувати витрати часу й коштів на проведення експертизи, не ставлячи при цьому під загрозу достовірність її потенційних результатів), під час повторного опитування експертів доцільно керуватися декількома евристичними припущеннями:

- 1) Перестановка пари альтернатив A_i і A_j у відношенні повинна приводити до зменшення кількості циклів. Необхідну й достатню умову для цього сформулювали

Кендал і Сміт у роботі [116]. Відповідно до цієї умови, якщо на множині альтернатив $A = \{A_k, k=1..m\}$ задане не транзитивне відношення переваг, а пара альтернатив A_i і A_j із цієї множини, така що $A_i \succ A_j$, входить в ходя б один 3-цикл, то внаслідок перестановки альтернатив у парі (зміни переваги на $A_j \succ A_i$) кількість циклів у відношенні зменшиться тоді, ї тільки тоді, коли $\alpha \leq \beta$, де α і β – кількість альтернатив, над якими домінують, відповідно альтернативи A_i і A_j .

2) У першу чергу потрібно намагатися переставляти пари альтернатив, які входять у найбільшу кількість 3-циклів. Адже після відповідної перестановки пари альтернатив зникають відразу всі цикли, у які ці альтернативи входять. До того ж, зникнення декількох циклів довжини 3 також приводить до того, що зникають і цикли більшої довжини, які їх містять [116, 119].

3) Потрібно мінімізувати кількість повторних звертань до експертів. Для цього потрібно обирати для перестановки ті пари альтернатив, які доведеться переставляти мінімальній кількості експертів. Чим більшій кількості експертів пропонується переставляти альтернативи в індивідуальних ранжируваннях (змінювати свої оцінки), тим імовірніше, що хтось із них не погодиться це зробити. До того ж, повторне звертання до експертів буде вимагати додаткових витрат їхнього часу, і, відповідно, коштів на його оплату.

4) Потрібно обирати для перестановки пари альтернатив, різниця рангів яких мінімальна. Це означає, що такі альтернативи розміщені близько одна до одної в індивідуальному ранжируванні (можливо, є сусідніми), і експерт більш охоче погодиться переставити їх, ніж пари більш віддалених альтернатив.

5) Якщо немає додаткової інформації про переваги експертів і про ступінь їхньої впевненості в тім, що альтернативи оцінені вірно (згадаємо, що принциповою ознакою процедури експертного оцінювання, як правило, є відсутність еталонів), потрібно пропонувати експертам переставляти альтернативи, розташовані біжче до кінця ранжирування. Доцільно припустити, що альтернативи, які стоять на перших місцях у ранжируванні (мають найменші ранги), важливіші для експерта (а також для ОПР або організатора експертизи), тому перестановка альтернатив з більшими номерами буде меншою «жертвою», або «поступкою» з його боку. І, навпаки,

якщо задача експертизи полягає, наприклад, у тім, щоб відсіяти (вилучити гіршу) альтернативу із заданої множини, то потрібно пропонувати експертові для перестановки пари альтернатив, які розташовані на початку ранжирування.

6) При можливості, варто уникати повторних звертань до одного й того ж самого експерта в процесі зворотного зв'язку. Так, наприклад, якщо в індивідуальних ранжируваннях декількох експертів альтернативи, які потрібно поміняти місцями, мають однакові ранги, то перестановку цих альтернатив доцільно здійснювати в ранжируванні, побудованому експертом, до якого в процесі зворотного зв'язку організатор експертизи звертався найменшу кількість разів. Також слід зазначити, що, якщо експертиза проводиться в дистанційному режимі (експерти працюють на окремих віддалених терміналах), то дана вимога дозволить звертатися із пропозиціями до декількох експертів одночасно.

Пропонується ставити вище викладені вимоги до вибору пар альтернатив і експертів для виконання перестановок у ранжируваннях саме в наведеному порядку. Безсумнівно, виконання умови Кендала-Сміта потрібно перевіряти в першу чергу (це необхідно для збіжності процедури), але порядок порівняння „пар-кандидатів” для перестановки за іншими сформульованими критеріями, може варіюватися.

Викладені міркування дозволяють побудувати досить чітку процедуру організації зворотного зв'язку з експертами.

2.2.4.1 Сутність процедури організації зворотного зв'язку

Спочатку пропонується визначити всі цикли довжини 3 (циклічні тріади, 3-цикли), внаслідок існування яких порушується транзитивність підсумкового відношення. Після цього потрібно знайти пари альтернатив, що входять у найбільшу кількість циклів, і при цьому задовольняють умові зменшення загальної кількості циклів Кендала-Сміта [116]. Якщо таких пар декілька, потрібно з'ясувати, яка кількість експертів доведеться повторно опитати для того, щоб альтернативи, що складають зазначені пари, помінялися місцями в підсумковому відношенні. При цьому потрібно мати на увазі, що в першу чергу доцільно пропонувати переставляти ті

альтернативи, порядок яких прийдеться змінювати найменшій кількості експертів. Число експертів, яким потрібно запропонувати змінити свою думку щодо взаємного розташування заданої пари альтернатив у ранжируванні, можна визначити за елементом матриці сум індивідуальних ординальних парних порівнянь. Якщо один експерт міняє місцями дві альтернативи A_i і A_j в індивідуальному ранжируванні, то елемент a_{ij} (і, відповідно, a_{ji}) матриці сум ординальних парних порівнянь, змінюється на 2.

Також потрібно пам'ятати про останню умову й, по можливості, уникати повторних звертань до тих самих експертів із пропозиціями перестановки альтернатив в укладених ними індивідуальних ранжируваннях.

Неважко помітити, що пар альтернатив, які є «оптимальними кандидатами» для перестановки за всіма зазначеними критеріями, може бути декілька, тому процедура зворотного зв'язку характеризується певною неоднозначністю. Цю неоднозначність потрібно мати на увазі при програмній реалізації алгоритму в СППР. У програмі можна задати «штучне» правило для усунення неоднозначності: наприклад, представляти пари альтернатив у порядку їхньої нумерації. Неоднозначність також має свої переваги – чим більше можливих перестановок альтернатив існує на кожній ітерації алгоритму, тим більше варіантів звертань до експертів має організатор експертизи. За рахунок цього, у нього з'являється більше альтернативних шляхів організації зворотного зв'язку з експертами у випадку, коли хтось із них відмовиться вносити запитувані зміни до свого ранжирування.

Збіжність даної процедури очевидна. Оскільки кількість циклів зменшується відповідно до умови Кендала-Сміта, за кінцеву кількість кроків, у результаті роботи процедури, отримаємо транзитивне (без циклів) підсумкове відношення – агреговане ранжирування. У випадку, коли, внаслідок відмов експертів представляти альтернативи в ранжируваннях, не залишиться „кандидатів” для перестановки, а підсумкове ранжирування буде залишатися не транзитивним, потрібно зробити висновок про те, що дана група експертів не в змозі прийти до узгодженого рішення й потрібно організувати нову експертизу або змінити склад групи.

Нарешті, необхідно вказати на дві особливості експертиз у цілому, і експертиз, пов'язаних з ординальним оцінюванням альтернатив, зокрема. По-перше, згадаємо, що мова йде про прийняття рішень у малих групах: експертна група, як правило, створюється для ухвалення рішення у вузько спеціалізованій області, і включає не більше декількох фахівців. По-друге, психофізичні обмеження людини не дозволяють їй одночасно оцінювати (і, тим більше, ранжирувати) більше 7 ± 2 об'єктів [90]. Якщо кількість альтернатив перевершує вказане обмеження, то їхню множину можна поділити на кластери, кожний з яких буде включати не більше 7 ± 2 альтернатив, як пропонує Сааті [120]. При цьому в кожному кластері виділяється «прикордонна» (зв'язуюча) альтернатива, що входить одночасно у два сусідніх кластери. Тоді, після побудови ранжирування альтернатив у межах кожного кластера, можна побудувати загальне ранжирування альтернатив. У такій ситуації, задача організації зворотного зв'язку з експертами, як і раніше, буде вирішуватися в межах кожного кластера окремо.

Експериментальні дослідження процедури на багатьох прикладах показали, що вищевказані критерії дозволяють суттєво звузити множину пар альтернатив, які потрібно пропонувати експертам для перестановки. Так, наприклад, на кожному з декількох десятків тисяч випадкових прикладів, де підсумкове (групове) відношення будувалося на базі n «індивідуальних» ранжувань m альтернатив (де n і m лежали в межах від 3 до 8), зазначені критерії дозволяють дати однозначну відповідь на питання: «які альтернативи в яких індивідуальних ранжуваннях потрібно міняти місцями?». За кілька ітерацій процедура дозволяє зробити множину індивідуальних ранжувань заданої множини альтернатив достатньо узгодженою для побудови транзитивного підсумкового відношення переваг на цій множині.

2.2.4.2 Покроковий алгоритм

- 1) Будуємо підсумкове відношення у вигляді матриці ординальних парних порівнянь методом Кондорсе [103, 107] (див. постановку задачі).
- 2) Перевіряємо, є чи в підсумковому відношенні D 3-цикли; якщо немає – множина

індивідуальних ранжувань є достатньо узгодженою для агрегації, і алгоритм закінчує роботу; якщо є – переходимо до кроку 3)

- 3) Подаємо всі 3-цикли у вигляді послідовностей пар альтернатив $A_iA_j; A_jA_k; A_iA_k$.
- 4) Дляожної пари, що фігурує в циклах, перевіряємо виконання умови Кендала-Сміта. Якщо умова не виконується – виключаємо пари із множини потенційних «кандидатів» для перестановки. Якщо виконується – переходимо до кроку 5)
- 5) Відбираємо пари, що фігурують у максимальній кількості 3-циклів.
- 6) Визначаємо, яка кількість експертів повинна переставити альтернативи зі знайдених пар у своїх ранжуваннях. Відбираємо пари альтернатив, які доведеться переставляти мінімальній кількості експертів.
- 7) Перевіряємо, чому дорівнює елемент матриці підсумкового відношення D , відповідний кожній відібраний парі A_iA_j . Якщо елемент d_{ij} матриці домінування підсумкового відношення, що відповідає парі альтернатив A_i і A_j , які входять у цикл, і повинні бути переставлені, дорівнює 1, то потрібно пропонувати експертам переставляти ці альтернативи у тих індивідуальних ранжуваннях, де $A_i \succ A_j$ (відповідно, $r_i < r_j$, адже домінуючій альтернативі відповідає менший порядковий номер, або ранг). І навпаки, при $d_{ij} = -1$, потрібно міняти місцями альтернативи в індивідуальних ранжуваннях, де $A_i \prec A_j$ ($r_i > r_j$).
- 8) У випадку, якщо існує декілька пар альтернатив, що входять в однакову кількість циклів, і при цьому їх має переставляти одна і та ж кількість експертів, пропонується, у першу чергу, вибирати пари альтернатив A_{j1}, A_{j2} , різниця рангів яких – найменша, тобто альтернатив, що стоять якнайближче одна від одної в індивідуальному ранжуванні: $|r_{i,j1} - r_{i,j2}| \rightarrow \min_{i,j1,j2}$ (де $r_{i,j1}, r_{i,j2}$ – ранги альтернатив A_{j1}, A_{j2} у ранжуванні, побудованому i -м експертом). Передбачається, що такі пари експерт більш охоче погодиться переставляти, ніж пари альтернатив, ранги яких відрізняються більше.
- 9) Порівнюємо пари за наступним критерієм відбору: доцільно переставляти альтернативи, що стоять якнайближче до кінця індивідуального ранжування: $\min(r_{i,j1}, r_{i,j2}) \rightarrow \max_{i,j1,j2}$. Отже, на даному кроці, серед відібраних ранжувань відбираємо ті, що мають найменші ранги.

раємо ті, у яких відповідні пари альтернатив розташовані максимально близько до кінця ранжирування. За замовчуванням передбачається, що менший ранг відповідає кращій альтернативі, а експерта більше «цікавить» розташування в ранжируванні альтернатив звищими (меншими), а ніж з нижчими (більшими) рангами.

10) Перевіряємо, чи не зверталися до цього експерта (укладача визначеного ранжирування) раніше в процесі зворотного зв'язку. Якщо є можливість (ϵ ранжирування, до укладачів яких ми зверталися менше разів, або взагалі не зверталися в процесі зворотного зв'язку), то краще уникати повторних звертань – експерт, до якого звертаються часто, буде менш «поступливим».

11) Вибираємо першу пару з тих, що залишились після поетапного відбору в першому з тих ранжирувань, що залишились після відбору, переставляємо вибрану пару альтернатив в ньому, і переходимо до кроку 2).

2.2.4.3 Ілюстративний приклад

Допустимо, 7 експертів E_1-E_7 ранжують 7 альтернатив A_1-A_7 . Нехай множина індивідуальних ранжирувань альтернатив має вигляд, поданий у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 Індивідуальні ранжирування альтернатив

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
E_1	7	3	4	1	6	2	5
E_2	3	4	7	1	2	5	6
E_3	6	2	5	3	4	1	7
E_4	3	6	5	2	4	7	1
E_5	3	4	1	7	6	2	5
E_6	5	6	3	1	4	7	2
E_7	4	3	2	6	5	7	1

Матриця підсумкового відношення D , побудованого за правилом Кондорсе на основі заданих індивідуальних ранжирувань альтернатив, показана в таблиці 2.9.

Нетранзитивність підсумкового відношення визначається шістьма 3-циклами: $(A_1A_2; A_2A_5; A_1A_5)$; $(A_1A_2; A_2A_7; A_1A_7)$; $(A_1A_6; A_6A_7; A_1A_7)$; $(A_2A_3; A_3A_7; A_2A_7)$; $(A_3A_6; A_6A_7; A_3A_7)$; $(A_5A_6; A_6A_7; A_5A_7)$. У циклах фігурують 12 пар альтернатив. Із цих 12-ти пар

умові Кендала-Сміта задовольняють 5: $A_1A_2; A_1A_5; A_2A_7; A_3A_7; A_6A_7$.

Таблиця 2.9 Матриця домінування альтернатив у підсумковому відношенні

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
A_1	0	1	-1	-1	-1	1	-1
A_2	-1	0	-1	-1	1	1	1
A_3	1	1	0	-1	1	1	-1
A_4	1	1	1	0	1	1	1
A_5	1	-1	-1	-1	0	1	-1
A_6	-1	-1	-1	-1	-1	0	1
A_7	1	-1	1	-1	1	-1	0

Пара A_6A_7 єдина фігурує в трьох із шести 3-циклів, отже, альтернативи цієї пари потрібно міняти місцями в першу чергу. Для того щоб відповідний елемент матриці підсумкового відношення $d_{67}=1$ змінився на протилежний $d_{67}=-1$, досить, щоб один з експертів, у ранжируванні якого $A_6 \succ A_7$ (тобто, $r_6 < r_7$), погодився поміняти ці альтернативи місцями. У ранжируванні експерта E_2 ранг r_{26} альтернативи A_6 дорівнює 5, а ранг r_{27} альтернативи A_7 дорівнює 6 (див. таблицю 2.8). Тому, з урахуванням вимог $|r_{i,j1} - r_{i,j2}| \rightarrow \min_{i,j1,j2} i \min(r_{i,j1}, r_{i,j2}) \rightarrow \max_{i,j1,j2}$, перестановка зазначених альтернатив у за- значеному ранжируванні є найбільш доцільною. Після перестановки даної пари альтернатив у ранжируванні експерта E_2 у підсумковому відношенні D (Таблиця 2.10; жирним курсивом показані елементи, змінені на попередній ітерації) залишиться тільки три цикли: $(A_1A_2; A_2A_5; A_1A_5)$; $(A_1A_2; A_2A_7; A_1A_7)$; $(A_2A_3; A_3A_7; A_2A_7)$.

Таблиця 2.10 Матриця домінування після першої перестановки

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
A_1	0	1	-1	-1	-1	1	-1
A_2	-1	0	-1	-1	1	1	1
A_3	1	1	0	-1	1	1	-1
A_4	1	1	1	0	1	1	1
A_5	1	-1	-1	-1	0	1	-1
A_6	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1
A_7	1	-1	1	-1	1	1	0

Пара A_1A_2 задовільняє умові Кендала-Сміта й фігурує у двох із трьох циклів, що залишилися. У ранжируванні експерта E_6 ранги зазначених альтернатив максимально близькі, і розташовані більше до кінця ранжирування, ніж у ранжируваннях інших експертів. Отже, має сенс переставити ці альтернативи в ранжируванні зазначеного експерта. Після перестановки підсумкове відношення D прийме вигляд, показаний у таблиці 2.11. У ньому залишиться єдиний цикл: $(A_2A_3; A_3A_7; A_2A_7)$.

Таблиця 2.11 Матриця домінування після другої перестановки

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
A_1	0	-1	-1	-1	-1	1	-1
A_2	1	0	-1	-1	1	1	1
A_3	1	1	0	-1	1	1	-1
A_4	1	1	1	0	1	1	1
A_5	1	-1	-1	-1	0	1	-1
A_6	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1
A_7	1	-1	1	-1	1	1	0

Виходячи з описаних критеріїв, для ліквідації цього циклу, найбільше доцільно переставити альтернативи A_2 і A_3 у ранжируванні експерта E_4 . Якщо експерт погодиться на цю перестановку, підсумкове відношення D стане транзитивним (таблиця 2.12).

Таблиця 2.12 Матриця домінування після третьої перестановки

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
A_1	0	-1	-1	-1	-1	1	-1
A_2	1	0	1	-1	1	1	1
A_3	1	-1	0	-1	1	1	-1
A_4	1	1	1	0	1	1	1
A_5	1	-1	-1	-1	0	1	-1
A_6	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1
A_7	1	-1	1	-1	1	1	0

Ранжирування альтернатив A_1-A_7 , побудоване на основі даного в умові прикладу відношення переваг, наступне: (6, 2, 4, 1, 5, 7, 3). Цей підхід опублікований в роботах [214, 215].

2.2.5 Особливості застосування двох запропонованих методів

У процесі роботи, обидва із запропонованих в даному пункті методів прагнуть мінімізувати число звертань до експертів групи. Перший із методів враховує при цьому ще й імовірність погодження експерта на зміну своєї попередньої думки.

У обох методах для випадку, коли кількість експертів у групі парна, підсумкове ранжування альтернатив може бути нестрогим.

У обох запропонованих методах використовується спосіб зміни (корекції) індивідуальних ранжувань експертів перестановою деякої пари альтернатив. Це не єдиний спосіб для корекції ранжувань. В запропонованих методах можливо успішно використовувати також і спосіб, заснований на переміщенні і вставці альтернатив із ранжування після або до деякої заданої альтернативи зі зсувом проміжних альтернатив на звільнене місце. В такому випадку експертові для зміни ранжування дають пропозицію наступного плану: „Чи не погодитеся поставити альтернативу A_i в Вашому ранжуванні після/до альтернативи A_j ?“ Такий спосіб корекції ранжувань вимагає менше поступок від експерта, адже у випадку переміщення деякої альтернативи далі ніж за сусідню альтернативу, еквівалентна кількість елементарних перестановок буде меншою ніж при аналогічній перестановці несусідніх альтернатив.

Кінцевим результатом роботи алгоритмів, що реалізують методи, є побудова строгоого групового ранжування альтернатив шляхом агрегації індивідуальних ранжувань, але можливе їх узагальнення на клас нестрогих ранжувань альтернатив і на випадок різної компетентності експертів у групі.

2.3 Висновки за розділом 2

Запропоновано груповий метод обчислення ваг альтернатив на основі експертних МПП, що відноситься до сімейства авторських методів обробки кардинальних ЕО комбінаторного типу. Головною перевагою методу слід вважати найбільш повне

використання наданої експертної інформації, що дає змогу підвищити достовірність отриманих результатів.

Також запропоновано варіант вирішення проблеми реверсу рангів при застосуванні методів парних порівнянь у випадках, коли вона є критичною для задач ППР. Проаналізовано причини виникнення реверсу рангів альтернатив при визначенні їхніх ваг. Запропоновано два окремих способи уникнення реверсу рангів у випадках додавання та виключення деякої альтернативи до / з множини альтернатив, що підлягають оцінюванню. Розроблено метод обчислення усереднених ваг альтернатив на основі матриць парних порівнянь, отриманих від групи експертів, який дозволяє уникнути реверсу рангів при додаванні альтернативи до множини тих, що були розраховані раніше.

Розроблено метод визначення достатності ступеня узгодженості множини строгих індивідуальних ранжирувань. Ступінь узгодженості пропонується вважати достатнім, коли отримане на основі множини індивідуальних ранжирувань підсумкове відношення також є ранжуванням, а це можливо при виконанні умови транзитивності цього відношення.

Запропонований принцип так само прийнятний для аналізу узгодженості нестрогих індивідуальних ранжирувань, однак перевірка підсумкової матриці на предмет відсутності протиріч буде відрізнятися від викладеної.

Даний метод є невід'ємною складовою математичного забезпечення СППР, які припускають побудову групових ординальних експертних оцінок. Можливість застосування методу не залежить від того, яким із відомих методів агрегації індивідуальних ранжирувань експерти, ОПР або організатори експертизи планують скористатися надалі.

Розроблено два методи для організації зворотного зв'язку з експертами при побудові групового ранжування альтернатив. Перший з яких базується на цілеспрямованому пошуку об'єктів для зворотного зв'язку з застосуванням Генетичного алгоритму, а другий на послідовному виключенні порушень транзитивності з вихідного відношення. Обидва застосовані підходи мають право на існування. Задача організації зворотного зв'язку характеризується високою актуальністю в сферах ордина-

льного експертного оцінювання, проведення експертиз, розробки СППР. Експериментальні дослідження на багатьох прикладах вказують на достатню ефективність кожного з запропонованих методів.

Усі перераховані методи обробки кардинальних та ординальних експертних оцінок є невід'ємною складовою технологій ППР, а також систем ППР, розроблених на основі таких технологій.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСПЕРТНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У розділі 1 наведено аргументацію щодо необхідності створення моделей та методів ППР, які б у повній мірі задовольняли вимоги щодо адекватного представлення експертних оцінок у БЗ СППР. В основу запропонованої технології лягла можливість для кожного експерта проводити кожне своє оцінювання в шкалі, що як найкраще відповідає його/її власній інформованості (компетентності) в поточному питанні експертизи.

Низку задач, які потрібно розв'язати при розробці такої технології ППР, викладено у даному розділі. До таких задач відносяться: побудова моделі та розробка технології експертного оцінювання, включаючи вибір шкали оцінювання, приведення індивідуальних експертних оцінок до єдиної шкали, узгодження уніфікованих оцінок, організація зворотного зв'язку з експертами, агрегація індивідуальних експертних оцінок, та ін.

3.1 Модель та технологія експертного оцінювання

Спрощена схема запропонованої моделі експертного оцінювання виглядає такою, як показано на рис. 3.1. Слід відмітити основні особливості оцінювання, утілені в моделі:

- експертне оцінювання здійснюється групою експертів;
- шкала оцінювання не задається апріорі;
- для узагальнення ЕО в групі необхідне досягнення достатнього рівня узгодженості.

Згідно з переліченими особливостями моделі виділяються процеси отримання та обробки ЕО. Обробка у свою чергу поділяється на етапи:

- визначення рівня узгодженості;
- визначення, чи достатній рівень узгодженості;
- досягнення достатнього рівня та

- узагальнення ЕО.

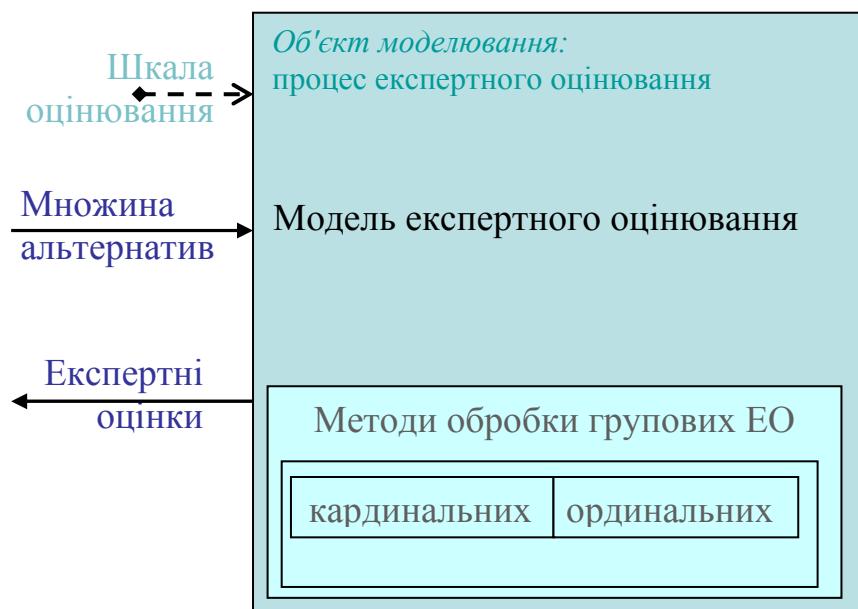


Рис.3.1 Модель експертного оцінювання

На відміну від існуючих моделей експертного оцінювання, шкала оцінювання не є зовнішнім параметром для моделі (не задається апріорі), у зв'язку з цим, на схемі відповідну стрілку зображену пунктиром.

У наявних моделях експертного оцінювання, експертові пропонується деяка, наперед визначена, шкала. Це негативно впливає на ефективність отримання інформації від експерта, оскільки вид шкали, що застосовується, має відповідати рівню компетентності експерта в конкретному питанні. Пропонується технологія експертного оцінювання, яка позбавлена такого недоліку. В основу запропонованої технології покладено метод парних порівнянь, який дозволяє експертові вибирати шкалу експертного оцінювання з кількістю градацій, що адекватно відображає його компетентність в питанні, що розглядається. Тим самим, метод дозволяє експертові зробити обдуманий вибір відповідної лінгвістичної фрази (поділки шкали), яка найбільш повно відповідає його уявленням про співвідношення в парі альтернатив.

Якість рішень у таких випадках, беззаперечно, залежить від того, наскільки повно та без спотворень експерти надають інформацію про свої уявлення про предметну область. На основі наданої експертами інформації будується моделі предметних областей у вигляді баз знань / ієрархій цілей, які використовуються у подальшому

для оцінювання варіантів рішень.

3.1.1 Огляд шкал експертного оцінювання

Проблеми класифікації та вибору шкал експертного оцінювання досить широко висвітлені в науковій літературі. Серед останніх робіт хочеться виділити низку статей, що найбільше наблизились до вказаних проблем.

Деякі шкали і їхні властивості охарактеризовані в роботі [76], де була запропонована, як альтернативний варіант до існуючих, т.зв. логістична шкала, що переважно може застосовуватись при вирішенні задач ранжирування альтернатив.

Питання вибору шкали було розглянуто в [77] при вирішенні задачі побудови лінгвістичних шкал при експертному оцінюванні властивостей складних об'єктів.

В експериментальному дослідженні, описаному в [78], досліджувався вплив чи-слової шкали, обраної для проведення експертного оцінювання, на відповідність отриманих результатів внутрішнім уявленням експерта. У результаті дослідження було проаналізовано три різновиди числових шкал: ціличислову, збалансовану та степеневу, значення поділок яких призначались лінгвістичним змінним фундаментальної шкали Saatі [79] двох видів – з 5-ма та з 9-ма градаціями. Було з'ясовано, що вибір шкали має значний вплив на результатуючу експертну оцінку варіанту рішення.

Серед розглянутих числових шкал найбільш популярною і простою є ціличислова шкала, в якій стандартним лінгвістичним фразам, що використовуються експертом при парних порівняннях і визначенні ступеня преваги, поставлені у відповідність цілі числа від 1 до 9 (див. далі табл. 3.1).

При застосуванні шкали з 5-ма градаціями, замість 9-ти, використовуються виключно тільки лінгвістичні фрази, яким поставлені у відповідність непарні числа (1, 3, 5, 7, 9).

Слід зазначити, що фрази подані в таблиці 3.1 (англійською мовою) уведені у широкий вжиток Т.Сааті, і, часто в літературі їх, разом з їхніми числовими відповідниками, називають фундаментальною шкалою, або шкалою Saatі. Оскільки, Saatі

спершу пропонувалась для використання шкала з 5-ма градаціями, тому більшість доданих фраз, що відповідають градаціям шкали 2, 4, 6 та 8, відображають проміжні ступені переваги між тими, що пропонувались спочатку. На перший погляд здається, що багатими мовними засобами можна сформулювати більш лаконічні, точні та милозвучні фрази або, принаймні, зробити більш вдалий переклад на українську мову, але наразі річ у тому, що фрази, які використовуються, мають абсолютно однозначно відображати різницю (відмінність) між ступенями переваги. Так, наприклад, в уявленні людини однозначно сформувалась думка, що „слабка” перевага слабша за „середню”, „середня” слабша за „сильну” і т.п., але далеко не очевидно, як співвідносяться між собою, наприклад, „надзвичайна”, „незаперечна”, „абсолютна” і „безумовна” переваги, або, наприклад, „досить сильна”, „помірна” та „значна” переваги? Отже, пропонується використовувати саме таку множину фраз (набір лінгвістичних змінних), яку представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Фрази, що використовуються експертом для визначення ступеня переваги пари альтернатив та відповідники їм у цілочисловій шкалі

Лінгвістична фраза	Фраза англійською	Число, поставлене у відповідність
Немає переваги (рівнозначні)	Equally	1
Слабка або незначна перевага	Weakly or slightly preferred	2
Середня перевага	Moderately preferred	3
Більше ніж середня перевага	Moderately plus preferred	4
Сильна перевага	Strongly preferred	5
Більше ніж сильна перевага	Strongly plus preferred	6
Дуже сильна перевага	Very strongly preferred	7
Дуже, дуже сильна перевага	Very, very strongly preferred	8
Надзвичайна перевага	Extremely preferred	9

Цілі числа, поставлені у відповідність лінгвістичним фразам показують „у скільки разів” одна з пари альтернатив перевершує іншу за деяким показником (крите-

рієм). Оскільки, це припущення є досить суперечливим і далеко не безсумнівним, тому в деяких дослідників виникло бажання поставити множині лінгвістичних змінних інші, більш відповідні уявленню експерта числа. Рядом дослідників було помічено, що використання ціличислових шкал призводить до нерівномірного розподілу обчислених на їх основі ваг альтернатив. Дійсно, зміна переваги на одну поділку шкали, наприклад, зі „слабкої” переваги (2) до „середньої” (3) має значно більший ефект на результатуючі ваги альтернатив ніж зміна переваги на одну поділку, але, наприклад, із „дуже, дуже сильної” переваги (8) до „надзвичайної” (9). Щоб уникнути такої нерівномірності, А.Сало та Р.Хамалайнен [80] запропонували збалансовану шкалу, де зміна ваг є постійною при зміні ступенів переваги шкали.

У так званій, збалансованій шкалі ваги альтернатив, обчислені на основі парних порівнянь, є рівномірно розподіленими в залежності від вихідних даних (парних порівнянь). Числові значення, які відповідають лінгвістичним фразам для збалансованої шкали, обчислені виходячи з виразу: $a = \frac{w}{1-w}$, де w – вага альтернативи, що переважає в парі, і наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Числові еквіваленти для збалансованої шкали

Лінгвістична фраза	Число, поставлене у відповідність
Немає переваги (рівнозначні)	0.5/0.5 = 1
Слабка або незначна перевага	0.55/0.45 = 11/9
Середня перевага	0.6/0.4 = 3/2
Більше ніж середня перевага	0.65/0.35 = 13/7
Сильна перевага	0.7/0.3 = 7/3
Більше ніж сильна перевага	0.75/0.25 = 3
Дуже сильна перевага	0.8/0.2 = 4
Дуже, дуже сильна перевага	0.85/0.15 = 17/3
Надзвичайна перевага	0.9/0.1 = 9

Слід зазначити, що у такому вигляді дана шкала є повністю „збалансованою” тільки для випадку наявності лише 2-х альтернатив.

Третєю серед розглянутих шкал є степенева, яку запропоновано декількома авторами, в тому числі Стівеном [81] та Луцмою [82, 83]. Числові значення, що відповідають лінгвістичним фразам для степеневої шкали знайдені виходячи з виразу: $a = \sqrt[y-1]{9^{x-1}}$, де x – це ціле число із таблиці 3.1, що відповідає тій самій фразі, y – кількість градацій шкали. Для кількості градацій 9, числові еквіваленти для степеневої шкали наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Числові еквіваленти для степеневої шкали

Лінгвістична фраза	Число, поставлене у відповідність
Немає переваги (рівнозначні)	$\sqrt[8]{9^0} = 1$
Слабка або незначна перевага	$\sqrt[8]{9^1} \approx 1.316$
Середня перевага	$\sqrt[8]{9^2} \approx 1.732$
Більше ніж середня перевага	$\sqrt[8]{9^3} \approx 2.280$
Сильна перевага	$\sqrt[8]{9^4} = 3$
Більше ніж сильна перевага	$\sqrt[8]{9^5} \approx 3.948$
Дуже сильна перевага	$\sqrt[8]{9^6} \approx 5.196$
Дуже, дуже сильна перевага	$\sqrt[8]{9^7} \approx 6.839$
Надзвичайна перевага	$\sqrt[8]{9^8} = 9$

Важливо, що ваги альтернатив, знайдені на основі оцінок у степеневій шкалі, мають рівномірний розподіл при будь-якій кількості альтернатив.

Одним із результатів досліджень, проведених М.Елліоттом і зазначенім у [78], є аналіз інформації від 64-х експертів про їхнє відношення до запропонованої їм шкали для оцінювання. В конкретному експериментальному дослідженні варіанти відповідей на запитання: „Для Вас кількість варіантів для вибору переваг була: а)

Занадто велика; б) У самий раз; в) Занадто малою ?” розподілились, як зображене в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 Відсотковий вміст думок експертів, яким була запропонована для оцінювання шкала з 5-ма або з 9-ма градаціями, щодо кількості градацій шкали

	Занадто велика	У самий раз	Занадто мала
5 ступенів переваги	43,8%	53,1%	3,1%
9 ступенів переваги	84,4%	15,6%	0%

Висновок, який було зроблено, на основі даних таблиці 3.4, про віддання переваги у використанні шкали з 5-ма градаціями, на думку автора, може мати місце тільки для даної конкретної групи експертів і, крім того, для даного конкретного питання експертизи. Наведені у таблиці результати дослідження підтверджують наступні положення, які, до речі, не були відмічені у [78]: 1) питання про вибір кількості градацій для шкали експертного оцінювання є актуальним; 2) той факт, що думки експертів відносно комфортної кількості градацій в шкалах оцінювання, розділились, є підтвердженням того, що варто пропонувати вибір шкали кожному експертові окремо, замість того, щоб вибрати єдину шкалу для проведення експертного оцінювання; 3) для кожного питання експертизи експерт може вибрати деяку шкалу оцінювання з оптимальною для цього випадку кількістю градацій; 4) такою оптимальною кількістю градацій шкали не обов’язково має бути 5 або 9.

До того, слід відмітити огляд та порівняння п’яти основних шкал оцінювання, представлений у роботі [84]. Крім згаданих вище шкал, до огляду увійшли шкала Ма-Чженга [85] та шкала Донеган-Додд-МакМастера [86]. Числові значення, які відповідають лінгвістичним фразам для шкали Ма-Чженга (авторська назва шкали – „9/9-9/1”), обчислюються виходячи з виразу: $a = \frac{y}{y + 1 - x}$, де x – це ціле число із

таблиці 3.1, що відповідає тій самій фразі, y – кількість градацій шкали. Числові значення наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 Числові еквіваленти для шкали Ма-Чженга

Лінгвістична фраза	Число, поставлене у відповідність
Немає переваги (рівнозначні)	$9/9 = 1$
Слабка або незначна перевага	$9/8$
Середня перевага	$9/7$
Більше ніж середня перевага	$9/6 = 3/2$
Сильна перевага	$9/5$
Більше ніж сильна перевага	$9/4$
Дуже сильна перевага	$9/3 = 3$
Дуже, дуже сильна перевага	$9/2$
Надзвичайна перевага	$9/1 = 9$

Шкала, запропонована в [86] – більш складна для розуміння. Числові значення, які відповідають лінгвістичним фразам для шкали Донеган-Додд-МакМастера, обчислюються виходячи з виразу: $a = \exp\left[\tanh^{-1}\left(\frac{x-1}{h-1}\right)\right]$, де x – це ціле число із таблиці 3.1, що відповідає тій самій фразі, h – параметр, що обчислюється, як показано далі. Щоб отримати параметр h , автори пропонують визначити так званий 8-ковий або 7-ковий горизонт (діапазон). Обчислення 8-кового горизонту: $h = 1 + 14/\sqrt{3}$, базується на припущеннях, що для альтернатив A , B та C має місце наступне транзитивне відношення: A переважає C зі ступенем переваги 9 ($a_{AC} = 9$), якщо $a_{AB} = a_{BC} = 8$, тобто „ $8 \cdot 8 = 9$ ”. А обчислення 7-кового горизонту: $h = 1 + 6/\sqrt{2}$ базується на припущеннях, що $a_{AC} = 9$, якщо $a_{AB} = a_{BC} = 7$, тобто „ $7 \cdot 7 = 9$ ”. Числові значення для шкали Донеган-Додд-МакМастера наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6. Числові еквіваленти для шкали Донеган-Додд-МакМастера

Лінгвістична фраза	Число, поставлене у відповідність
Немає переваги (рівнозначні)	1
Слабка або незначна перевага	1,132
Середня перевага	1,287
Більше ніж середня перевага	1,477
Сильна перевага	1,720
Більше ніж сильна перевага	2,060
Дуже сильна перевага	2,600
Дуже, дуже сильна перевага	3,732
Надзвичайна перевага	9

Порівняльне дослідження наведених вище шкал та оптимізаційна модель вибору шкали для використання експертом наведені в роботі [87]. Систематизація та загальна класифікація шкал відношень представлена в роботі [88].

3.1.2 Вибір експертом шкали для оцінювання у ході виконання ним парних порівнянь

У всіх перелічених у попередньому пункті дослідженнях присутнє розуміння про необхідність вибору шкали для експертного оцінювання. Часом спостерігається прагнення дослідників обрати деяку оптимальну, але, все-таки, єдину, універсальну шкалу для певного класу експертного оцінювання. Тобто проглядається прагнення знайти шкалу, що буде найбільш повно відповідати предмету експертизи загалом і задовольняти вимоги усіх експертів.

У даній роботі пропонується інший підхід до вибору шкали для оцінювання. Одне із базисних тверджень цього підходу полягає в тому, що спроби підбору універсальних шкал для експертного оцінювання є не доцільними, оскільки рівень інформації, яким володіє експерт стосовно кожного окремого питання експертизи є

різним. Тобто, є різним рівень знань експерта (його компетенція) стосовно кожного окремого питання. Тому, для того, щоб якомога повніше, але без тиску на експерта, отримати інформацію про його власні уявлення про предмет експертизи, потрібно передбачити для експерта можливість вибору відповідної шкали для кожного окремого акту проведення ним відносного оцінювання.

З досвіду проведення експертиз було зроблено висновок, що для адекватного, повного, без тиску на експерта отримання від нього знань в деякій предметній області, потрібно, щоб шкала, в якій експертові пропонується проводити оцінювання, найбільшій мірі відповідала його рівню компетентності про предмет експертизи. Зазначимо, що процес оцінювання для експерта є еквівалентним вибору на конкретній шкалі деякої однієї з наявних поділок, яка, на його думку, найбільш відповідає важомості оцінюваної альтернативи, або перевазі одної альтернативи над іншою [123]. Отже, у випадках, навіть коли експерт не склонний вибирати, або не упевнений у виборі конкретної поділки шкали, він все ж змушений такий вибір зробити, тому що це зумовлено перебігом експертного оцінювання у існуючих СППР. Тим самим, фактично, спричиняється тиск на експерта під час оцінювання. Такий тиск призводить до невідповідності між уявленнями експерта про предметну область та моделлю предметної області, що створюється на основі оцінок цього експерта.

Окрім того, можуть траплятись випадки, коли через недостатню докладність (детальність) шкали, що застосовується у процесі оцінювання, експерт надає свої знання про предметну область не в повній мірі, що теж є істотним недоліком такого традиційного підходу. Тому, задля уникнення цих суттєвих недоліків, пропонується технологія експертного оцінювання, що дозволяє експертові самостійно вибирати для здійснення кожного оцінювання таку шкалу, яка найбільш адекватно відповідає його рівню знань та досвіду про конкретний предмет експертизи.

Звичайно, при проведенні експертного оцінювання, покладати на експерта вибір шкали в прямому сенсі слова (наприклад, вибір зі списку шкал) не є доцільним, оскільки експерт, як вузький спеціаліст в конкретній галузі, зазвичай, не є спеціалістом в самому процесі експертного оцінювання та шкалах. Тому, наразі, пропонується розробити технологію експертного оцінювання, яка дозволяє проводити оціню-

вання в різних за детальністю шкалах, з можливістю поступового збільшення деталізації інформації, яку надає експерт про предмет експертизи.

Як відмічалось у [122], адекватність отримання експертної інформації в існуючих експертних СППР, обмежуються за рахунок того, що експертові апріорно пропонується деяка визначена шкала для введення ним своїх оцінок. В цьому джерелі запропоновано концепцію створення СППР, в яких при отриманні інформації від експертів враховується рівень їхньої компетентності (інформованості) щодо об'єктів предметної області. Такі СППР мають здатність пристосовуватись (адаптуватись) до рівня компетентності експертів при наданні ними інформації.

Слід зазначити, що проблеми, які вирішуються з застосуванням таких СППР, зазвичай, лежать у площині вимірювання (оцінювання), так званих, невідчутних (англійською мовою – *intangible*) факторів, тому, на відміну від помітних / відчутних факторів (*tangible*), коли можливо застосування абсолютнох (фізичних) шкал, в яких присутні одиниці вимірювання та початок відліку, в даному випадку, більш прийнятні відносні шкали та пов’язані з ними відносні вимірювання [123]. В [123] зазначається, що відносні шкали є більш загальними ніж фізичні шкали, бо через вимірювання в фізичних шкалах можливо отримати відносні вимірювання, але не навпаки. Оскільки людина, як експерт, наділена унікальним талантом порівнювати речі, а в слабко структурованих предметних областях, зазвичай, еталони для порівняння відсутні, то задля якомога повного використання цих унікальних умінь людини, доцільно, при будь-якому експертному оцінюванні, використовувати метод парних порівнянь [120, 124], як метод відносних вимірювань. Тому, в подальших дослідженнях, пропонується розглядати шкали експертного оцінювання, що використовуються, виключно, при застосуванні методу парних порівнянь.

Як уже відмічалось, в рамках даного дослідження використовується модель відносних вимірювань Т.Сааті [52, 125], яка ним розроблялась для вирішення задач багатокритеріального прийняття рішень. Аксіоматична структура цієї моделі, пізніше описана Л.Варгасом [126], базується на наступних аксіомах:

1) Аксіома обернених порівнянь: Якщо альтернатива A_i переважає A_j в x разів, то A_j переважає A_i в $1/x$ разів. Як наслідок, експертна МПП є обернено-

симетричною і достатньо користуватись лише частиною МПП вище (або нижче) її головної діагоналі.

2) Аксіома однорідності: Судження про переваги представляються засобами обмеженої шкали. Це пов'язується з тим, що порівнювані об'єкти не повинні відрізнятись між собою більше ніж на порядок їхньої величини, інакше це може призводити до зменшення узгодженості та точності оцінок.

3) Аксіома незалежності: У багатокритеріальному випадку ваги критеріїв не залежать від стимулів (оцінюваних альтернатив). Стосовно ієрархічної структури це вимагає незалежності елементів вищих рівнів від елементів нижчих рівнів ієрархії.

4) Аксіома сподівань: Заради можливості прийняття рішення ієрархічна структура вважається повною (завершеною).

Якщо розглядати експертне оцінювання, як акт парного порівняння деяких альтернатив, що не пов'язаний з багатокритеріальністю (коли розглядається визначення ступеня переваги однієї альтернативи над іншою відносно деякого єдиного критерію), то мають значення лише перші дві аксіоми. В рамках проблеми, що розкривається в даній роботі, особливу увагу потрібно акцентувати на, так званій, аксіомі однорідності, яка обумовлює обмеженість шкали, що застосовується при експертному оцінюванні.

Т.Сааті та К.Пеніветі [126] описують процес розбиття альтернатив на групи (кластеризацію), який є складовою методу аналізу ієрархій, і є необхідним для забезпечення однорідності об'єктів, що порівнюються експертами. Там автори зазначають [126, с.55], що людина, в тому числі експерт, має труднощі при встановленні співвідношень між об'єктами, коли відношення (перевага одного над іншим) більша ніж в 9 разів. Фактично цією умовою обмежується числове значення, що відповідає максимальній перевагі в шкалах експертного оцінювання.

3.1.3 Сутність технології експертного оцінювання

Значимість методу, що покладений в основу технології, полягає у найбільш повному отриманні інформації від експерта про предмет експертизи, стосовно кожного

конкретного питання. Метод призначений забезпечити найбільшу відповідність внутрішніх уявлень експерта про це питання, до поділки шкали, вибраної ним як результат оцінювання. Так, наприклад, при використанні методу парних порівнянь альтернатив, експертові спершу пропонується оцінити перевагу однієї альтернативи над іншою в ординальній (порядковій) – найменш деталізованій шкалі, тобто експертові пропонується визначити тільки наявність переваги між альтернативами. Після цього, експертові пропонується поступово збільшувати деталізацію наданих ним знань про перевагу альтернатив шляхом оцінювання у все більш деталізованих шкалах, аж поки експерт не досягне свого рівня інформованості (компетенції) у питанні експертизи і відмовиться від подальшої деталізації.

Умовою застосування методу, побудованого на викладених принципах, є зацікавленість експерта в найповнішому наданні своїх знань про предмет експертизи, інакше експерт вийде з процесу оцінювання на початковому етапі процесу і, тим самим, знання експерта про предмет будуть отримані не в повній мірі. Зазначимо, що ця умова є необхідною умовою для організації будь-яких експертиз і є досить природною, так само, як і умова, що експертові немає сенсу надавати недостовірну інформацію або дані про предмет експертизи, в яких він не впевнений.

В основі технології, що пропонується, покладено ідею більш гнучкого застосування шкал експертного оцінювання з метою найбільш повного відображення знань експертів про предметну область у базі знань СППР. При експертному порівнянні альтернатив вважатимемо, що у випадку, коли у експерта недостатньо знань і/або досвіду, щоб розрізнати деякі альтернативи, він оцінює ці альтернативи як рівнозначні або відмовляється їх оцінювати. В основі цієї евристики лежить положення, що двох одинакових альтернатив при порівнянні бути не може. Такий випадок буде трактуватись, як недостатність знань та досвіду експерта про альтернативи, що пропонуються для порівняння, тобто недостатність компетентності експерта в питанні, що розглядається. Дане положення особливо стосується експертного оцінювання альтернатив у, так званій, слабко формалізованій предметній області, коли, фактично, еталонів для оцінювання не існує і вимір (оцінювання) „невідчутних” властивостей альтернатив можливий тільки за допомогою експерта. Якщо розгляда-

ти експерта, як деякий метрологічний прилад, що вимірює вагомість альтернатив, то недостатність знань експерта для розрізnenня альтернатив відповідає недостатньому класу точності такого метрологічного приладу. На противагу, у предметних областях, що не є слабко структурованими, та коли маємо справу з „відчутними” властивостями альтернатив, які, зазвичай, можливо виміряти або обчислити, фактично, немає необхідності у проведенні експертизи взагалі.

3.1.3.1 Опис технології

Пропонується наступна технологія експертного оцінювання в процесі виконання експертом парних порівнянь альтернатив. Для виконання парних порівнянь розроблено програмний інтерфейс, який дозволяє експертові в інтерактивному режимі вибирати шкалу оцінювання, що найбільш відповідає його компетенції в даному питанні, та проводити в ній попарні порівняння альтернатив.

Будемо описувати технологію експертного оцінювання на прикладі використання експертом розробленого програмного інтерфейсу. Загальний вигляд інтерфейсу показано на рис. 3.2.

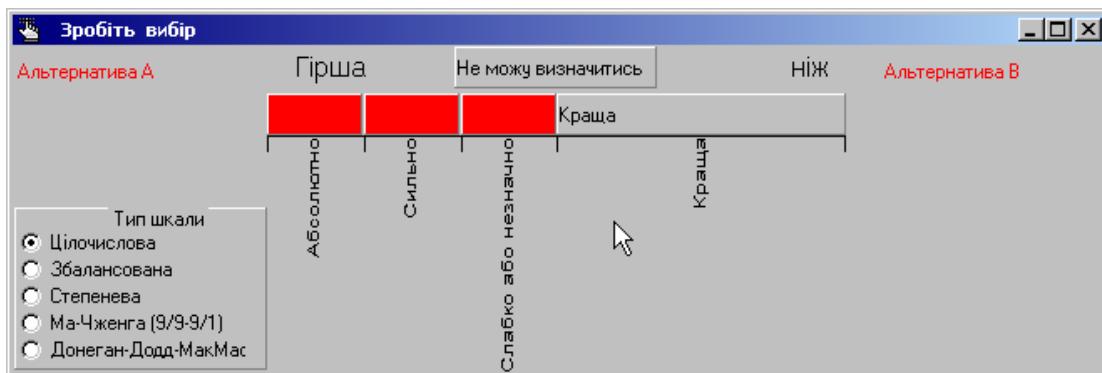


Рис.3.2 Загальний вигляд інтерфейсу для попарного порівняння альтернатив експертом

Запропонована технологія передбачає на початковому етапі попарного порівняння деяких альтернатив визначитись, яка з альтернатив краща (яка з альтернатив має перевагу над іншою за деяким відомим критерієм). Початковий діалог з експер-

том починається з діалогового вікна, зображеного на рис.3.3.

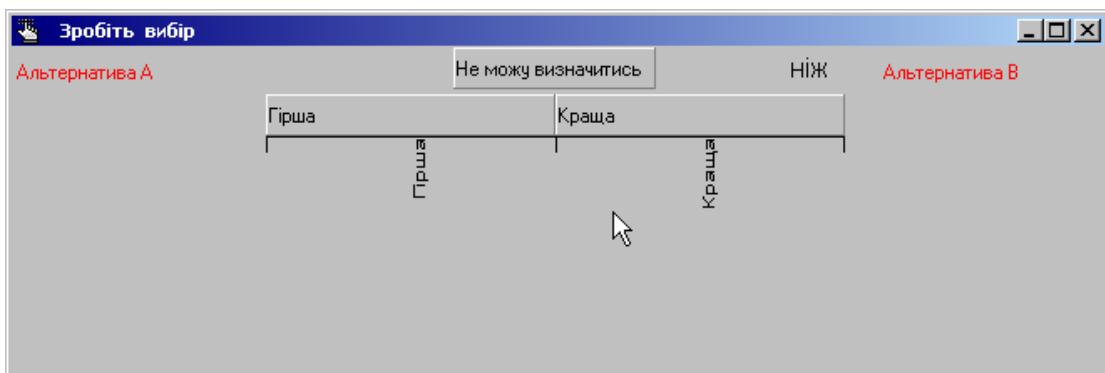


Рис.3.3 Початковий діалог з експертом

Зазначимо, що діалог з експертом підтримується інформативними підказками, які дають можливість експерту краще зрозуміти сутність лінгвістичних термінів, що використовуються при порівнянні, будуючи у своїй уяві аналогію до процесу зважування на терезах (див. рис.3.4).



Рис.3.4 Приклади інформативних підказок

Слід відмітити, що на будь-якому етапі процесу порівняння пари альтернатив, експерт має можливість вибрати пункт діалогу „Не можу визначитись”, при виборі якого, процес порівняння даної пари альтернатив завершується. Результатом такого завершення діалогу з експертом може бути:

1) відсутність інформації про співвідношення пари альтернатив (якщо експерт вийшов з діалогу на початковому етапі – рис.3.3).

Фактично, при відсутності інформації про співвідношення пари альтернатив, експерт не в змозі визначити кращу з альтернатив. Причому, варіанту вибору „рів-

нозначні” – не передбачається, такий варіант вважається рівносильним „не можу визначити”. В подальшому, для цього випадку, в СППР застосовуються методи обробки неповної матриці парних порівнянь.

2) інформація виключно про наявність переваги однієї з альтернатив (якщо після вибору на початковому етапі серед двох варіантів „Гірша” або „Краща”, експерт вийшов з діалогу, не визначившись зі ступенем переваги).

В такому випадку, в систему поступає ординальна (порядкова) експертна оцінка і в подальшому обробка цієї інформації буде проводитись відповідними методами (методами обробки ординальної експертної інформації).

3) інформація про ступінь переваги однієї з альтернатив над іншою (в залежності від того, на якому саме етапі діалогу відбувся вихід).

Цей випадок пов’язаний з наданням експертом кардинальної (кількісної) інформації. Ступінь переваги буде визначатись в залежності від выбраної на поточний момент типу та кількості градацій шкали експертного оцінювання.

Технологія передбачає, що експерт може, у будь-який момент на етапі введення кардинальної інформації, змінити поточний тип шкали оцінювання. Усі вище згадані типи шкал можуть бути обрані експертом. Зміна типу шкали оцінювання може знадобитись експертові для більш адекватного відображення у числовій формі свого уявлення про перевагу однієї альтернативи над іншою. Для наглядного подання властивостей шкали кожного із типів, програмний діалоговий засіб передбачає інформаційну підказку експертові у вигляді гістограми (див. рис. 3.5). Така гістограма наглядно характеризує числові співвідношення між різними градаціями в шкалі і, тим самим, дозволяє експертові зробити обґрутований вибір типу шкали для подальшого оцінювання, причому, не вдаючись до числових еквівалентів градацій.

Аналогічно, не вдаючись до числових еквівалентів ваг альтернатив запропонована технологія дозволяє експертові підібрати найбільш відповідне його уявленням співвідношення між вагами в парі альтернатив, що порівнюються. Як можна побачити зі знімків екрану, що зображені на рис. 3.6, за допомогою інтерактивної підказки у вигляді терезів, є можливість знайти відповідники між відношенням ваг (розмірами, об’ємами) об’єктів на терезах, а тим самим, і між відношенням ваг альтерна-

тив, що порівнюються, та лінгвістичними фразами, які характеризують це відношення.

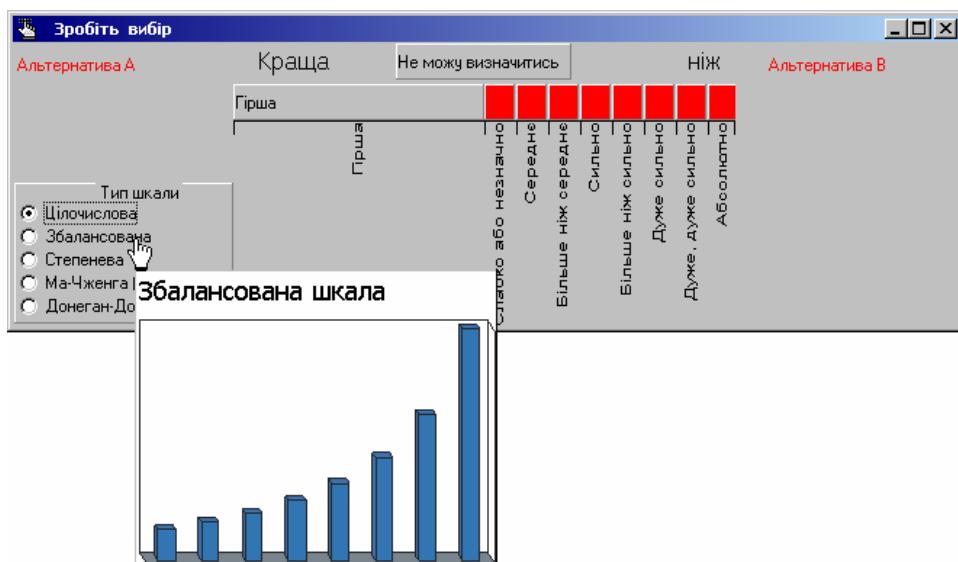


Рис.3.5 Підказка у вигляді гістограми, що характеризує властивість типу шкали

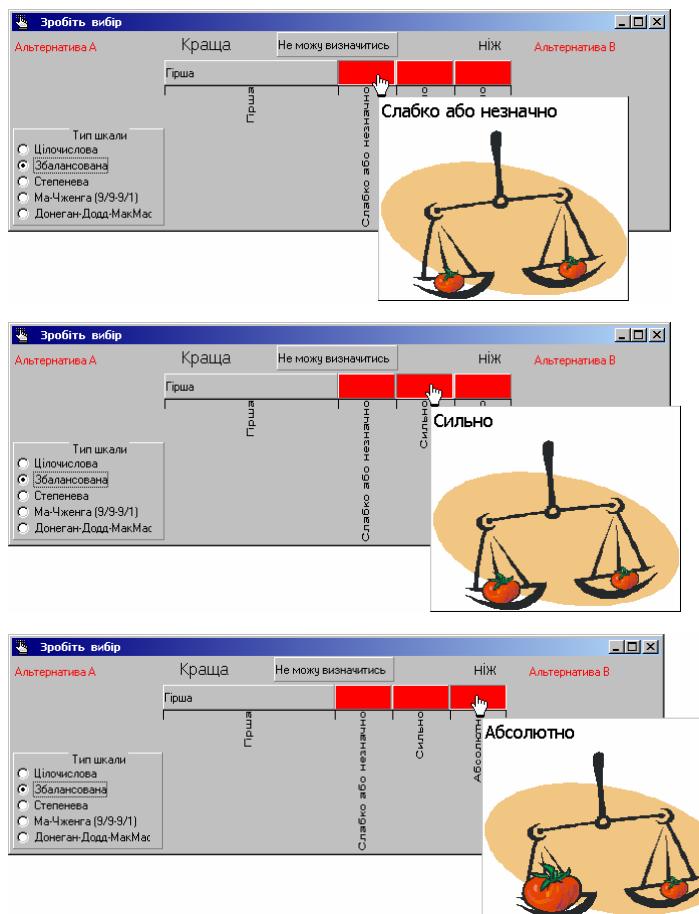


Рис.3.6 Візуальна підказка у вигляді зображення терезів, наглядно відображає вибрану перевагу для заданого типу шкали

У представленому діалоговому програмному засобі, відношення між розмірами об'єктів на терезах, для показу експертові, розраховується відповідно до вибраного на поточний момент типу шкали. Згідно до сказаного, лінійний розмір об'ємного об'єкту (більшого з двох, зображеніх на терезах) визначається через розмір меншого об'єкту, що виступає в якості еталону, за наступним співвідношенням: $l_B = \sqrt[3]{a} \cdot l_E$, де l_B – лінійний розмір більшого об'єкту (наприклад, висота), l_E – однотипний лінійний розмір еталону, a – числовий еквівалент визначеній градації вибраного типу шкали.

При відсутності такого засобу візуалізації переваг, технологія експертного оцінювання дуже сильно втрачає за рахунок того, що експерт часто не уявляє, або уявляє хибно, числові співвідношення, закладені в лінгвістичні фрази, якими він змушений користуватись при оцінюванні.

Описана технологія реалізована у вигляді комплексу програмних засобів для експертного оцінювання шляхом парних порівнянь «Рівень» [210].

3.1.4 Порівняльне експериментальне оцінювання технологій

3.1.4.1 Обґрунтування необхідності експерименту

Очевидно, що запропонована технологія потребує обґрунтування. Експертні технології, які застосовуються в слабко-структуртованих предметних областях, де принципово не існує еталонних значень ваг об'єктів, взагалі виключають аналітичне обґрунтування та строгое доведення адекватності.

Отже, єдиним способом перевірки та обґрунтування правомірності використання запропонованої технології є її експериментальне дослідження на багатьох прецедентах ЕО.

У даному випадку імітаційне моделювання експертних оцінок (на зразок того що застосовується у [53, 128], є неприйнятним, оскільки у рамках експериментального дослідження передбачається, що експерт сам має визначати, наскільки адекватно агреговані результати експертизи відображають його власні уявлення про спів-

відношення об'єктів. Інформацію про відповідність отриманих співвідношень уявленням експерта можна отримати лише від самого експерта: змоделювати такий показник відповідності неможливо.

3.1.4.2 Мета і сутність експерименту

Мета експерименту – порівняння запропонованої технології із наявними технологіями отримання відносних ваг факторів, зокрема, із тими, що використовують широко розповсюжене сімейство методів аналізу ієархій та мереж Т. Сааті [120]. Порівнювати пропонується ступінь адекватності уявлень експерта про реальні співвідношення між об'єктами предметної області (факторами) до співвідношень, визначених за допомогою інструментарію тієї чи іншої технології ЕО. Фактично, порівнюються результати, отримані на основі технології, з еталонами оцінок, що сформувались у свідомості експерта.

Результати (відносні ваги факторів), отримані на основі технології, що тестується, порівнюються із вагами, отриманими на основі парних порівнянь у фундаментальній шкалі з 5-ма та 9-ма поділками. Ваги критеріїв (факторів) для парних порівнянь у фундаментальній шкалі визначаються методом власного вектора Т.Сааті на основі МПП.

Експеримент пропонується проводити згідно з нижченаведеною схемою (див. рис. 3.7).

Хід експерименту, який описано в [216], включає 4 основних етапи:

1. Формулювання цілі (проблеми) та факторів, які на неї впливають. На цьому етапі експерт обирає проблему, в якій він/вона добре розуміється і формулює від 5-ти до 7-ми відносно незалежних факторів, які на його думку є найбільш суттєвими для вирішення цієї проблеми.
2. Парні експертні порівняння факторів у трьох різних шкалах. Усі парні порівняння, що мають бути виконані на протязі усього експерименту (для усіх трьох технологій) подаються експертові у випадковому порядку.
3. Обчислення векторів ваг факторів. Для визначення векторів відносних ваг

об'єктів відповідними методами обробляються МПП, отримані на попередньому етапі.

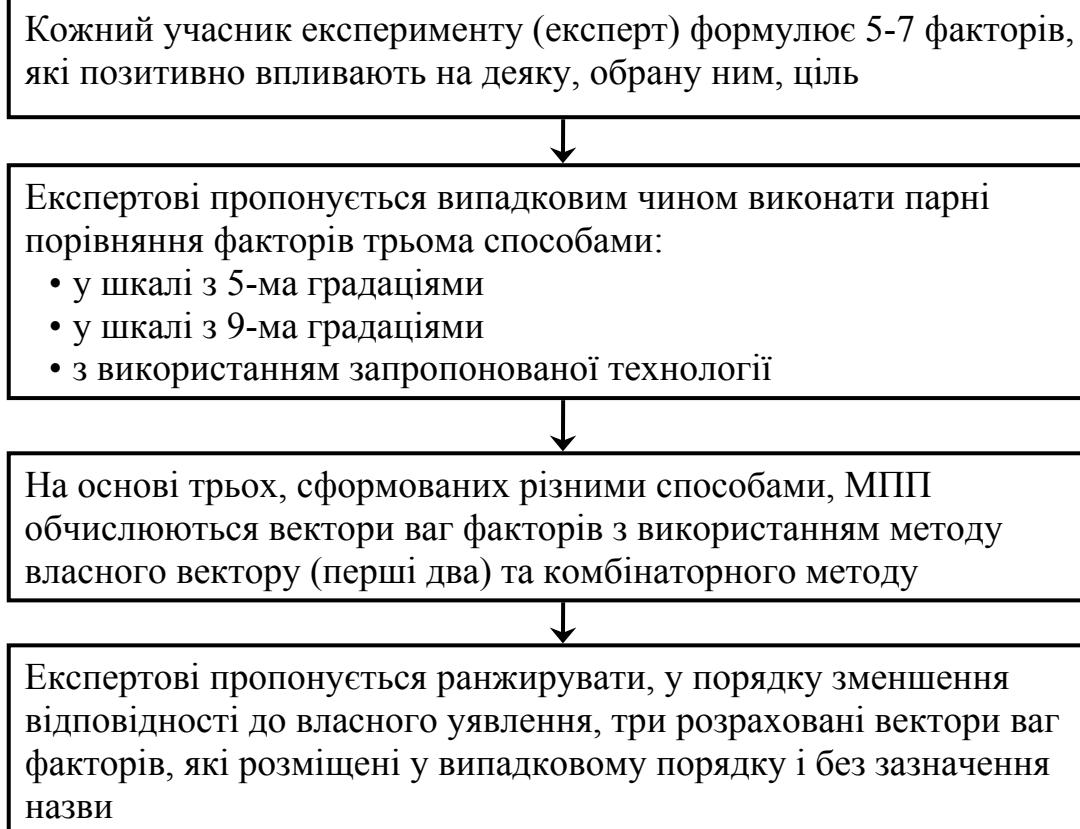


Рис. 3.7 Основні етапи експериментального дослідження

4. Ранжування розрахованих векторів ваг. На цьому етапі експертом проводиться ранжування трьох розрахованих на третьому етапі експерименту векторів ваг факторів у порядку зменшення відповідності до власного уявлення. Вектори у вигляді стовпчикових діаграм виводяться на екран у випадковому порядку і без зазначення назви.

Кількісним показником, що формується у результаті проведення експерименту є ступінь переваги тієї чи іншої технології ЕО (частота вибору її експертом найкращою у ранжуванні серед тих, що тестувались).

3.1.4.3 Особливості та засоби забезпечення чистоти експерименту

На першому із вказаних етапів пропонується, щоб експерт сам вибирав предметну область, в якій він вважає себе достатньо компетентним. Експертам пропону-

ється сформулювати проблему, яка, на його погляд, є найбільш зрозумілою для нього. Надання експертові можливості самостійного вибору предметної області для оцінювання гарантує неупередженість організаторів експертизи (адже предметну область пропонує не організатор експертизи, а сам експерт). Організатор експертизи не нав'язує експертові предметну область, у якій останній може виявитися недостатньо компетентним.

Після формулювання проблеми експерту пропонується сформулювати набір факторів, які її описують. Цей, один і той самий, набір факторів використовується для оцінювання різних технологій ЕО в процесі експерименту – таким чином, забезпечується можливість коректного порівняння результатів, отриманих різними технологіями.

При формулюванні критеріїв (факторів) вимагається, щоб вони найбільш повно описували проблему і, при цьому, були незалежними між собою (по можливості, „не перекривалися” між собою, не мали значного взаємовпливу). Це є необхідною умовою отримання достовірних результатів за допомогою методів обробки МПП.

Передбачається також можливість довільно задавати порядок подання факторів для ЕО: інтуїтивно експерт згадує (і, відповідно, задає) в першу чергу більш важливі, на його думку, фактори – і цей порядок факторів залишається одним і тим самим для усіх методів. Це є також важливим для забезпечення однакової достовірності результатів отриманих на основі обробки парних порівнянь (бо в методі парних порівнянь кількість порівнянь, в яких приймає участь конкретний об'єкт, залежить від порядку об'єктів).

Кількість факторів не має перевищувати 7 ± 2 . Ця умова визначається психофізичними обмеженнями середньостатистичної людини (в т.ч., експерта) [90]. До того ж, саме вона відіграє вирішальну роль при формуванні діапазонів значень та кількості поділок шкал, що використовуються.

Випадковий вибір пари факторів (об'єктів), які пропонуються експертові для порівняння, а також технології їхнього ЕО, *на другому етапі*, дозволяє зменшити кореляцію між оцінками співвідношень, отриманими різними методами для одних і тих самих об'єктів під час одного і того ж сеансу експерименту. Таким чином, ми

отримуємо можливість домогтися взаємної незалежності значень окремих парних порівнянь.

Ранжирування технологій ЕО проводиться „наосліп”, тобто, *на четвертому етапі* експерту пропонується, за стовпчиковими діаграмами, обрати один з трьох векторів ваг факторів. Під жодною з діаграм не вказується тип шкали, у якій задавалися оцінки, що склали основу для побудови вектора ваг. Таким чином, гарантується неупередженість ранжирування технологій ЕО за ступенем відповідності ваг факторів уявленням експерта про проблему.

3.1.4.4 Обробка та аналіз результатів експерименту

Результат кожного експерименту являє собою файл з наступною інформацією:

1. Прізвище, ім'я, по батькові експерта
2. Назва проблеми
3. Перелік факторів
4. МПП факторів, отриманих із застосуванням різних технологій ЕО
5. Час, витрачений експертом на кожне запитання
6. Ранжирування технологій ЕО (векторів ваг критеріїв)
7. Обґрунтування експертом свого ранжирування

У рамках даного експерименту кожен експерт може брати участь кілька разів поспіль при умові формулювання різних проблем.

Одразу після завершенняожної окремої експертизи її результати перевіряються на адекватність, адже подальшу статистичну обробку слід проводити на основі вибірки адекватних ранжирувань технологій ЕО. Перевірка (очищення, відсів) включає два етапи:

1. При аналізі не враховуються (видаляються) результати, які можна розцінювати як „недбалі”. Йдеться про а) результати на отримання яких експертом витрачений занадто малий час (адже експерту потрібно принаймні кілька секунд на те, щоб сформулювати обдуману відповідь чи оцінку); б) МПП, у яких співпадає більшість оцінок; в) файли з результатами, що корегувалися вручну; г) неповністю заповнені

МПП, у яких за наявними елементами не можна відновити решту елементів (для випадку неповних парних порівнянь [129]).

2. Відсіюються вектори ваг факторів, якщо між відповідними елементами МПП, на основі яких вони отримані, виявлені значні протиріччя (суттєва неузгодженість). Наприклад, коли один з трьох отриманих векторів ваг факторів суттєво відрізняється від інших двох, експерт відкине цей вектор, а відтак, і відповідну технологію ЕО, і не може включити його у кінцеве ранжирування. Навіть якщо даний вектор (і відповідна технологія) буде включений експертом у ранжирування як найменш адекватний, усе це ранжирування не нестиме інформації про відповідність отриманих векторів ваг факторів уявленням експерта про проблему.

3.1.4.5 Поетапна процедура виконання експерименту експертом

Для проведення експерименту був програмно реалізований макет робочого місця експерта. Робоче місце призначено для проведення експертиз з оцінки впливів факторів, які характеризують конкретну проблему, на основі парних порівнянь у вищевказаних шкалах.

Поетапна процедура роботи експерта проілюстрована на рис.3.8-3.11.

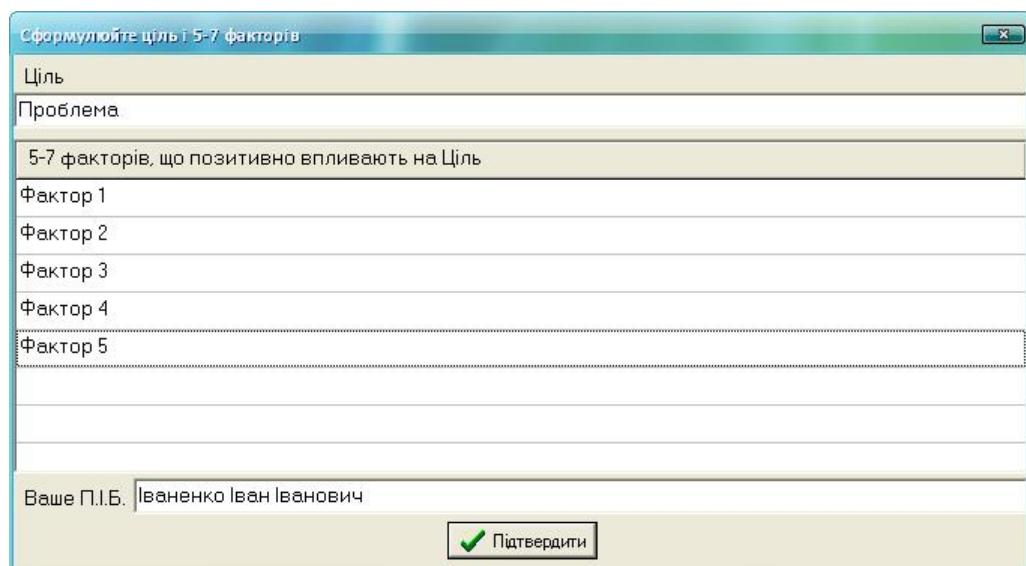


Рис. 3.8 Формулювання цілі (проблеми) та низки факторів

На рис. 3.8 зображено екранну форму для уведення початкових даних для експерименту (див. 1-й етап). На рис. 3.9 показано приклади інтерфейсу виконання парних порівнянь за допомогою різних технологій ЕО. Слід звернути увагу на наявність інтерактивної підказки, зображені на екранній формі знизу рисунка, яка використовується в технології, що тестиється. Ця підказка наглядно демонструє співвідношення між об'єктами, яке визначає експерт під час порівняння.

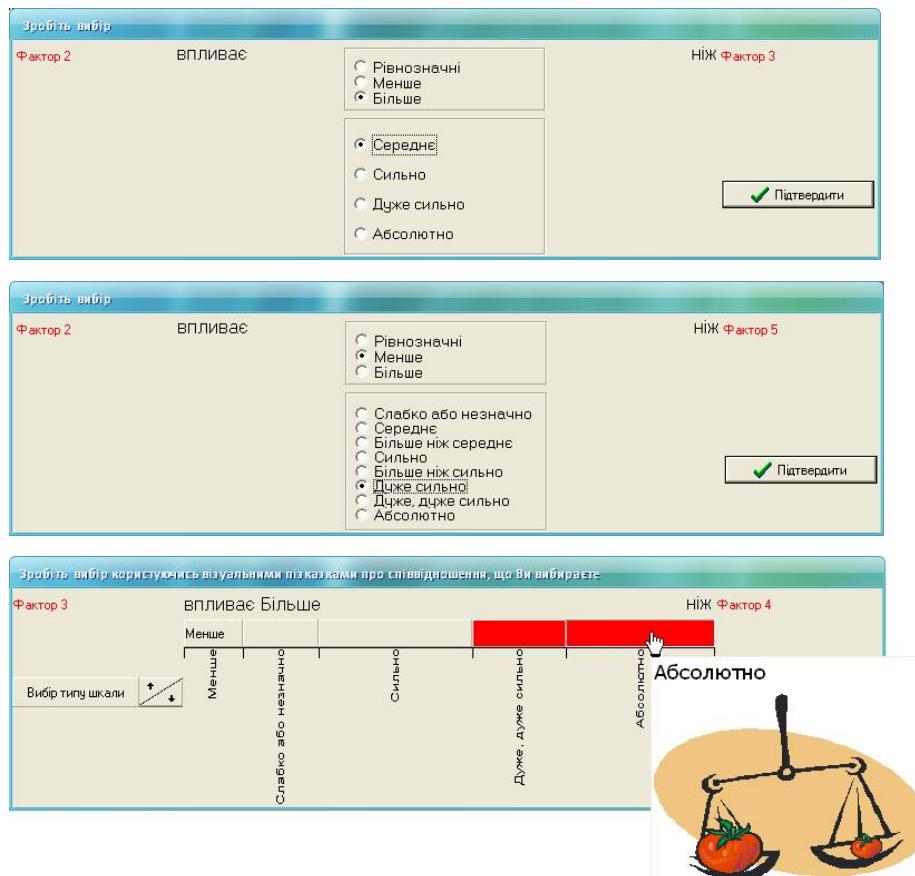


Рис. 3.9 Приклади інтерфейсу користувача для виконання парних порівнянь

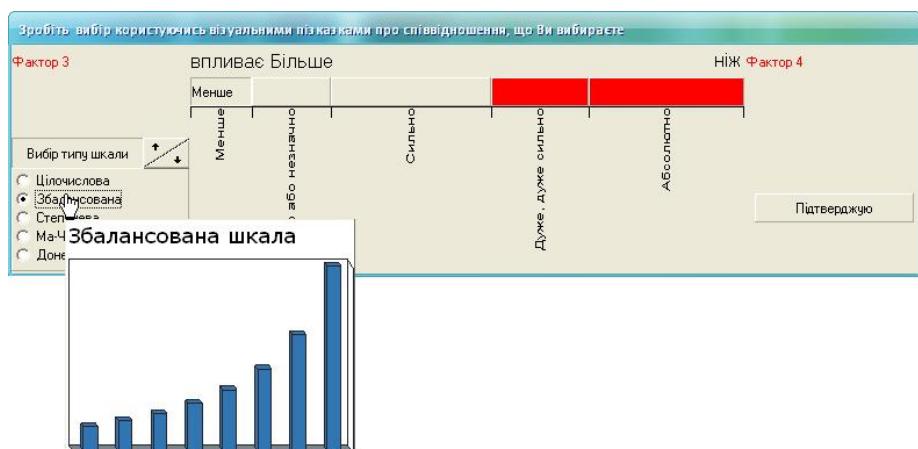


Рис. 3.10 Інтерфейс вибору шкали

У випадку, якщо експерта не влаштовує співвідношення між об'єктами, які відповідають вербальному значенню деякої шкали, йому в рамках запропонованої технології пропонується можливість підібрати найбільш прийнятну для нього шкалу, керуючись підказками як показано на рис. 3.10

На рис. 3.11 зображено екранну форму інтерфейсу для уведення експертом результатуючого ранжирування технологій ЕО з обов'язковим змістовним поясненням свого вибору.

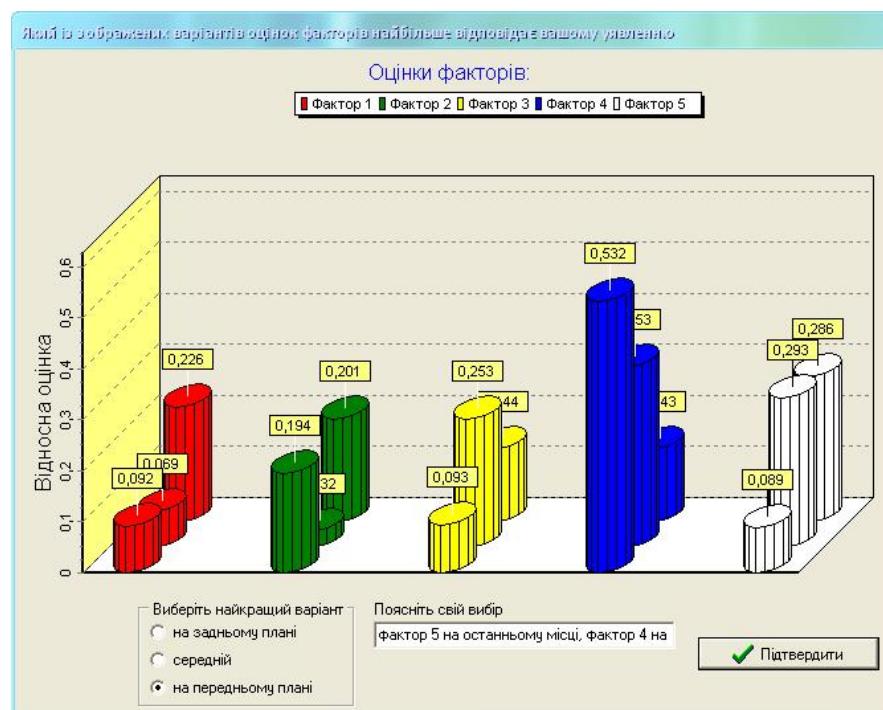


Рис. 3.11 Екранна форма інтерфейсу для уведення результатуючого ранжирування

3.1.4.6 Статистична достовірність результатів експерименту

Розраховано необхідну кількість експериментів для досягнення бажаної статистичної достовірності результатів. Оцінка статистичної достовірності проводилась на основі центральної граничної теореми. При задані значення довірчої ймовірності $P_\beta = 0.9$ (ймовірності попадання шуканої випадкової величини в довірчий інтервал β), та обраного для даного експериментального дослідження довірчого інтервалу $\beta=0.1$, необхідну кількість повторів експерименту обчислено виходячи з нерівності:

$$n \geq \frac{p \cdot (1-p)}{\beta^2} \left(F^{-1}(P_\beta) \right)^2,$$

де F^{-1} – зворотна функція Лапласа; p – частота повтору результату шуканої випадкової характеристики.

Значення p обираємо на основі даних із таблиці попередньо отриманих результатів експерименту (див. наступну табл. 3.7) як найгіршу (найближчу до значення 0.5) ймовірність (частоту). Серед частот визначених на основі 2-ї колонки таблиці: $\{10/63 \approx 0.16; 12/63 \approx 0.19; 41/63 \approx 0.65\}$ найгіршою в цьому сенсі є частота $p = 0.65$, яку й підставляємо в формулу для обчислення.

Після підстановки значень $F^{-1}(0.9) \approx 1.65$ і далі $(F^{-1}(0.9))^2 \approx 2.72$, $n \geq \frac{0.65 \cdot (1 - 0.65)}{0.1^2} 2.72$ і, нарешті $n \geq 61.9$. Отже, для того, щоб зробити достовірні висновки на основі результатів даного експерименту про перевагу тієї чи іншої технології ППР, достатньо зробити не менше 62-х повторів експерименту.

3.1.4.7 Чисельні результати експерименту

У якості експертів в експерименті виступали співробітники Лабораторії Систем підтримки прийняття рішень Інституту проблем реєстрації інформації НАН України та студенти-магістранти Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій МОНМС України. На даний момент у експерименті взяли участь близько 100 респондентів. Після відсіву вибірка склада 63 ранжирування векторів ваг факторів (та відповідних ним технологій ЕО), 2 ранжирування виявились неповними (складаються не з трьох, а із двох векторів). Результати зведені у таблицю 3.7.

Як видно з таблиці, більшість респондентів надала перевагу запропонованій технології ЕО, що ґрунтується на агрегації результатів парних порівнянь, отриманих у різних шкалах [129].

Таблиця 3.7 Результати експерименту

Назва технології ЕО при застосуванні парних порівнянь	Кількість респондентів, які присвоїли даній технології ранг		
	,,1”	,,2”	,,3”
у фундаментальній шкалі переваг з 5 поділок	10	15	37
у фундаментальній шкалі переваг з 9 поділок	12	33	17
запропонована технологія, що тестиється	41	15	7

3.1.4.8 Висновки за результатами експерименту

Отримані результати експерименту дають змогу зробити низку висновків:

- 1) запропонована в [129, 130] технологія ЕО дозволяє проводити експертизи з оцінки факторів впливу у слабко структурованих предметних областях;
- 2) технологія ЕО, яка використовує різні шкали, має суттєві переваги у порівнянні з іншими, широко розповсюдженими, технологіями, з якими проводилось порівняння;
- 3) той факт, що більшість респондентів, які брали участь у експерименті, надали запропонованій технології перевагу, вказує на те, що можливість введення оцінок у різних шкалах дійсно дозволяє підвищити ступінь адекватності результатів експертизи;
- 4) експеримент підтверджує доцільність використання запропонованої технології у наявних та нових системах підтримки прийняття рішень.

3.2 Метод зі зворотним зв’язком з експертами для агрегації групових, неповних експертних оцінок, отриманих у різних шкалах

Для агрегації експертних оцінок отриманих за допомогою технології описаної в попередньому підрозділі, пропонується метод, який враховує різну важливість оцінок.

нок, отриманих у різних шкалах. Припускається, що важливість оцінки пропорційна компетентності експерта в конкретному питанні експертизи та його впевненості у висловленому судженні. Пропонується застосування зворотного зв'язку з експертами для підвищення узгодженості даних ними оцінок.

3.2.1 Задача агрегації індивідуальних експертних оцінок, отриманих у різних шкалах

В слабко структурованих предметних областях, для побудови моделі, яка б найбільш повно відповідала особистим уявленням (знанням) експертів про дану сферу, пропонується розробити технологію ППР, що використовує методи експертного оцінювання, які враховують рівень компетентності в питанні, що розглядається кожного конкретного експерта [122]. Для підвищення достовірності експертної інформації, при ППР передбачається застосування виключно групових експертиз, і, тому, необхідним вбачається процес обробки та узагальнення інформації, отриманої від різних експертів. В [130] викладено обґрунтування необхідності застосування методу парних порівнянь, як методу відносних вимірювань, в експертизах так званих невідчутних (англійською мовою – *intangible*) факторів. Запропоновано оснастити цей метод механізмом, який дозволяє експертам вибирати шкалу експертного оцінювання з кількістю градацій, що адекватно відображає його компетентність в питанні, що розглядається. Отже, оскільки, в загальному випадку, експерти дають свої оцінки в різних шкалах, то постає питання агрегації індивідуальних експертних оцінок у деяку узагальнену групову оцінку.

У науковій літературі, задача обробки ЕО, заданих у різних шкалах розглядалась в контексті визначення метрик, відстаней між наборами параметрів, мір близькості відношень при групуванні об'єктів у галузі кластерного аналізу [131]. Серед мір близькості, що можуть застосовуватись до довільних шкал згадуються міра близькості Журавльова [132], апроксимаційна міра близькості Міркіна [133], міри схожості Вороніна [134]. З ряду причин, про які мова зайде у даному підрозділі нижче, викладені підходи не в повній мірі вирішують задачу агрегації індивідуальних ЕО, заданих в довільних шкалах.

3.2.2 Сутність підходу до вирішення задачі агрегації

Формальна постановка задачі визначення ваг об'єктів у загальному вигляді може бути наступною:

Дано:

- $A_i, i=(1,m)$ – експертні МПП розмірністю $n \times n$, які мають наступні властивості:
 - 1) матриці зворотно-симетричні, тому використовуються елементи, що належать трикутнику, вище головної діагоналі;
 - 2) матриці мультиплікативні, тобто кожен елемент a_{ij} показує у скільки разів об'єкт з індексом i переважає за деяким критерієм об'єкт з індексом j ;
 - 3) у загальному випадку, матриці неповні, оскільки експерт за рядом причин може не виконати (відмовитись виконувати) деяке з парних порівнянь;
 - 4) кожен окремий елемент МПП отримано в деякій шкалі, яка має ваговий коефіцієнт $s_j, j \in [0..8]$
- $c_l, l=(1,m)$ – відносна компетентність експертів у групі.

Знайти:

- результатуючий вектор ваг об'єктів $w_k, k=(1,n)$.

Для вирішення поставленої задачі пропонується метод, у якому задля досягнення достатнього ступеня узгодженості індивідуальних парних порівнянь застосовується зворотний зв'язок з експертами.

Спрощену схему методу зображенено на рис. 3.12. Зупинимось далі на блоках даної схеми більш докладно.

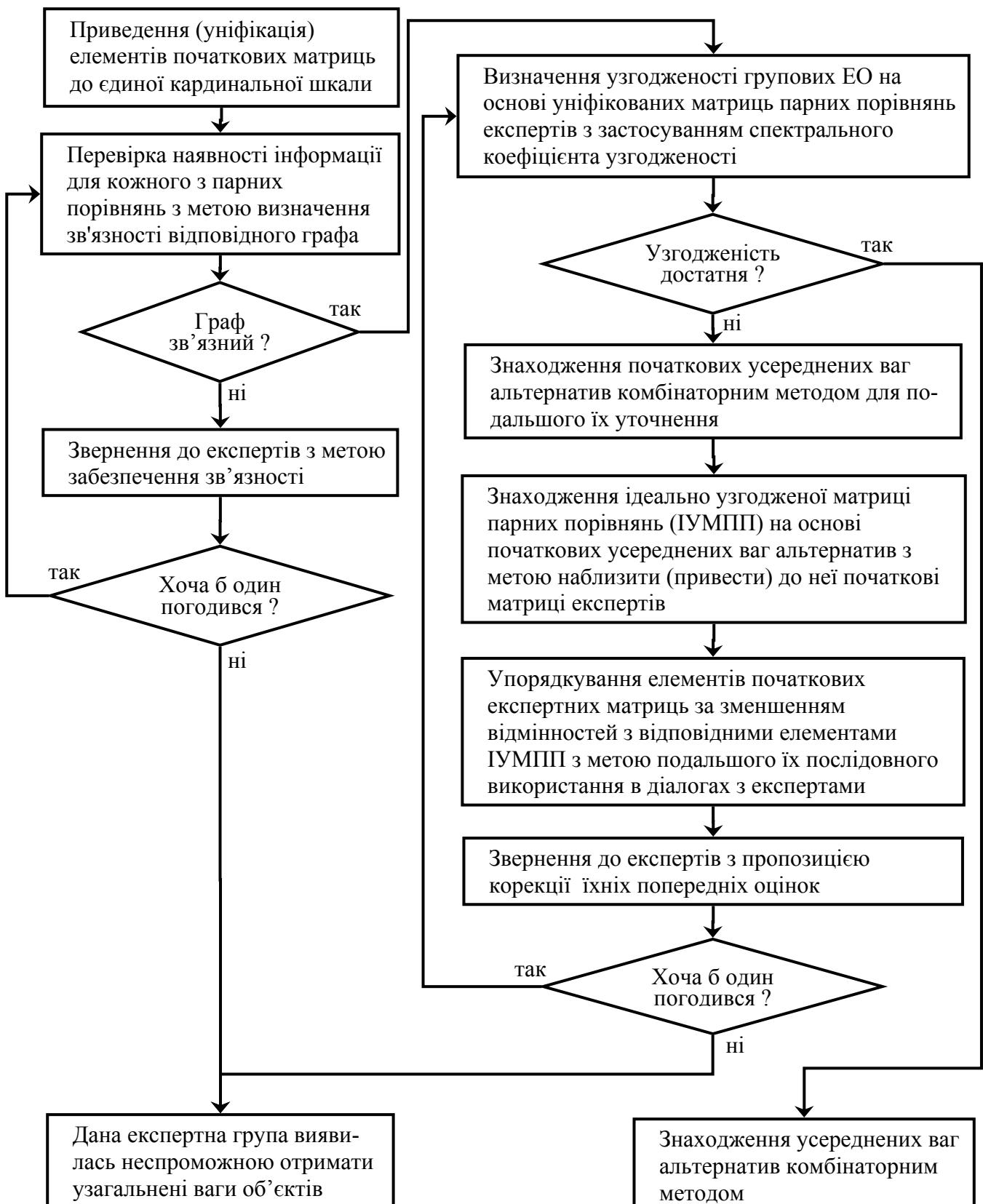


Рис. 3.12 Спрощена схема методу знаходження узагальнених ваг об'єктів зі зворотним зв'язком з експертами

3.2.3 Приведення оцінок до єдиної шкали

Задача агрегації індивідуальних ЕО включає приведення оцінок, заданих в довільних шкалах, до уніфікованого виду. Тобто, на цьому етапі вбачається доцільним приводити оцінки зроблені різними експертами в різних шкалах, до єдиної, найбільш інформативної (деталізованої) шкали. Приведення (перетворення) ЕО до менш інформативних шкал вбачається недоречним, оскільки, в такому разі, можлива втрата інформації, представленої в шкалах з більшою кількістю градацій (в більш інформативних шкалах). Деякі з вищезгаданих метрик, серед яких, наприклад, міра близькості Журавльова, не можуть бути застосовані саме через можливість втрати інформації, що стається при приведенні оцінок до найменш інформативної (номінальної) шкали.

Одним із шляхів вирішення задачі уніфікації оцінок є визначення однозначної відповідності між кожною із усіх градацій менш інформативної шкали та деякою підмножиною градацій більш інформативної, з подальшим приведенням оцінок до єдиної, більш інформативної шкали шляхом вибору відповідних градацій на цій єдиній шкалі. Щоб задати таку однозначну відповідність варто враховувати, що у випадку, якщо градація менш інформативної шкали покриває деякий діапазон градацій більш інформативної шкали (одна градація відповідає діапазону градацій), то при приведенні оцінок доцільно визначати (вибирати) на більш інформативній шкалі деяку градацію, що є рівновіддаленою від границь цього діапазону. У такому випадку буде вибране деяке, найбільш ймовірне значення оцінки експерта.

Якщо розглядати, що усі можливі оцінки, що відповідають деякій градації шкали, як випадкові величини, розподілені за деяким, близьким до нормального, законом розподілу, тоді при уніфікації інформації до більш інформативної шкали, до оцінки потрібно ставити у відповідність математичне сподівання згаданого закону розподілу. Для симетричних законів розподілу, до яких належить і нормальний закон, доцільно взяти середнє арифметичне граничних значень градацій більш інформативної шкали, що лежать в межах градації менш інформативної шкали.

На рис. 3.13 *a*) показано стандартну ціличислову шкалу [78, 79] з 9-ма градаціями (максимальна кількість градацій серед тих, що розглядаються), яким відповідають числові значення від 2 до 9. Виходячи з вищеперелічених міркувань, при парних порівняннях в шкалах, що містять від 2-х до 9-ти градацій переваги однієї з альтернатив над іншою, числове значення, поставлене у відповідність деякій градації шкали з меншою кількістю градацій, обчислюється як середнє арифметичне відповідних значень граничних градацій шкали з більшою кількістю градацій. Оскільки шкали, що розглядаються це шкали відношень, то операція знаходження середнього арифметичного є допустимою для них [108].

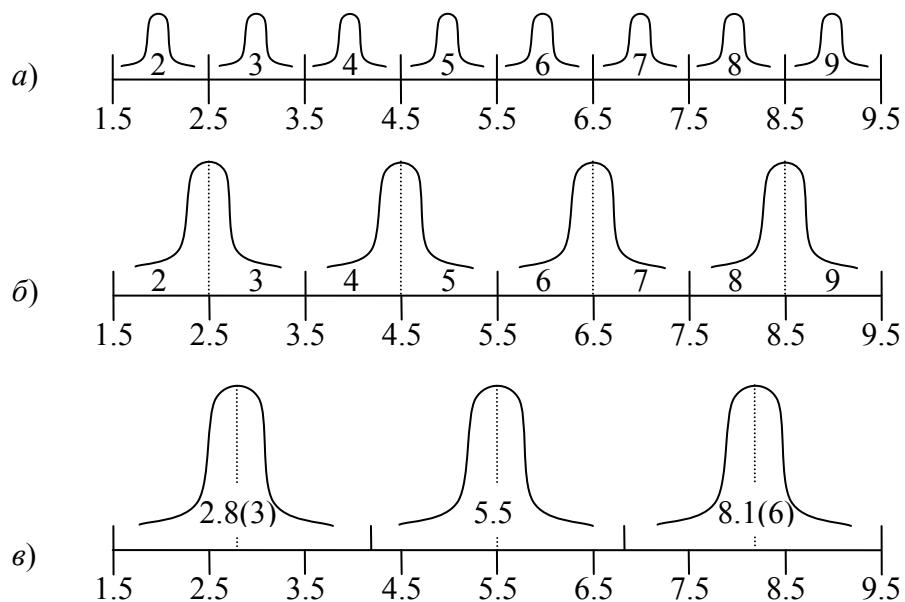


Рис. 3.13 Числові відповідники для градацій шкали із: *a*) 8-ма; *б*) 4-ма; *в*) 3-ма градаціями

Так, наприклад, значення, що відповідає 2-ій зліва градації шкали з 4-ма градаціями дорівнює 3.5 (рис. 3.13 *б*)). Виходячи з того, що в шкалі з максимально допустимою, доцільною з точки зору психофізичних можливостей людини-експерта [78, 130], кількістю градацій рівною 9, кожній градації поставлено у відповідність цілі числа із множини {2..9}, і межам кожної з таких градацій відповідають числа: для 2-ї – ліва границя 1.5, права – 2.5, для 3-ї – ліва 2.5, права 3.5, і т.д. (рис. 3.13 *а*)), то для 2-ї градації шкали з 4-ма градаціями (див. рис. 3.13 *б*)), що

строго відповідає об'єднанню 4-ї і 5-ї градацій шкали з максимальною кількістю градацій, знаходимо середнє значення: $\frac{3.5 + 5.5}{2} = 4.5$, де 3.5 – ліва межа 4-ї градації шкали з максимальною кількістю градацій, а 5.5 – права границя 5-ї градації, що також входить в це об'єднання.

Визначення числових відповідників для 3-х градацій показано на рис. 3.13 в). Формулу для визначення таких величин для довільної кількості градацій у загальному вигляді можна представити наступним чином:

$$M_i^n = l + \left(i - \frac{1}{2}\right) \frac{r - l}{n}, \quad (3.1)$$

де M_i^n – числовий відповідник для i -ої із n наявних градацій шкали; l – ліва границя шкали ($l = 1.5$); r – права границя шкали ($r = 9.5$).

Отже, наприклад, числовий відповідник для крайньої справа (3-ї) градації шкали, яка має загалом 3 градації, обчислюється наступним чином:
 $M_3^3 = 1.5 + \left(3 - \frac{1}{2}\right) \frac{9.5 - 1.5}{3} = 8.1(6)$, що показано на рис. 3.13 в).

Окрім задачі уніфікації ЕО, поданих у різних шкалах, у процесі агрегації важливою задачею є обробка уніфікованих оцінок з метою отримання деякої узагальненої оцінки. Ідея, що покладена в основу обробки уніфікованих оцінок, полягає в призначенні різної ваги оцінкам, які визначені в різних шкалах. Причому, оцінка, яка дана в шкалі з більшою кількістю градацій, повинна мати більшу вагу ніж оцінка, що визначена експертом з використанням шкали з меншою кількістю градацій. Це положення ґрунтуються на тому, що використання шкали з більшою кількістю градацій при оцінюванні, вимагає від експерта більше компетентності в питанні, що розглядається. Фактично, експерт у цьому випадку використовує, так би мовити, більш точний прилад для вимірювання (оцінювання) об'єктів ніж у випадку шкали з меншою кількістю градацій.

Вид залежності між вагою (значущістю) експертних оцінок шкали та кількістю наявних градацій у цій шкалі вимагає додаткових досліджень. Насамперед, все ж можна стверджувати, що ця функція залежності вагового коефіцієнта ЕО, визначе-

ної в деякій шкалі, від кількості наявних градацій цієї шкали, є монотонно зростаючою. Крім того, очевидно, що значимість додавання до шкали однієї додаткової градації поступово зменшується з кількістю наявних градацій в шкалі. Виходячи з цього, ваговий коефіцієнт – показник рівня деталізації (інформативності) шкали пропонується пов’язати з кількістю інформації, яку потенційно можна отримати від експерта протягом деякого окремого одиничного оцінювання за допомогою даної шкали. Фактично, такий числовий коефіцієнт показує на скільки можливо знизити загальну ентропію системи (моделі предметної області), використовуючи при експертному оцінюванні ту, чи іншу шкалу.

Одним із варіантів спрощеного розрахунку такого показника інформативності, коли вважається, що вибір будь-якої з поділок шкали оцінювання є рівномовірним, може бути визначення кількості інформації за формулою Хартлі [135]:

$$I = \log_2 N, \quad (3.2)$$

де N – кількість поділок шкали експертного оцінювання.

Згідно цієї формули, наступні вагові коефіцієнти ставляться у відповідність шкалам, що використовуються: 0 (при $N=1$) – експерт не визначився стосовно переваги жодної з пари альтернатив; 1 (при $N=2$) – експерт обмежився тільки визначенням переваги між альтернативами („більша” або „менша” перевага); $\log_2 3$ – після визначення переваги серед пари альтернатив, експерт визначив ступінь переваги, використовуючи 2 додаткові градації ступенів переваги (наприклад, „слабка” і „сильна” перевага); $\log_2 4 .. \log_2 9$ – після визначення переваги однієї з пари альтернатив над іншою при експертному оцінюванні ступеня переваги використовувалась шкала з відповідною кількістю градацій (від 3-х до 8-ми). Okрім простоти обраної залежності, важливим вбачається ще й поступове зменшення відношення між коефіцієнтами при збільшенні інформативності шкали експертного оцінювання (при збільшенні числа градацій шкали).

Таким чином, оцінкам, що отримані від експерта при парних порівняннях альтернатив, поставлено у відповідність вагові коефіцієнти в залежності від шкали, що була використана експертом для оцінювання.

3.2.4 Перевірка множини експертних оцінок на конструктивність

Необхідною і достатньою умовою можливості визначення вектора ваг об'єктів $w_k \in \mathbb{Z}^m$ є зв'язність графа, який відповідає результуючій МПП, побудованій на основі матриць експертів A_i . У цьому випадку можна говорити про конструктивність множини ЕО для визначення за ними узагальнених ваг об'єктів.

Для визначення зв'язності вищезгаданого графа, поелементно визначимо результуочу матрицю суміжності D^* за МПП експертів A_i :

$$d_{uv}^* = \bigvee_{i=1}^m (a_{uv}^i \neq *), \text{ де } a_{uv}^i = *, \text{ якщо значення парного порівняння не визначено } i\text{-м}$$

експертом. Для перевірки зв'язності графа, утвореного за матрицею суміжності, скористаємося наступним алгоритмом, який відомий як „пошук у ширину”.

Алгоритм пошуку в ширину для визначення зв'язності графа:

- будь-яку одну вершину поміщаємо у чергу;
- поки черга не пуста, повторюємо два наступні кроки:
- забираємо вершину з черги;
- поміщаємо у чергу вершини, суміжні зі взятою вершиною, які ще не були в черзі;
- граф зв'язний, якщо усі вершини побували у черзі.

У випадку, якщо алгоритм виявляє незв'язність графа, передбачається процедура звернення до експертів з метою досягнення конструктивності множини їхніх оцінок. Ця процедура передбачає повторне звернення до ряду експертів з пропозицією дати оцінку, яку було пропущено (прогноровано) на початковому етапі експертизи, тобто експертам пропонується зробити парне порівняння деяких об'єктів.

3.2.5 Визначення узгодженості уніфікованих індивідуальних оцінок

Для визначення узгодженості групових ЕО на основі уніфікованих матриць парних порівнянь експертів пропонується застосувати спектральний коефіцієнт узгодженості [136]. При визначенні узгодженості індивідуальних оцінок з урахуванням

компетентності експертів і неповноти їхніх оцінок, множину V_j оцінок j -го об'єкта будемо задавати зваженим спектром.

Означення 3.1. Зваженим спектром S_{vj} множини V_j експертних оцінок j -го об'єкта, які округлені до поділок шкали з n поділками, називається n -позиційний вектор, на кожній позиції якого записана сума коефіцієнтів відносної компетентності експертів у групі, що оцінили j -й об'єкт, давши йому округлену оцінку, яка відповідає цій поділці.

Для кількісної оцінки ступеня узгодженості спектра S_{vj} будемо використовувати спектральний коефіцієнт узгодженості, що визначається виразом [136]:

$$k(S_{vj}) = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i \left| i - \sum_{i=1}^n i \sigma_i \right| - \sum_{i=1}^n \sigma_i \ln \sigma_i}{G \sum_{i=1}^n |i - (n+1)/2| + \ln n} \right) z, \quad (3.3)$$

де $G = m_j / (\ln m_j n \ln n)$ – масштабний коефіцієнт;

$$z = \begin{cases} 1, & \text{якщо } z^* = \text{true} \\ 0, & \text{якщо } z^* = \text{false} \end{cases}$$

$$z^* = \overline{[i(1)=1]} \vee \overline{[i(n)=1]} \bigvee_{d=1}^{q_j-1} \overline{[\sigma_i(d)=\sigma_i(d+1)]} \bigvee_{d=1}^{q_j-1} \overline{[i(d)-i(d+1)]} = \text{const},$$

де m_j - кількість експертів, що оцінили j -й об'єкт; q_j – кількість груп експертів, що дали однакові оцінки j -ого об'єкта; $i(d)$ – номер поділки шкали, до якої заокруглені оцінки, дані експертами d -ї групи, $d=(1, q_j)$; $\sigma_i(d)$ – сума коефіцієнтів компетентності експертів, оцінки яких заокруглені до поділки з номером $i(d)$; z^* – булева функція, що задає необхідній достатній умові рівності 0 коефіцієнта узгодженості $k(S_{vj})$. Із наведеної формули випливає, що значення коефіцієнта узгодженості знаходяться у межах $[0,1]$, причому, повністю узгоджених множин ЕО відповідає значення 1, а найменш узгоджених – 0.

Для визначення достатності ступеня узгодженості спектра S_{vj} використовуються значення порогу виявлення T_{oj} і порогу застосування T_{uj} [137].

Означення 3.2. Порогом виявлення T_{oj} називається коефіцієнт узгодженості множини ЕО, даних m_j експертами, що містить мінімальну кількість інформації, яку може бути зареєстровано (виявлено).

Поріг виявлення визначається виразом [137]: $T_{oj}=k(S_{oj})$, де S_{oj} являє собою зважений спектр, у якому $m_j = n$; $\sigma_1 = 0$; $\sigma_g = 2/n$; $\sigma_{y \neq g \neq 0} = 1/n$; $g =]n/2+1[$.

Означення 3.3. Порогом застосування T_{uj} називається коефіцієнт узгодженості множини ЕО, що забезпечує обчислення узагальненої ЕО із припустимою точністю.

Поріг застосування T_u дорівнює коефіцієнту узгодженості $k(S_{uj})$ зваженого спектра S_{uj} , у якому $m_j = 2$, $\sigma_i = \sigma_{i+1} = 1/2$; $\sigma_{h \neq i} = 0$; $\sigma_{h \neq (i+1)} = 0$ [137].

Зважений спектр S_{vj} множини V_j ЕО вважається достатньо узгодженим для отримання узагальнених оцінок ваг об'єктів, якщо його коефіцієнт узгодженості перевищує деякий поріг застосування.

З метою підвищення достовірності визначення узгодженості при груповій експертизі, особливо у випадках неповних парних порівнянь, коли кількість складових у відповідних спектрах альтернатив може значно скорочуватись, запропоновано удосконалення методу визначення узгодженості [138]. Це удосконалення передбачає визначення складових, що входять до спектра деякої узагальненої оцінки не лише за рядками або стовпцями МПП (як пропонується у [73]), а за усіма можливими інформаційно-вагомими множинами елементів таких матриць. Фактично пропонується складові кожного спектра будувати за кожним покривним деревом графа, поставленого у відповідність МПП.

Загальна кількість таких покривних дерев у повному графі, що відповідає повній МПП, за теоремою Кейлі [96], дорівнює n^{n-2} , у загальному ж випадку – неповних парних порівнянь (не повного графа), кількість покривних дерев можна визначити скориставшись Матричною теоремою Кірхгофа про дерево [139]. Побудувати покривне дерево можна за допомогою будь-якого з алгоритмів обходу графа, наприклад, пошук у глибину або пошук у ширину. Доведено, що кількість дуг у кожному такому покривному дереві рівна ($n-1$).

Достовірність, а разом з тим і точність визначення коефіцієнта узгодженості при застосуванні даного підходу у порівнянні з традиційним підвищуються за раху-

нок збільшення кількості інформації, що обробляється при обчисленні цього показника.

Далі запропоновано характерний приклад, що демонструє обчислення коефіцієнта узгодженості удосконаленим методом та порівняння результатів з обчисленними традиційно.

Нехай таблиця 3.8 містить обернено симетричну МПП A чотирьох альтернатив, отриману в результаті мультиплікативних порівнянь виконаних деяким експертом. Завдяки властивості оберненої симетричності ($a_{ij} = 1/a_{ji}$) будемо брати до уваги лише елементи, що розміщені вище головної діагоналі МПП.

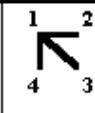
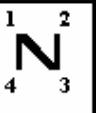
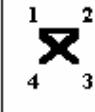
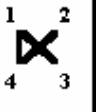
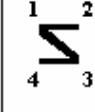
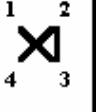
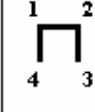
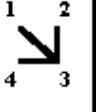
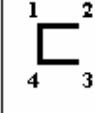
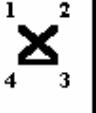
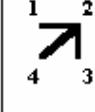
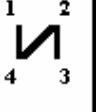
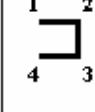
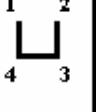
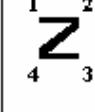
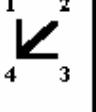
Таблиця 3.8 Вихідна МПП A

	1	2	3	4
1	1	1/2	1/3	1/4
2	2	1	2/3	3
3	3	1 1/2	1	5
4	4	1/3	1/5	1

Кількість поділок шкали виберемо рівним десяти ($n=10$). Оскільки МПП A – повністю заповнена, то згідно з теоремою Кейлі визначаємо загальну кількість варіантів покривних дерев, що можуть бути сформовані за повним неоріентованим графом з 4-ма вершинами: $4^{(4-2)}=16$ (див. табл. 3.9). Кожному дереву ставиться у відповідність ідеально узгоджена МПП, побудована на базі трьох ($4-1=3$), так званих інформаційно-вагомих елементів матриці A , які відповідають дугам із покривного дерева.

До речі, в загальному вигляді, побудовані таким чином ідеально-узгоджені матриці можуть повторюватись, а при повній узгодженості вихідної МПП A навіть усі співпадають. Заожною такою МПП із 16-ти, що в табл. 3.9, знаходяться ваги альтернатив і заокруглені їх значення вважаються компонентами спектра. Оскільки шкала, з 10-ма поділками починається з «1», то заокруглення компонентів ваг проводиться до найближчої більшої поділки шкали. Усі, визначені описаним способом значення зведені в табл. 3.10, на рис. 3.14 показано спектри, що відповідають цим значенням.

Таблиця 3.9 ГУМПП, сформовані за відповідними покривними деревами

№ МПП	Ідеально узгоджені МПП				Вигляд дерева	№ МПП	Ідеально узгоджені МПП				Вигляд дерева
1	1	1/2	1/3	1/4		9	1	1/2	1/3	1/4	
2	1	1/2	1/3	1 1/2		10	1	1/12	1/3	1/4	
3	1	1/2	1/3	1 2/3		11	1	1/2	1/3	1 1/2	
4	1	1/2	1/3	1/4		12	1	1/2	1/3	1 2/3	
5	1	1/2	1/20	1/4		13	1	5/9	1/3	1 2/3	
6	1	1/2	1/3	1 1/2		14	1	1/12	1/18	1/4	
7	1	1/2	1/3	1 2/3		15	1	3/40	1/20	1/4	
8	1	1/2	2/7	1 1/2		16	1	1/12	1/20	1/4	

 - значення із матриці A

За формулою (3.3) визначаються коефіцієнти узгодженості, що відповідають кожному із спектрів, а рівно і кожній із альтернатив: $K_1=0,7919$; $K_2=0,8272$; $K_3=0,7871$; $K_4=0,8085$. Найменший із показників узгодженості альтернатив вважається значенням показника узгодженості усієї МПП ($K_A=0,7871$).

Пороги виявлення T_o та застосування T_u для обраної шкали з 10-ма поділками визначаються як коефіцієнти узгодженості за формулою (3.3) для двох відповідних спектрів, зображеніх на рис. 3.15. Обчислені значення порогів наступні: $T_o=0,4067$ та $T_u=0,7805$.

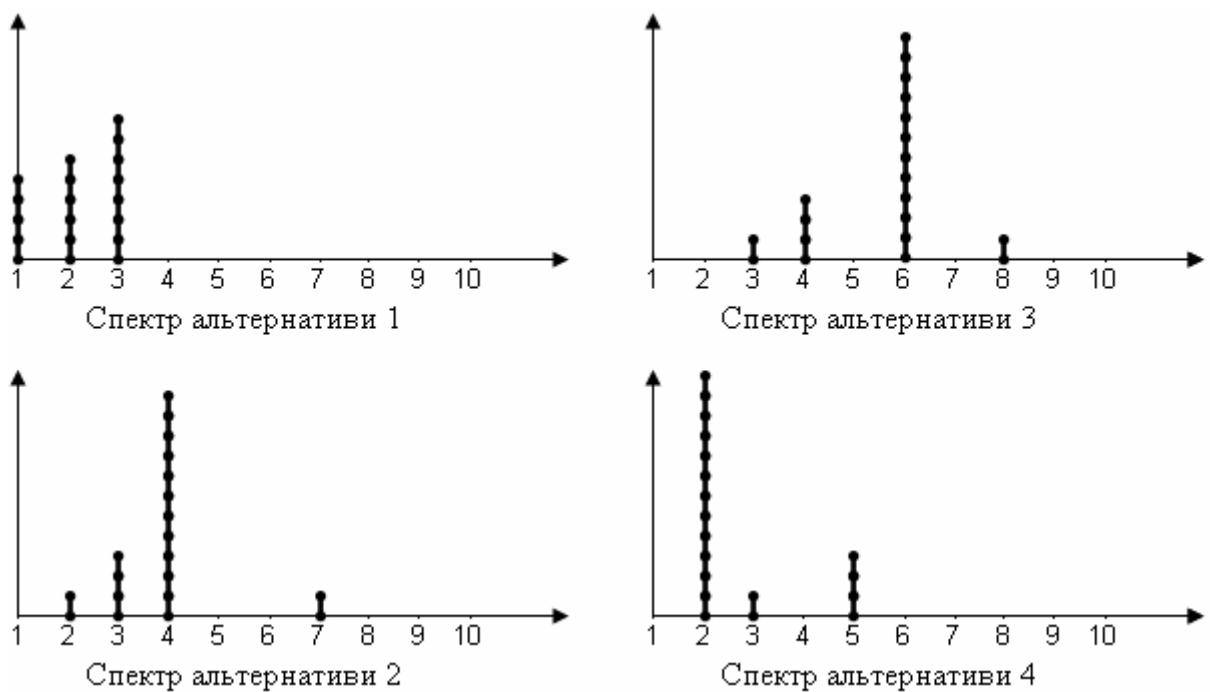


Рис. 3.14 Спектри ваг альтернатив при застосуванні комбінаторного підходу

Оскільки у даному прикладі $K_A > T_u$, то узгодженість МПП A вважаємо достатньою для агрегації експертних оцінок, тобто достатньою, щоб за даною матрицею визначити усереднені ваги альтернатив.

Для порівняння, визначимо показник узгодженості цієї самої вихідної МПП A традиційним способом, коли до спектрів альтернатив входять складові, визначені лише, наприклад, за рядками МПП. У такому випадку, до уваги буде братись інформація про наступні ідеально узгоджені матриці (див. табл. 3.9-3.10): 1 – відповідає першому рядку МПП A ; 6 – відповідає другому рядку із A ; 12 – третьому та 16 – четвертому рядку. Спектри ваг альтернатив при застосуванні традиційного підходу зображені на рис. 3.16, і у порівнянні зі спектрами зображеними на рис. 3.14, мають у своєму складі лише по 4 складові, що відповідає кількості альтернатив, що попарно порівнюються.

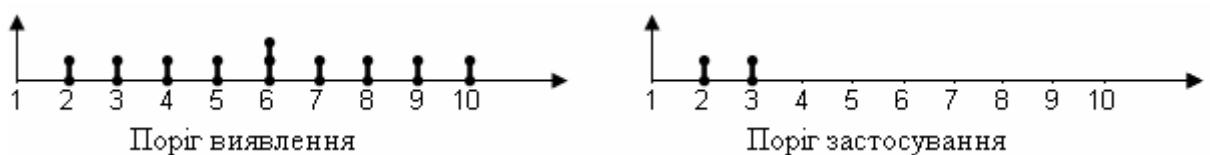


Рис. 3.15 Спектри для визначення порогів виявлення та застосування

Таблиця 3.10 Значення складових ваг альтернатив визначених за відповідними ідеально узгодженими МПП (точні та заокруглені до найближчої поділки шкали)

№ Ідеально узгодженої МПП	Значення складової ваги							
	альтернативи 1		альтернативи 2		альтернативи 3		альтернативи 4	
	Точне	Заокруглене	Точне	Заокруглене	Точне	Заокруглене	Точне	Заокруглене
1	0,1	2	0,2	3	0,3	4	0,4	5
2	0,15	3	0,3	4	0,45	6	0,1	2
3	0,151515	3	0,30303	4	0,454545	6	0,090909	2
4	0,1	2	0,2	3	0,3	4	0,4	5
5	0,037037	1	0,074074	2	0,740741	8	0,148148	2
6	0,15	3	0,3	4	0,45	6	0,1	2
7	0,151515	3	0,30303	4	0,454545	6	0,090909	2
8	0,142857	2	0,285714	4	0,47619	6	0,095238	2
9	0,1	2	0,2	3	0,3	4	0,4	5
10	0,05	2	0,6	7	0,15	3	0,2	3
11	0,15	3	0,3	4	0,45	6	0,1	2
12	0,151515	3	0,30303	4	0,454545	6	0,090909	2
13	0,15625	3	0,28125	4	0,46875	6	0,09375	2
14	0,028571	1	0,342857	4	0,514286	6	0,114286	2
15	0,026087	1	0,347826	4	0,521739	6	0,104348	2
16	0,027027	1	0,324324	4	0,540541	6	0,108108	2



Рис. 3.16 Спектри ваг альтернатив при застосуванні традиційного підходу

Визначені за формулою (3.3) коефіцієнти узгодженості наступні: $K_1=0,6707$; $K_2=0,8275$; $K_3=0,7586$; $K_4=0,6896$ і значення найменшого з них – це значення пока-

зника узгодженості усієї МПП ($K_A' = 0,6707$). У цьому випадку, як бачимо, $K_A' < T_u$, тому, для можливості подальшої агрегації експертних оцінок із матриці, потрібно підвищити узгодженість, а для цього потрібно отримати згоду в експерта, що виконував парні порівняння альтернатив, про зміну деяких із своїх оцінок. Тобто, результати визначення узгодженості, отримані традиційним способом, у даному характерному прикладі, потребують запровадження зворотного зв'язку з експертом, що призводить до додаткових витрат експертних ресурсів.

3.2.6 Підвищення узгодженості з допомогою зворотного зв'язку з експертами

При розробці методу агрегації розглянуто наступні шляхи підвищення узгодженості індивідуальних ЕО при груповому оцінюванні в різних шкалах методом парних порівнянь. 1-й шлях – узгодження спочатку кожної індивідуальної експертної матриці, знаходження ваг альтернатив по кожній матриці, а вже потім – агрегація та узгодження цих ваг, знайдених на основі індивідуальних ЕО. 2-й шлях – поелементне узгодження індивідуальних експертних матриць, поелементна агрегація матриць з отриманням у результаті, у загальному вигляді, неповної матриці парних порівнянь. Подальше узгодження виконується вже при одночасному зверненні до групи експертів. Ці два шляхи не зовсім задовольняють, оскільки вони є двоетапними і після першого етапу узгодження вимагають повернення до цього процесу на другому етапі. Причому, на другому етапі узгодження не завжди гарантується збереження рівня узгодження, досягнутого на першому етапі.

У зв'язку з цим пропонується інший (3-й) шлях – проводити узгодження відразу усіх індивідуальних експертних матриць загалом. Цей шлях, з точки зору автора, є найперспективнішим, оскільки не викликає проблем, пов'язаних з порушенням монотонності процесу підвищення узгодженості індивідуальних оцінок експертів, і тим самим, гарантує збіжність методу. Цей підхід передбачає на кожному кроці ітераційного процесу знаходження усередненої ідеально узгодженої МПП (ІУМПП), до якої прагнуть наблизити індивідуальні МПП експертів.

Елементи такої ІУМПП можна обчислити на основі усереднених ваг альтерна-

тив ($a_{ij} = w_i/w_j$), які, у свою чергу, знаходяться одним із методів агрегації групових експертних парних порівнянь. Вибір такого методу агрегації проводиться виходячи з наступних вимог, які випливають із особливостей загального підходу :

- можливість агрегації групових ЕО;
- можливість ураховувати компетентність експертів;
- можливість обробляти неповні МПП.

У повній мірі цим вимогам задовольняє комбінаторний метод агрегації [92], який характеризується високою ефективністю агрегації [140], є універсальним для повних і неповних МПП та може застосовуватись як в індивідуальних, так і в групових експертизах. Даний метод відноситься до цілого сімейства однайменних методів агрегації [101, 141], сутність яких полягає в переборі покривних (остовних, кістякових) дерев графа, утвореного на основі експертної МПП. Кожне покривне дерево відповідає деякій ІУМПП і має у своєму складі $n-1$ зв'язуючих ребер при кількості вершин (об'єктів експертизи) рівному n . Агрегація ЕО здійснюється за рахунок усереднення інформації отриманої на основі ІУМПП, що підлягають перебору. Інформація про всю множину ІУМПП, або про частину ІУМПП із цієї множини, використовується при отриманні агрегованих оцінок в залежності від різновиду методу із сімейства комбінаторних.

Сам процес зворотного зв'язку полягає у зверненні до експертів з пропозицією зміни їхніх попередніх парних порівнянь. Процес виконує функцію підвищення узгодженості цих, даних експертами, порівнянь до обґрутовано необхідного рівня. Умовою початку цього процесу є недостатній рівень узгодженості індивідуальних ЕО, який характеризується значенням спектрального коефіцієнта узгодженості меншим порогу застосування. Умова завершення процесу зворотного зв'язку – це або досягнення коефіцієнтом узгодженості рівня порогу застосування, або, у разі численних відмов експертів, доходження висновку про неможливість отримання достовірних узагальнених оцінок у складі даної експертної групи.

Після знаходження ІУМПП, на наступному кроці пропонується упорядкувати елементи початкових експертних матриць за зменшенням відмінностей з відповідними елементами знайденої ІУМПП. Таке упорядкування пропонується виконати з

метою подальшого використання цих елементів у такій послідовності у діалогах з експертами, коли дається пропозиція зміни даних елементів у бік наближення до відповідних елементів ІУМПП. Тобто, у першу чергу пропонується змінювати елементи індивідуальних МПП експертів, що найбільш віддалені від відповідних елементів знайденої ІУМПП, яка є певним усередненням МПП експертів. Завдяки незначному кроку зміни елементів МПП, який пропонуються експертам для підвищення узгодженості, стає можливою збіжність запропонованого алгоритму зворотного зв'язку.

3.3 Висновки за розділом 3

Запропоновано технологію отримання експертної інформації при ППР, яка базується на використанні методу парних порівнянь, і дозволяє підвищити ефективність отримання інформації від експертів. Метод, на якому основана технологія, дозволяє підвищити відповідність наданої експертом інформації до його особистих уявлень про предмет експертизи. Таке підвищення ефективності стало можливим за рахунок надання експертові програмно-інтерфейсних інструментів для вибору шкали оцінювання, яка найкращим чином відповідає його компетентності в конкретному питанні експертизи.

Запропонований метод агрегації індивідуальних ЕО, заданих у вигляді мультиплікативних, зворотно-симетричних, неповних МПП, елементи яких являють собою переваги одного об'єкта з пари над іншим у деякій, обраній дляожної пари, шкалі оцінювання, дозволяє отримати узагальнені оцінки ваг об'єктів. Метод включає ряд підходів до отримання агрегованих групових оцінок, у тому числі удосконалення визначення показника узгодженості та зворотний зв'язок з експертами задля підвищення рівня узгодженості їхніх оцінок.

Метод призначається для організації групової експертизи в СППР, які надають кожному конкретному експертові можливість виконувати оцінювання (порівняння об'єктів) у шкалі, що за своєю докладністю адекватно відповідає рівню його компетентності у питанні, що розглядається.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Як було зазначено у розділі 1, у процесі ППР в слабко структурованих предметних областях із застосуванням відповідних програмних засобів існує невідворотна необхідність у залученні груп експертів для проведення експертиз. У сучасних умовах, при широкому розповсюджені мережі INTERNET, очевидним технічним рішенням для проведення групових експертиз стало використання саме глобальних мереж. У зв'язку з цим, постала нагальна необхідність дослідити поведінку відомих раніше та розроблених автором групових методів оцінювання при умові територіально розподіленої роботи експертів. Досліджувані методи знайшли широке застосування в запропонованій технології ППР. Опису цього дослідження приділено увагу у першому підрозділі.

Крім того, слід зазначити, що розробка нової технології ППР вимагає значної кількості перевірок гіпотез, більшість з яких можливо перевірити лише експериментальним шляхом. Причому, залучення експертів до такого плану робіт має сенс лише у випадках, коли роботу експертів неможливо зmodелювати. Тому, другу частину даного розділу присвячено імітаційному моделюванню ЕО та деяким практичним питанням створення технології, відповіді на які отримуються застосовуючи таке моделювання.

4.1 Дослідження методів групового оцінювання при розподіленій роботі експертів в мережі Internet

В даному підрозділі викладено методику й результати порівняльного експериментального дослідження методів групового оцінювання об'єктів бази знань СППР експертами, які взаємодіють за допомогою Internet, та експертами, що працюють за межею. Визначено значення наявних похибок при оцінюванні, показників узгодженості оцінок та часових витрат на проведення експертизи.

4.1.1 Необхідність проведення експериментального дослідження

Загальноприйнята технологія створення СППР для конкретних додатків полягає у використанні стандартних програмних оболонок і зануренні в них БЗ про конкретну область застосування СППР. Бази знань багатокритеріальних СППР містять ієрархії формулювань альтернатив, критеріїв та значення їхньої відносної важливості [53]. Використання СППР, в яких застосовується цільове оцінювання альтернатив [73, 142, 143] вимагає внесення до БЗ інформації про формулювання, типи й зв'язки цілей, їхні часткові коефіцієнти впливу та про ряд абсолютних величин, що характеризують параметри елементів ієрархії цілей. Ця інформація вноситься до БЗ експертами, причому, для підвищення достовірності їхніх оцінок, використовуються методи групового експертного оцінювання з урахуванням компетентності експертів [73, 91, 144-146]. Такого плану експертизи можуть проводитися в умовах, коли група експертів територіально розподілена, а її члени спілкуються за допомогою Internet. При цьому експерти одночасно працюють на окремих робочих місцях, вони можуть не знати один одного особисто, можуть навіть не мати єдиної для всіх мови спілкування, а функції координації роботи експертів беруть на себе адміністратор (організатор експертизи) і серверне програмне забезпечення.

Існує ряд особливостей використання такої технології експертного оцінювання, що відрізняють її від технології, при використанні якої експерти можуть безпосередньо вільно спілкуватися між собою, узгоджувати свою позицію й послідовно, один за іншим, уводити інформацію про свої оцінки.

Зважаючи на те, що на теперішній час розроблено більше двох десятків методів експертного оцінювання [73], та з метою обґрунтованого вибору методу для конкретного застосування доцільно використовувати підхід [147], заснований на багатокритеріальному оцінюванні методів експертного оцінювання, який враховує такі показники, як похибки оцінювання, узгодженість результатів, необхідний для одержання оцінок час, психологічну привабливість методів і т.п. та переваги організатора експертизи. Ці показники можуть бути визначені лише шляхом експерименту, з забезпеченням статистичної спроможності результатів.

Методика й результати експериментального дослідження індивідуальних методів експертного оцінювання наведені в [93, 148]. При впровадженні технології групового експертного оцінювання, яка передбачає, що робочі місця експертів рознесені територіально, виникла нагальна потреба в проведенні нового експериментального дослідження [211], яке б дало відповідь на ряд питань: як і наскільки зміниться вище перераховані показники групових методів експертного оцінювання при реалізації їх в мережі Internet у порівнянні з показниками звичайних (немережевих) групових методів; чи варто надавати експертові для перегляду оцінки, дані іншими експертами, і як це може вплинути на показники методів; чи варто надавати групі інформацію про те, хто з експертів персонально бере участь у груповому експертному оцінюванні.

4.1.2 Програмна система для проведення дослідження

Для того, щоб одержати відповіді на вищезгадані й, можливо, деякі інші питання, було розроблено систему підтримки побудови БЗ, що реалізує усі раніше запропоновані методи групового експертного оцінювання і підтримує методику проведення експериментального дослідження. Систему для проведення дослідження створено на основі веб-сервера, програмне забезпечення якого реалізовано спеціалізованою для розробки в мережі Internet мовою програмування «PhP» з використанням сервера баз даних «MySQL».

При проектуванні системи насамперед ставилися задачі забезпечення зручності її застосування в процесі роботи як експертів, так і адміністратора. Серед найбільш значимих особливостей умов роботи експертів слід зазначити повну ізольованість експертів один від одного й незалежність їхніх індивідуальних графіків терміну підключення до роботи. Це дозволяє експертам працювати одночасно, не очікуючи завершення роботи інших членів групи, що, безсумнівно, підвищує ефективність, а також нейтралізує психологічну напруженість у ході роботи. Разом з тим, це викликає складнощі в ході вирішення задач при наявних часових обмеженнях. У цьому випа-

дку потрібні своєчасність сповіщення експертів і відслідковування за безперервністю процесу.

Реалізація цих особливостей забезпечується відповідними технологіями інтерактивної підтримки двостороннього зв'язку між адміністратором і експертами й, у випадку потреби, призупинення конкретного етапу розв'язання задачі або зміни умов проведення процесу. Великий акцент робиться на забезпеченні максимально зручного й інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу для експертів і адміністратора, а також автоматизації багатьох етапів процесу експертного оцінювання, щоб виключити зайві часові затримки й вплив людського фактору на можливі похиби оцінювання. Автоматизація забезпечує усунення необхідності будь-яких «ручних» математичних підрахунків, які перекладаються на роботу системи. Однак повністю перекласти керування процесом експертизи на систему недоцільно. Тому, для стабільної роботи, необхідна своєчасна корекція даних і поетапне безпосереднє залучення до роботи адміністратора – організатора експертизи.

4.1.3 Хід експериментального дослідження

Метою проведення експериментального дослідження групового оцінювання зі зворотним зв'язком з експертами є урахуванням їхньої компетентності є визначення впливу умов роботи в Internet на результати експертизи. Методика проведення цього дослідження полягає у наступному.

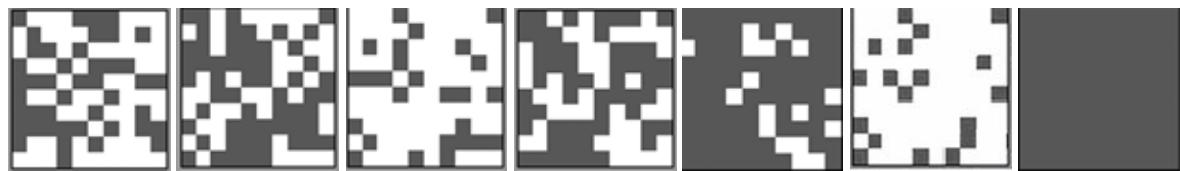
Використовуючи розроблену систему підтримки побудови БЗ, визначаються показники відносної вагомості альтернатив (відносного ступеня заповнювання квадратів), застосовуючи групові методи зі зворотним зв'язком з експертом [91, 148]:

- 1) метод безпосереднього оцінювання;
- 2) метод «лінія» мультиплікативних парних порівнянь із вираженням дискретних значень ваг у фундаментальній шкалі, верbalним уведенням даних, попереднім упорядкуванням;

3) метод «трикутник» мультиплікативних парних порівнянь із вираженням дискретних значень ваг у фундаментальній шкалі, вербальним уведенням даних, попереднім упорядкуванням і послідовним методом обробки;

4) метод «квадрат» мультиплікативних парних порівнянь із вираженням дискретних значень переваг у фундаментальній шкалі, вербальним уведенням даних і паралельним методом обробки.

В якості моделей альтернатив приймається набір графічних фігур, різного, але відомого системі, ступеня заповнення елементарними квадратами (Рис. 4.1). Обґрунтування вибору об'єкту такого типу для експертного оцінювання було запропоновано в [93].



Абсолютна вага $W_i = 0,44$	Абсолютна вага $W_i = 0,57$	Абсолютна вага $W_i = 0,26$	Абсолютна вага $W_i = 0,57$	Абсолютна вага $W_i = 0,83$	Абсолютна вага $W_i = 0,19$	Абсолютна вага $W_i = 1,00$
Відносна вага $\sigma_i = 0,11$	Відносна вага $\sigma_i = 0,15$	Відносна вага $\sigma_i = 0,07$	Відносна вага $\sigma_i = 0,15$	Відносна вага $\sigma_i = 0,22$	Відносна вага $\sigma_i = 0,05$	Відносна вага $\sigma_i = 0,25$

Рис. 4.1 Набір фігур, прийнятий у якості моделей альтернатив

Кількість фігур для проведення експерименту обрано рівною 7. Це обґрунтовується фактом, що людина-експерт за своїми психофізіологічними обмеженнями може коректно оцінити не більше, як 7 ± 2 об'єкти одночасно [149].

В якості експертів призначалася група студентів з рівними коефіцієнтами компетентності й адміністратор, в обов'язок якого входило керування процесом обробки даних і дій експертів на кожному кроці.

Експерти розподілялися по ізольованих робочих місцях. Варто зауважити, що задля вивчення значення живого спілкування між експертами під час експертизи, при проведенні експерименту в мережі Internet були створені умови, при яких інформація про учасників експертної групи та дані ними оцінки залишалася закритою для учасників.

Під віддаленим керівництвом адміністратора (організатора експертизи / ОПР) бригада експертів, використовуючи групові методи експертного оцінювання («безпосереднє оцінювання», «лінія», «трикутник», «квадрат»), незалежно один від одного оцінювали ступені заповнення фігур, використовуючи спеціальну підсистему уведення даних (рис. 4.2).

Первая подцель	Вторая подцель	Степень превосходства влияния первой подцели на главную цель над влиянием второй(во сколько раз)	Отказываюсь давать оценку (галочка)
		1	<input type="checkbox"/>
		0.7	<input type="checkbox"/>
		2	<input type="checkbox"/>
		0.8	<input type="checkbox"/>

Рис. 4.2 Екранна форма підсистеми уведення даних

Алгоритми одержання й обробки експертної інформації цими методами описані в [73, 91, 144-146]. Коротко їхня сутність полягає в наступному. При використанні мультиплікативних методів експертові пропонувалося дати відповідь на питання: «У скільки разів, на Вашу думку, ступінь заповнення первого квадрата перевершує ступінь заповнення другого?» щодо кожної із запропонованих йому, відповідно до алгоритму оцінювання, пар квадратів (альтернатив).

Після цього, результати визначення ненормованих ваг альтернатив, виконаних членами бригади, об'єднувалися в єдиний масив. Для кожного методу, використовуючи об'єднаний масив результатів, будувалися спектри ваг кожної з альтернатив. Обчислювалися коефіцієнти узгодженості спектрів ваг альтернатив, граничні значення коефіцієнта узгодженості їх робився висновок щодо достатності рівня узго-

дженості результатів по кожному методу й кожній альтернативі [137]. У випадку недостатнього значення коефіцієнта узгодженості експертних оцінок ваги деякої альтернативи для всіх експертів обчислювалася величина

$$\delta_j = |v_j - v_0| / c_j,$$

де v_j – оцінка, дана j -м експертом; v_0 – середнє арифметичне множини експертних оцінок ваги альтернативи; c_j – коефіцієнт відносної компетентності j -го експерта.

Вибирається експерт e_j , для якого величина δ_j – найбільша, і йому пропонувалося змінити дану ним оцінку в напрямку зближення із середнім значенням. Якщо він погоджувався, то експертні оцінки ваги перераховувалися, якщо ні, то звернення із проханням змінити свою точку зору адресувалося наступному експертові, оцінка якого по віддаленості від середнього значення на другому місці, і т.д. Якщо всі експерти відмовлялися змінити оцінки, група експертів мало бути змінено, а отримані дані визнавалися непридатними до використання.

Описана процедура виконувалася для кожної альтернативи доти, поки значення коефіцієнта узгодженості множини оцінок її ваги не досягало порога застосування, після чого за узгодженими спектрами ваг розраховувалися остаточні агреговані оцінки альтернатив.

Для кожного методу експертного оцінювання за проведеним дослідженням були визначені такі кількісні його характеристики, як середнє значення відносної похибки оцінювання, коефіцієнт узгодженості результатів, необхідний для одержання оцінок час (тривалість експертизи).

Аналогічний експеримент проводився в умовах позамережової роботи експертів при послідовному (за чергою) порядку уведення даних. У другому випадку експерти працювали, маючи можливість живого спілкування один з одним, і, отже, могли підпадати під вплив інших експертів.

У подальшому, було проведено ранжування за коефіцієнтом узгодженості, за середнім значенням відносної похибки й за часом визначення агрегованих узгоджених оцінок ваг альтернатив, для обох випадків – мережової і позамережової роботи експертів.

4.1.4 Висновки за результатами проведеного дослідження

Основні результати експерименту наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 Результати експерименту

Назва методу	В Internet						Без Internet					
	Коефіцієнт узгодженості	Ранг	Математичне сподівання відносної похибки, %	Ранг	Час одержання узгоджених оцінок, с	Ранг	Коефіцієнт узгодженості	Ранг	Математичне сподівання відносної похибки, %	Ранг	Час одержання узгоджених оцінок, с	Ранг
«Безпосереднє оцінювання»	0,83532	1	4,0476	3	300	1	0,9213	1	4,1904	3	450	1
«Лінія»	0,8639	4	2,4020	2	480	2	0,8831	3	3,25	2	660	2
«Трикутник»	0,8953	2	1,2500	1	680	3	0,9135	2	1,1050	1	950	3
«Квадрат»	0,8701	3	4,4190	4	1180	4	0,8731	4	4,305	4	1850	4

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки:

1. Узгодженість оцінок, даних експертами, які працюють в Internet, менша для всіх досліджуваних методів, ніж при роботі поза мережею. Це можна пояснити тим, що живий контакт дає можливість обговорення й ухвалення загального рішення вже в процесі оцінювання. На користь цієї гіпотези говорить і більша кількість повторних звертань до експертів із проханнями про зміну думки для досягнення необхідного рівня коефіцієнта узгодженості при використанні Internet (табл. 4.2).
2. Точність агрегованих оцінок, отриманих усіма дослідженими методами (за винятком методу «трикутник») при роботі в Internet, є вищою, ніж точність оцінок, отриманих аналогічними методами при роботі поза мережею.

Таблиця 4.2 Дані про середню кількість звертань до експертів із пропозицією про зміну їхньої попередньої оцінки

Метод	Кількість повторних звертань до експертів з пропозицією змінити оцінки	
	В Internet	Без Internet
«Безпосереднє оцінювання»	1	0
«Лінія»	4	2
«Трикутник»	8	3
«Квадрат»	10	5

3. Тривалість процесу одержання узгоджених оцінок при використанні Internet виявилася меншою, ніж при застосуванні аналогічних методів в умовах позамережевої роботи.

4. Використання Internet створює більш комфортні умови для роботи експертів внаслідок можливості побудувати власний графік роботи.

5. Використання мережі Internet створює умови для залучення до побудови БЗ СППР більш кваліфікованих експертів, яких організаційно важко зібрати разом в одному й тому ж самому місці й в один і той самий час для позамережевої групової роботи.

4.2 Імітаційне моделювання експертного оцінювання з метою тестування методів обробки експертних оцінок

При побудові СППР часто допускаються рішення, що базуються на інтуїтивних фактах та евристичних припущеннях розробників. З наукової точки зору бажано, щоб будь-яке конструктивне рішення підтверджувалось теоретичними або практичними доказами його необхідності. Оскільки при експертному оцінюванні в СППР не існує еталонів для порівняння альтернатив, то для обґрунтування висновків при їхній побудові, а також при визначенні характеристичних параметрів систем (точності, обґрунтованості, ефективності рішень, що приймаються за допомогою СППР), єдиним способом залишається проведення експериментальних досліджень.

Низка задач постає при побудові нових типів СППР та при намаганні поліпшити характеристики наявних систем, серед них, наприклад: питання необхідності врахування компетентності експертів при груповому оцінюванні; визначення та порівняння достовірності та точності методів агрегації експертних суджень; дослідження особливостей застосування різних шкал для експертного оцінювання та інші.

Залучення експертів як джерел інформації до процесу експериментального дослідження є високовартісною, а тому, часом і зовсім нездійсненою процедурою. У такій ситуації, якщо є можливість, варто замінювати реальну участь експертів в дослідженнях моделюванням їхніх суджень. Зважаючи на те, що під час досліджень такі моделі експертних суджень, зазвичай, потрібно «програвати» (повторювати) багато разів, найбільш придатним для цього є метод імітаційного моделювання.

Моделі поведінки експертів, зазвичай, базуються на припущеннях, що експерти виконують оцінювання з деякими похибками, і експерта розглядають як деякий особливий «прилад» із властивими йому метрологічними характеристиками. Оцінки групи експертів розглядають як сукупність незалежних однаково розподілених випадкових величин зі значеннями у відповідному просторі об'єктів числової або нечислової природи. Служно припустити, що експерт вибирає правильне (тобто адекватне реальності) рішення частіше, ніж неправильне. У математичних моделях це виражається в тому, що щільність розподілу випадкової величини (відповіді експерта) монотонно спадає зі збільшенням відстані від центра розподілу – істинного значення оцінюваного параметру. Різні варіанти моделей поведінки експертів описані й вивчені в [150-157] та інших публікаціях.

4.2.1 Закони розподілу експертних оцінок

Пропонується подавати ЕО у вигляді випадкової величини, розподіленої за деяким законом. Будемо дотримуватися непараметричного підходу до моделювання ЕО [150], виходячи з того, що сподіватися визначити єдиний закон розподілу ЕО у загальному випадку не доводиться. Це можна пояснити залежністю розподілу ЕО від значної кількості факторів, що мають вплив на конкретну експертизу. Серед та-

ких факторів можна відмітити рівень обізнаності експерта в заданому питанні, варіант можливої постановки запитання експертові, психологічний та фізичний стан експерта в момент відповіді, та ін.

У зв'язку із цим, при вирішенні задач моделювання експертних суджень (імітації ЕО) пропонується дотримуватись думки про неможливість задання універсального закону розподілу цих ЕО, і, відповідно, моделювати ці оцінки як випадкові величини, з деяким різними заданими законами розподілу. Задля адекватності змодельованих ЕО заданий множині можливих реальних експертних суджень, пропонується в процесі моделювання задавати декілька законів розподілу ЕО, які найбільш повно відображують аспекти цієї множини. Відповідні закони розподілу варто підбирати спираючись на сформульовані до них вимоги, що базуються на особливостях конкретної задачі моделювання.

Має сенс розрізняти наступні задачі моделювання ЕО, кожна з яких має істотні особливості:

- 1) моделювання ЕО при безпосередньому оцінюванні;
- 2) моделювання ЕО при оцінюванні в ординальній (порядковій) шкалі;
- 3) моделювання експертних даних при задаванні оцінок у вигляді матриць кардинальних парних порівнянь [124] (наприклад, у фундаментальній шкалі порівнянь Сааті [52], тощо).

Задача первого типу вирішувалась при визначенні значимості врахування компетентності джерел інформації при груповому безпосередньому оцінюванні у [158, 159]. В цьому, найпростішому із трьох, випадку вважалось, що кожний експерт групи дає одну єдину оцінку, яка моделювалась як випадкова величина, розподілена за рівномірним, нормальним чи експоненційним законом розподілу.

Відразу зауважимо, що для імітації ординальних та більшості видів кардинальних ЕО рівномірний розподіл не підходить, оскільки, при досить великій кількості повторень (імітації оцінок), через наявність численних «протилежних» думок / суджень експертів, отримуємо дуже нестійкі агреговані оцінки альтернатив. Тому будемо вважати експертну групу досить компетентною, і, отже, припустимо, що її оцінки перебувають у достатній близькості від деяких «істинних» оцінок. В даному

випадку істинними оцінками можна вважати математичні сподівання множини імітованих випадкових оцінок.

Сформулюємо основні вимоги до результуючих законів розподілу модельованих ЕО, а саме, до функції щільності їхнього розподілу. Функція щільності розподілу випадкової величини має бути:

- 1) визначеною на усьому діапазоні можливих оцінок експертів;
- 2) неперервною на всій області визначення;
- 3) з єдиним максимумом у точці, що відповідає деякій заданій істинній оцінці.

Розглянувши ряд законів розподілу випадкових величин, ми пропонуємо досліджувати випадки, коли відхилення індивідуальних ЕО від заданої істинної оцінки розподілене за експоненційним та за півнормальним (англійською мовою: Half-normal) законами (див. рис. 4.3) у діапазоні припустимих відхилень від деякого обраного математичного сподівання – істинних оцінок.

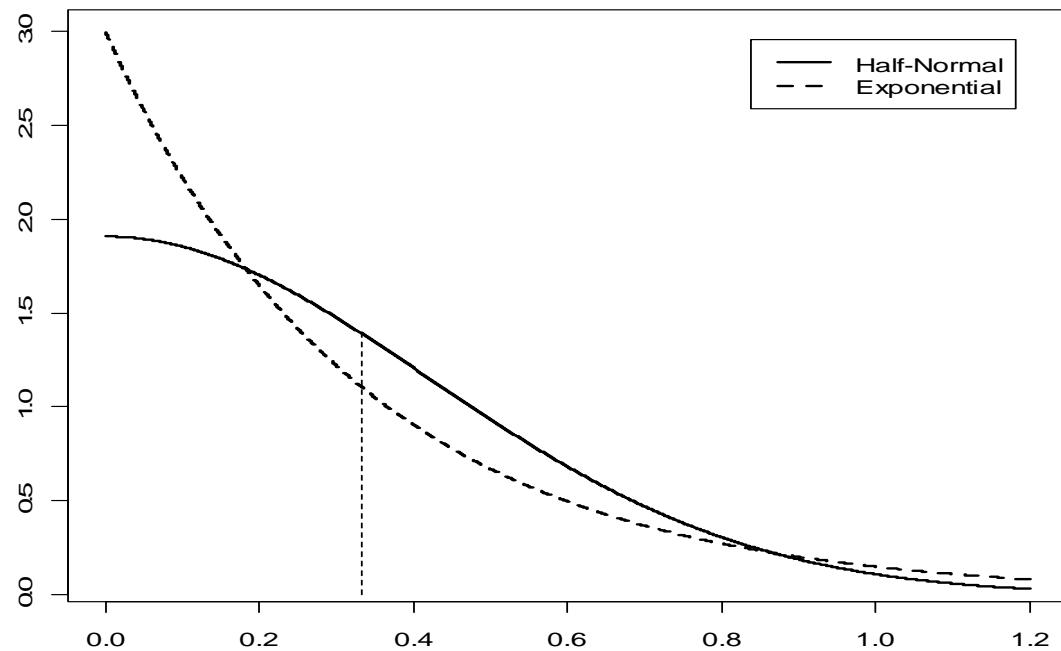


Рис.4.3 Вигляд законів розподілу відхилень ЕО від істинної (еталонної) оцінки

Функція щільності розподілу ймовірностей для експоненційного закону має вигляд:

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}, \quad x \geq 0, \quad (4.1)$$

де $\lambda > 0$ це параметр розподілу, його часто називають інтенсивністю або зворотним коефіцієнтом масштабу.

Півнормальний розподіл є частковим випадком модуль-нормального (Folded-normal) закону і отримується із нормальногго закону розподілу, що має функцію щільності розподілу ймовірностей, відому як функція Гауса:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, x \in (-\infty; \infty), \quad (4.2)$$

де параметр μ це середнє / очікуване значення (положення максимуму / піку) і σ^2 це дисперсія, що характеризує ширину розподілу.

Таким чином, функція щільності розподілу ймовірностей для первісного (не зсунутого) півнормального закону розподілу (при $\mu = 0$) виглядає наступним чином:

$$f(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, x \in [0; \infty). \quad (4.3)$$

Окрім того, параметри розподілів σ та λ підбираються так, щоб прирівняти математичні сподівання обох розподілів. Це робиться для того, щоб приблизно зрівняти розкид результуючих ЕО, що імітуються, базуючись на цих розподілах. На рис. 4.3 математичні сподівання обох розподілів – це абсциси точок перетину графіків функцій розподілу з вертикальною тонкою пунктирною лінією. Відомо, що математичне сподівання експоненційного закону розподілу рівне $1/\lambda$, а для півнормального закону воно дорівнює $\sqrt{2/\pi} \cdot \sigma$. Для того, щоб розкид модельованих ЕО задовільняв вимозі, за якою ймовірна експертна похибка не перевищить 100%, прирівняймо відповідні математичні сподівання обох законів: із того, що інтегральна функція розподілу для експоненційного закону $1 - e^{-\lambda x} = 0.95 \Rightarrow 1/\lambda = -x/\ln(0.05)$ (в нашему випадку $x = 1$) і приблизно дорівнює 0.3338 (33.38%). Отже, можемо обчислити параметри для обох розподілів виходячи із наступного співвідношення: $1/\lambda = \sqrt{2/\pi} \cdot \sigma = 0.3338$.

Зупинімось на задачах другого та третього типів, які вперше постали при вирішенні питання значимості врахування компетентності експертів під час групового ординального оцінювання та групового оцінювання у фундаментальній шкалі Сааті. На відміну від задач первого типу, де ЕО альтернативи (об'єкта) являє одне єдине

значення (а множина оцінок усіх наявних альтернатив може бути представлена як вектор дійсних чисел), при ординальному оцінюванні ЕО множини альтернатив являють собою їхнє ранжирування, а при кардинальному оцінюванні з використанням методу парних порівнянь, наприклад, у фундаментальній шкалі, ця множина оцінок вже являтиме собою матрицю парних порівнянь, елементами якої є значення з відповідної шкали.

Постає питання, як зmodелювати такі експертні судження.

4.2.2 Моделювання ординального експертного оцінювання

Спочатку викладемо запропонований нами варіант вирішення даної проблеми стосовно ординальних ЕО.

Було помічено і експериментально підтверджено, що підхід, згідно з яким ранги строгих індивідуальних ранжирувань експертів задаються у вигляді рівномірно розподілених випадкові величин, призводить до неможливості визначення узагальненого ранжирування. Основними причинами, через які це відбувається, наступні:

- 1) загальна кількість можливих ранжирувань обмежена і залежить від кількості альтернатив, що оцінюються;
- 2) існують протилежні судження експертів при ранжуванні;
- 3) при агрегації протилежні судження взаємно компенсируються («взаємно знищуються»).

Для того, щоб уникнути невизначеності при узагальненні індивідуальних ранжирувань пропонується зmodелювати їх шляхом імітації – випадкового вибору ранжування віддаленого від деякого довільно заданого ранжування (еталонної ЕО) на вибрану випадковим чином відстань. Для ординальних оцінок за цю відстань пропонується взяти відстань Кемені і задавати її, як випадкову величину розподілену за експоненційним або за півнормальним законом.

Відстань Кемені між двома відношеннями (ранжуваннями) обчислюється за формулою:

$$D_K(A, B) = \sum_{i,j} |\alpha(i, j) - \beta(i, j)|, \quad (4.4)$$

де $D_K(A, B)$ – відстань Кемені між відношеннями A та B , яка приймає значення із діапазону $[0; 2m(m-1)]$; $\alpha(i, j)$ та $\beta(i, j)$ – елементи матриць відношень A та B відповідно.

Наприклад, якщо відношення переваг на множині з 4-х альтернатив A_1-A_4 являють собою ранжирування $A=(A_1, A_2, A_3, A_4)$ та $B=(A_1, A_4, A_3, A_2)$, то матриці цих відношень матимуть вигляд

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \text{ та } \beta = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \text{ а відстань}$$

Кемені дорівнюватиме $D_K(A, B) = \sum_{i,j} |\alpha(i, j) - \beta(i, j)| = 12$.

Відстань Кемені визначається кількістю перестановок альтернатив, необхідних для перетворення одного ранжирування в інше, і є вчетверо більшою за неї.

Закони розподілу випадкової величини та їхні параметри вибираються таким чином, щоб забезпечити відповідність властивостям відстані Кемені та загальним властивостям оцінок експертів, а саме:

- відстань – невід’ємна величина;
- відстань Кемені не більша ніж $m(m-1)/2$ (тобто, $2m(m-1)/4$), де m – кількість альтернатив у ранжируванні;
- ймовірність задання (моделювання) ЕО, що є близчою до еталонної – більша, ніж віддаленішої оцінки (із припущення, що експерт частіше вибирає правильне рішення, ніж неправильне);
- ймовірність задання будь-якої з можливих ЕО не є нульовою;
- кількість усіх можливих значень ординальних ЕО скінчена і дорівнює $m!$.

Отже, відстань Кемені, як випадкову величину, змодельовану за описаним законом розподілу, доцільно взяти за основу для отримання випадкової ЕО (ранжирування). Для цього потрібно визначити множину всіх можливих ранжирувань, віддалених від еталонного на цю задану відстань і випадковим чином здійснити вибір ранжирування із цієї множини. Для $m=4$ множину можливих ранжирувань зручно зо-

бразити у вигляді графа (див. рис. 4.4). Де вершини графа позначені ранжуваннями (послідовностями рангів альтернатив), а дуги відповідають перестановкам сусідніх альтернатив у ранжуваннях.

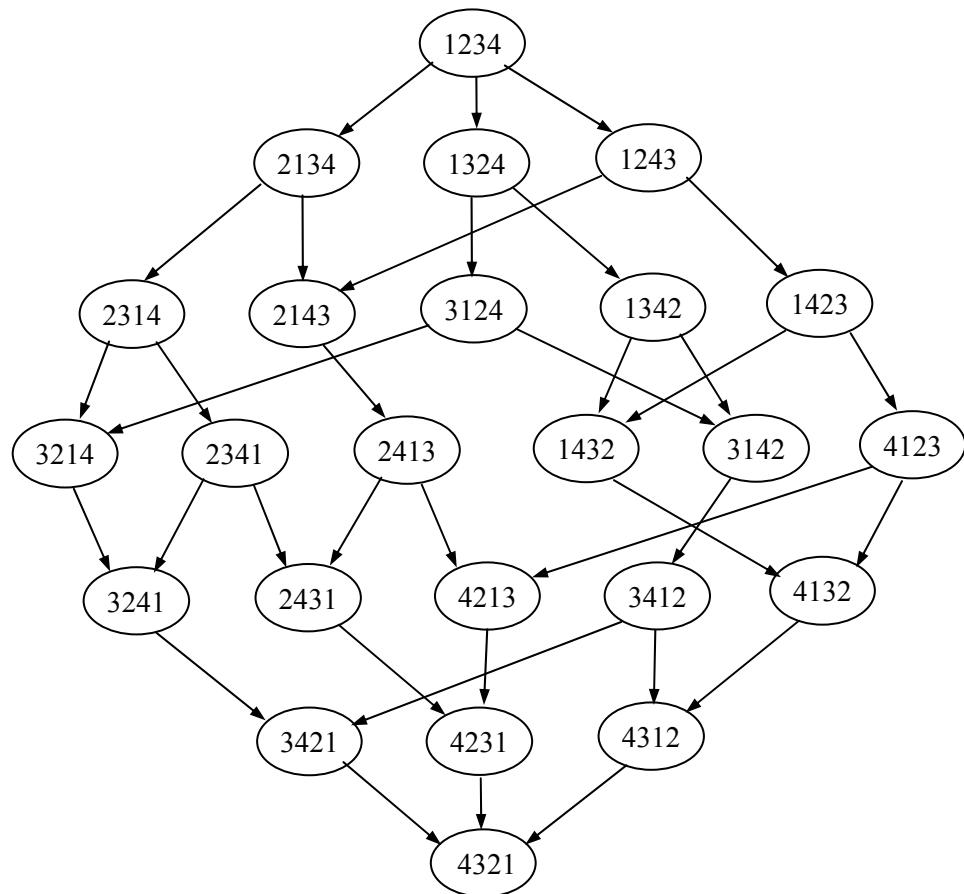


Рис.4.4 Графічне зображення множини усіх можливих ранжувань чотирьох альтернатив

Для $m>4$ таке представлення стає занадто громіздким для зображення в графічному вигляді.

Оскільки відстань Кемені між двома ранжуваннями прямо пропорційна кількості перестановок сусідніх альтернатив у одному ранжуванні, необхідних для перетворення його в інше, то визначення множини рівновіддалених ранжувань можна здійснити алгоритмічно, базуючись на цій властивості.

Без втрати загальності можна вважати, що вихідне еталонне ранжування є ранжуванням, що позначено на графі, як „1234” (завжди можна перейменувати альтернативи таким чином, щоб вони розміщувались у ранжуванні саме в такій

послідовності). Тоді рівновіддалені від „1234” ранжирування будуть знаходитись на одному з горизонтальних рівнів зображеного графа (при $m=4$, таких рівнів 6).

Отже, імітацію експертного ранжирування, як деякої випадкової індивідуальної ЕО пропонується здійснювати у декілька наступних етапів:

- 1 – генерування еталонного ранжирування
- 2 – генерування відстані Кемені (кількості перестановок) як випадкової величини, розподіленої за експоненційним, чи півнормальним законом;
- 3 – формування множини можливих ранжирувань з заданою відстанню від довільно вибраного ранжирування,
- 4 – випадковий вибір ранжирування із сформованої множини.

4.2.3 Моделювання кардинального експертного оцінювання при парних порівняннях у шкалі переваг Saatі

Тепер зупинімось на моделюванні ЕО при кардинальному оцінюванні, у фундаментальній шкалі з використанням методу парних порівнянь. В даному випадку пропонується задати набір т.зв. еталонних ваг $w_i, i = \overline{1, m}$ для m альтернатив і на базі цього набору побудувати ідеально узгоджену еталонну матрицю парних порівнянь (МПП).

Як зазначає Saatі у [120], ваги альтернатив мають належати до одного порядку (альтернативи не можуть бути занадто близькими чи віддаленими, інакше експерт не буде в змозі їх адекватно порівняти, користуючись діапазоном фундаментальної шкали переваг). Не втрачаючи загальності, а також, виходячи з міркувань зручності, можемо припустити, що ваги альтернатив пересортовані у порядку спадання, і альтернативи перенумеровані відповідним чином. Присвоїмо вагу (наприклад, $w_1 = 10$) 1-й альтернативі, та задамо ваги інших альтернатив, виходячи з припущення, що вони мають відрізнятися хоча б на 5 % (результати експериментальних досліджень здатностей людини розрізняти близькі об'єкти наведені, зокрема у [120], втім строгих міркувань щодо того, якою має бути мінімально допустима різниця між вагами сусідніх альтернатив, у джерелах не наводиться). З іншого боку, ваги альтернатив

мають бути величинами одного порядку. Множина ваг, яка б відповідала заданим вимогам може бути побудована за наступною рекурсивною формулою:

$$w_{i+1} = w_i \left/ \text{random} \left[1.05; \sqrt[m-i]{10 \prod_{k=1}^{i-1} \frac{w_{k+1}}{w_k}} \right] \right.,$$

де random – функція, що повертає випадкове значення із заданого діапазону, m – кількість альтернатив, $i=1..(m-1)$.

Наприклад, на основі вказаної формули можна, генерувати набори ненормованих ваг для різної кількості альтернатив m (див. таблицю 4.3).

Таблиця 4.3. Еталонні ненормовані значення ваг альтернатив для різної кількості альтернатив m

m (кількість альтернатив)	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
3	10	7.5826	1.2476						
4	10	5.3495	4.7273	1.5106					
5	10	8.9470	7.7068	5.4742	1.3742				
6	10	7.6739	6.5496	4.4959	3.0977	1.1034			
7	10	7.3787	6.7863	5.5722	4.4722	3.5430	1.1577		
8	10	7.2015	5.4130	4.0386	3.4689	2.6224	1.6240	1.0927	
9	10	8.4819	6.9407	6.3836	5.0463	3.4231	2.3741	2.0969	1.1204

На основі побудованої таким чином множини еталонних ваг сформуємо ідеально узгоджену матрицю парних порівнянь (МПП) A , виходячи із співвідношення: $a_{ij} = w_i / w_j$. Вважатимемо МПП обернено-симетричною, тобто такою, що $a_{ij} = 1/a_{ji}$, і тоді зможемо аналізувати лише елементи, які лежать над її головною діагоналлю ($i < j$). Оскільки альтернативи є такими, що їх можна розрізняти, а їхні ваги пересортовані у порядку спадання, усі елементи МПП, які лежать над головною діагоналлю більші за 1: $a_{ij} > 1 | i < j$. До того ж, слід зауважити, що при визначенні «еталонних», або «істинних» співвідношень ваг ми вважаємо фундаментальну шкалу пар-

них порівнянь неперервною, тобто елементи ідеально узгодженої МПП можуть бути не лише цілими, а дійсними числами ($a_{ij} \in \Re$).

Для моделювання ЕО пропонується зашумляти побудовану МПП відповідним чином, а саме: множити або ділити кожний елемент МПП на деяку випадкову величину Δ (конкретна із двох вказаних арифметичних дій визначається також випадково).

Підкреслимо, що відхилення від еталонних значень (позначимо їх як Δ) мають задаватися у шкалі відношень, тобто мусить виконуватися рівність: $\Delta = (a_{\Delta+}/a_e) = (a_e/a_{\Delta-})$, де a_e є елементом ідеально узгодженої матриці, який піддається флюктуації, $a_{\Delta+}$ – значення того ж елемента у випадку збільшення, а $a_{\Delta-}$ значення після зменшення. Випадкове значення Δ обирається згідно з одним із вищевказаних законів розподілу (експоненційним чи півнормальним). Оскільки функція розподілу ймовірності в обох випадках визначена у додатному діапазоні (справа від нуля), а відхилення – мультиплікативне, слід збільшити згенероване випадкове значення на 1 ($\Delta = \Delta + 1$). Фактично, функції щільності розподілу ймовірностей, що зображені на рис.4.3 мають бути зсунуті на 1 вправо для того, щоб була можливість використовувати згенеровані згідно з даними законами випадкові величини, як множники при формуванні результуючих значень ЕО, що моделюються. (Значення цих множників, переважно, будуть близькими до одиниці).

Напрям відхилення, як уже зазначалося, (позитивний ($a_{\Delta+} = a_e \Delta$) чи негативний ($a_{\Delta-} = a_e / \Delta$)) обирається випадково, отже, на базі вищезгаданих розподілів, визначених на позитивній півосі, отримуємо симетричні закони розподілу. І, оскільки елементи змодельованих індивідуальних експертних МПП мають належати до множин значень фундаментальної шкали переваг Сааті, ми апроксимуємо дійсні значення, отримані вказаним способом, найближчими поділками фундаментальної шкали. Таким чином, елементи індивідуальних МПП можуть приймати значення з множини: $\{1/9, 1/8, \dots, 1/2, 1, 2, \dots, 8, 9\}$.

Отже, розподіл випадкової величини Δ обирається аналогічно розподілу відстані Кемені для ординальних ЕО, з тією відмінністю, що $\Delta \geq 1$, тому функції законів розподілу мають бути зсунуті на 1 вправо, і математичні сподівання змодельованої

випадкової величини Δ для законів розподілу мають бути приведені до єдиного заданого значення.

4.2.4 Експеримент стосовно врахування компетентності експертів під час групової експертизи

На основі ЕО, змодельованих способом, наведеним вище, шляхом проведення експериментального дослідження було дано відповідь на питання про необхідність враховувати компетентність експертів при груповому оцінюванні. Спрощену структурну схему експерименту наведено на рисунку 4.5.



Рис.4.5 Узагальнена структурна схема експерименту щодо визначення значимості врахування компетентності експертів під час групового прийняття рішень

4.2.5 Особливості експерименту для випадку ординальних оцінок

Для визначення розміру експертної групи, при якому доцільно враховувати індивідуальну відносну компетентність кожного експерта під час побудови групового ранжирування альтернатив було проведено модельний експеримент. Експеримент повторювався для різної кількості n експертів в групі, де $n \in [3; 200]$ (для $n < 3$ групова процедура оцінювання не є коректною згідно умов Ерроу [113]) та різної кількості m оцінюваних альтернатив, де $m \in [3; 9]$ (значення m було обмежено відповідно до психофізичних можливостей людини-експерта, яка одночасно адекватно може оцінювати не більше ніж 7 ± 2 об'єкти [149]). Експеримент включав процедуру підрахунку кількості збігів двох підсумкових ранжирувань: ранжирувань, отриманих, відповідно, з урахуванням та без урахування компетентності експертів. Якщо ранжирування співпадають, можна говорити, що значущість врахування компетентності втрачається, і, відповідно, зникає необхідність визначення індивідуальної компетентності кожного члена експертної групи.

Для забезпечення статистичної достовірності результатів моделювання експеримент необхідно повторювати не менше N разів [160, 161] ($N \geq D_\xi (P_\beta / \beta)$), де D_ξ – дисперсія змодельованої випадкової величини D_K ; P_β – ймовірність попадання випадкової величини у заданий інтервал β .

В рамках даного дослідження при значенні дисперсії змодельованої випадкової величини $D_\xi \approx 15\%$, для забезпечення статистичної достовірності результатів моделювання (при вибраному довірчому інтервалі $\beta = \pm 5\%$ і при ймовірності $P_\beta = 95\%$) експеримент повторювався 300 разів ($N \geq 15(0.95/0.05)$).

Для визначення узагальненого групового ранжирування на основі ранжирувань експертів існують декілька широко відомих, і ряд менш поширені методів. З поміж інших, можна виділити метод Борда, Кондорсе [103], медіану Кемені [162], і подібні [109]. Оскільки ряд методів агрегації мають значну обчислювальну складність, агрегація ранжирувань експертів в даному експерименті проводилась лише

двома методами: Борда – ранжування зважених сум рангів індивідуальних експертних ранжувань та Кондорсе – по-елементне знаходження результуючої (групової) матриці домінування за більшістю преваг серед однайменних елементів індивідуальних експертних матриць домінування.

Потім, як результат, знаходився відсоток розбіжностей (не збігів) від загальної кількості повторів експерименту між груповими ранжуваннями, визначеними методом Борда з урахуванням компетентності експертів та без урахування такої. Аналогічно, знаходився відсоток розходжень серед загальної кількості підсумкових ранжувань, отриманих методом Кондорсе, з урахуванням та без урахування індивідуальної відносної компетентності експертів. Короткий опис експерименту для випадку ординальних оцінок можна знайти у [163]. Отримані результати наведені на рис. 4.6 та рис. 4.7. Кожний графік ілюструє спадання відносної кількості розходжень серед ранжувань для заданого числа альтернатив $m \in [3; 9]$ (показаного на усіх рисунках у стовпчику зліва, як пояснення до графіків).

Як можна побачити із зображеніх на рисунках графіків, із збільшенням чисельності групи експертів зменшується відсоток не однакових ранжувань (одночасно збільшується частка ранжувань, що співпадають), серед узагальнених ранжувань, які отримані при агрегації індивідуальних ранжувань двома способами – з урахуванням відносної компетентності експертів у групі та без урахування неї. При перевищенні чисельності групи десяти (для 3-4 альтернатив, що оцінюються) або декількох десятків (для 8-9 альтернатив) кількість не однакових ранжувань не перевищує порогу значимості 5%. Причому ця тенденція суттєво не залежить ні від обраного методу агрегації індивідуальних ранжувань експертів в єдине узагальнене ранжування, ні від ймовірнісного розподілу, що застосовувався при моделюванні цих індивідуальних експертних ранжувань.

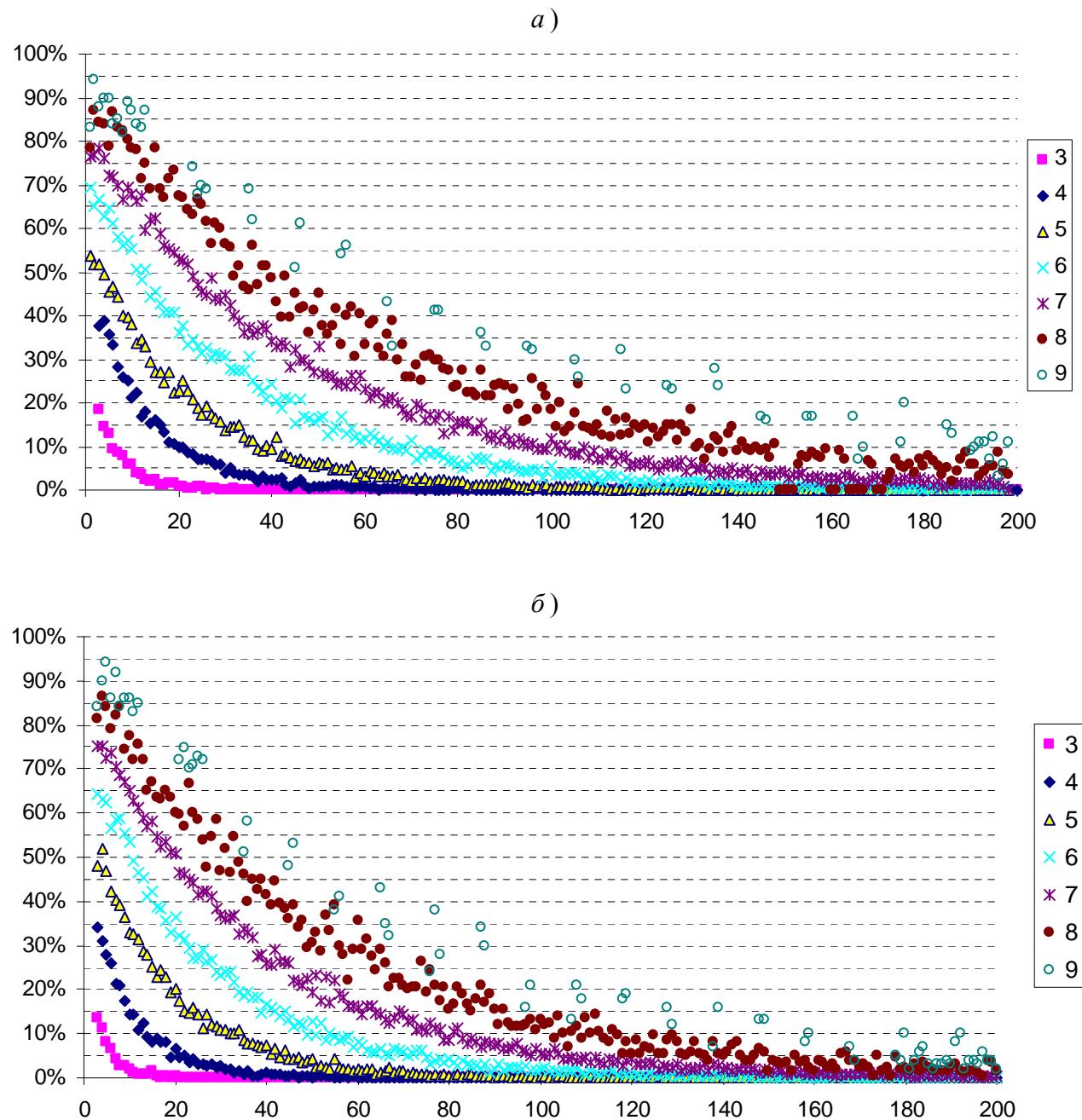


Рис. 4.6 Результати розрахунків відсотку не однакових ранжувань, отриманих при агрегації методом Борда з урахуванням та без урахування компетентності експертів у складі групи різної чисельності для експоненційного (а) та півнормального (б) законів розподілу експертних оцінок

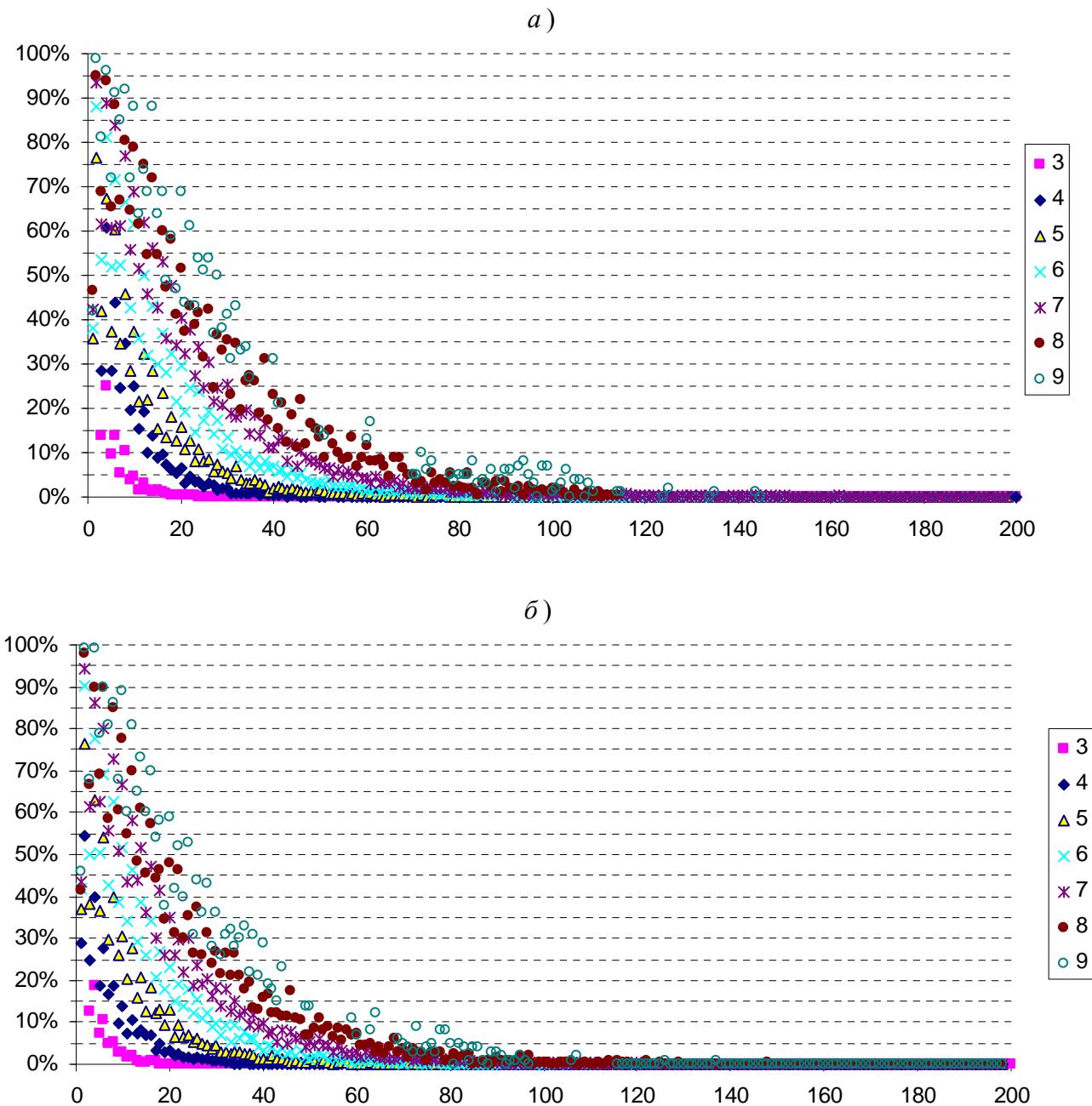


Рис. 4.7 Результати розрахунків відсотку не однакових ранжирувань, отриманих при агрегації методом Кондорсе з урахуванням та без урахування компетентності експертів у складі групи різної чисельності для експоненційного (а) та півнормального (б) законів розподілу експертних оцінок

4.2.6 Особливості експерименту для випадку парних порівнянь у шкалі Сааті

Аналогічний експеримент було проведено для випадків, коли ЕО задаються у вигляді МПП, елементами яких є значення із фундаментальної шкали переваг Сааті.

Для агрегації індивідуальних МПП було вирішено скористатися методом середнього геометричного. Як і у випадку ординальних оцінок, підраховувалися дві підсумкові МПП: з урахуванням та без урахування компетентності експертів. Компетентність i -го експерта c_i моделювалася як рівномірно розподілена випадкова величина. Отже, елементи підсумкової (агрегованої) МПП обчислювалися за наступними правилами:

$$a'_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{ijk}} \quad - \text{без урахування компетентності експертів (усі експерти вважаються однаково компетентними);}$$

$$a''_{ij} = \left(\sum_{x=1}^n c_x \right) \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{ijk}^{c_k}} \quad - \text{з урахуванням компетентності експертів.}$$

На основі двох отриманих агрегованих матриць методом власного вектора обраховувалися відносні ваги альтернатив: w'_i та $w''_i, i = \overline{1, m}$. Величина відношення $\xi = \max_i (\max(w'_i, w''_i) / \min(w'_i, w''_i))$ відображає розходження у результатах агрегації ЕО, отриманих з урахуванням та без урахування компетентності експертів.

Отримані результати наведені на рис.4.8 (у стовпчику зліва, як пояснення до графіків, показано кількість альтернатив $m \in [3; 9]$).

Із рис. 4.8 видно, що графіки залежності максимальних розходжень між результатами агрегації отриманими з урахуванням та без урахування компетентності від кількості експертів у групі не перевищують рівня 5% при кількості експертів 50-60 осіб. Причому, це практично не залежить від кількості альтернатив, що оцінюються та від ймовірнісного розподілу індивідуальних експертних оцінок (експоненційного чи півнормального).

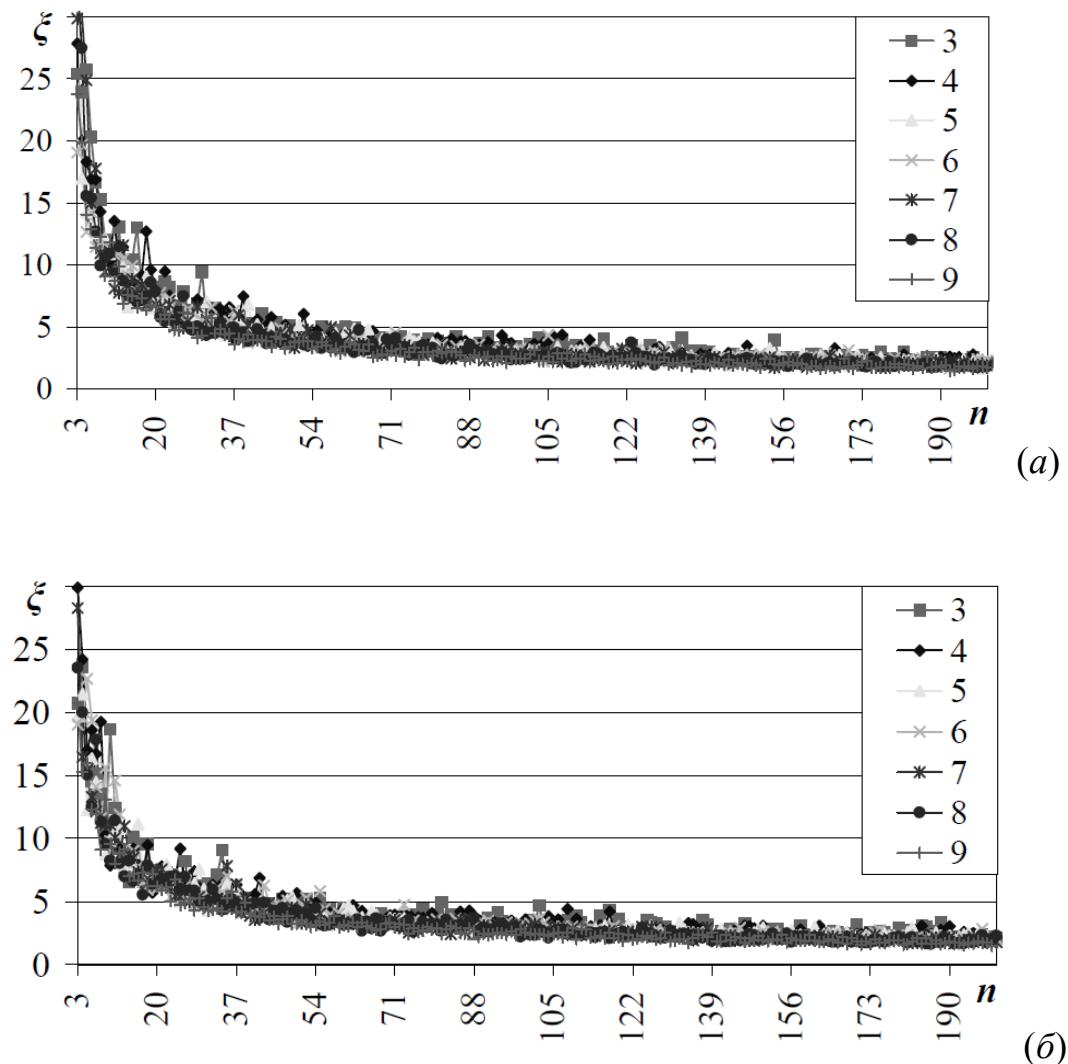


Рис.4.8 Залежність відсотку розходжень у підсумкових експертних оцінках (ξ) від кількості експертів у групі (n) для експоненційного (а) та півнормального (б) законів розподілу індивідуальних експертних оцінок

Отже, в результаті експериментів, які стосуються ординальних і кардинальних експертних оцінок, було підтверджено наступний загальний висновок, що в груповому експертному оцінюванні з малою кількістю (одиниці осіб) експертів в групі при агрегації будь-яких відомих ЕО, існує нагальна необхідність враховувати компетентність членів експертної групи.

4.3 Висновки за розділом 4

Проведене порівняльне експериментальне дослідження групових методів експертного оцінювання при їхньому застосуванні для роботи експертних груп в рамках мережі Internet та в поза мережею показало: точність агрегованих оцінок отриманих за допомогою різних методів групового експертного оцінювання є вищою при роботі в мережі Internet; при мережевій роботі зменшується тривалість отримання узгоджених оцінок; використання мережі створює більш комфортні умови для роботи експертів, включаючи можливість побудувати власний графік роботи, вибрати мову спілкування і т.п.; розподілена мережева робота дозволяє залучати до експертизи більш кваліфікованих експертів, яких організаційно важко зібрати одночасно разом.

Крім того, у результаті проведеного дослідження підтверджено доцільність моделювання ЕО з метою експериментального дослідження методів експертного оцінювання. Імітаційне моделювання процесу експертного оцінювання дозволяє досліджувати та тестувати методи експертної підтримки прийняття рішень без проведення високовартісних експертиз та залучення реальних експертів.

Запропоновано математичний апарат для моделювання як ординальних ЕО (ранжувань альтернатив), так і кардинальних (ЕО, заданих у вигляді матриць парних порівнянь у фундаментальній шкалі Saatі).

На основі запропонованого підходу проведено експеримент, у ході якого визначено розміри експертних груп, при яких доцільно враховувати індивідуальну компетентність кожного експерта під час групових експертиз. Показано, що якщо до складу експертної групи входять лише декілька експертів, при агрегації будь-яких відомих ЕО, існує нагальна необхідність враховувати компетентність її членів; у той же час, якщо група налічує кілька десятків експертів, то витрачати зусилля на визначення індивідуальної компетентності кожного з них – недоцільно.

РОЗДІЛ 5

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Як було зазначено раніше, в процесі ППР для підвищення достовірності експертного оцінювання альтернатив використовується метод парних порівнянь. Як метод відносних вимірювань, він полягає в послідовному наданні всіх можливих пар альтернатив, або визначеної підмножини можливих пар, експертові для оцінювання з наступним формуванням МПП на основі даних ним оцінок. Одним із подальших кроків у процесі ППР при обробці експертних оцінок, поданих у вигляді МПП, є агрегація цих оцінок. Ефективність методів агрегації розглядається в сенсі підвищення ними достовірності результатів експертного оцінювання, а як наслідок, і якості ППР. Підвищення достовірності результантів експертного оцінювання вважається основним призначенням методів агрегації експертних оцінок. Отже, в першому підрозділі даного розділу пропонується розглянути оригінальний метод визначення ефективності методів агрегації експертних оцінок, як показника якості ППР.

Здебільшого ППР пов'язана з оцінюванням варіантів рішень, тому одним із важливих показників якості ППР, а разом з тим і якості функціонування СППР, є стійкість оцінюваних варіантів рішень. Увагу до цього показника якості ППР буде привернуто у другому підрозділі даного розділу.

5.1 Визначення ефективності методів агрегації експертних оцінок

На теперішній час розроблено велика кількість методів агрегації експертних оцінок, отриманих при парних порівняннях. Одним з найчастіше застосовуваних є метод, що передбачає визначення власного вектора МПП, запропонований Томасом Сааті [164]. Крім того, для МПП мультиплікативного типу (коли при порівняннях експерт відповідає на запитання: *У скільки разів* одна з пари альтернатив переважає іншу?) можливо й застосування деяких спрощених методів агрегації, наприклад, знаходження середнього геометричного елементів МПП за кожним рядком цієї мат-

риці, метод степеня, нормалізації стовпців матриці, та інші. Такі спрощені методи зазвичай дають прийнятні результати агрегації при високих ступенях внутрішньої узгодженості МПП [73]. Існує також серія методів послідовної обробки МПП без зворотного зв'язку з експертом («Лінія», «Трикутник», «Квадрат») [165, 166], а також метод комбінаторної обробки МПП [92].

У даному підрозділі пропонується механізм оцінювання вище згаданих методів агрегації експертних оцінок, і можливо, не згаданих тут, на предмет виконання ними свого основного призначення – підвищення достовірності, а, отже, і точності експертного оцінювання. Таким чином, пропонується спосіб визначення деякого показника ефективності методів агрегації експертних оцінок, поданих у вигляді МПП, заснований на моделюванні можливих помилок (похибок) експертів при парних порівняннях. Ефективність методів агрегації розглядається в сенсі підвищення ними достовірності результатів, і як наслідок, підвищення якості ППР. Показник ефективності характеризує потенційну здатність методу утримувати свої результати в деяких межах. Для пошуку максимально можливих відхилень у результатах агрегації парних порівнянь передбачається застосування генетичного алгоритму.

5.1.1 Сутність методу визначення показника ефективності

Спрощену схему, що відображує сутність методу, зображену на рисунку 5.1. Ідея визначення показника ефективності методів агрегації полягає в наступному. Задаються довільні позитивні значення ваг альтернатив w_i , $i=(1,n)$. Число альтернатив n при експертному оцінюванні не повинне перевищувати 7 ± 2 [149]. Проводиться нормування цих ваг до одиниці $w_i = w_i / \sum_{j=1}^n w_j$. Тобто, після нормування має виконуватись рівність $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$



Рис. 5.1 Сутність методу визначення ефективності

Надалі, у рамках даного дослідження, ці ваги вважаються деяким еталоном. За цими еталонними вагами формально будується повністю (ідеально) узгоджена МПП (consistency matrix) A виходячи зі співвідношення $a_{ij} = w_i / w_j$, де a_{ij} – елемент матриці A . Після цього проводиться «зашумлення» матриці A , таким чином, що кожен елемент матриці A , крім діагональних, може бути змінений за наступним законом $a'_{ij} = a_{ij} \pm a_{ij} \cdot \delta / 100\%$, де $\delta > 0$ – наперед задана величина, яка характеризує максимальне відносне відхилення результатів парних порівнянь експерта (елементів матриці A) у відсотках від еталонних значень. Тим самим, здійснюється моделювання наявності помилок при експертному оцінюванні. Величина δ , у даному випадку, являє собою відносну похибку експерта при проведенні парних порівнянь. Далі, «зашумлена» МПП, позначимо її A' , піддається обробці одним з методів агрегації з метою одержання узагальнених ваг альтернатив w'_i . Якість (ефективність) методу агрегації експертних оцінок пропонується обчислювати як максимально можливе відносне відхилення отриманої в результаті розрахунку ваги альтернативи від еталонної ваги цієї ж альтернативи $\Delta = \max_i \left| \frac{w'_i - w_i}{w_i} \right| \cdot 100\%$. Зауважимо, що отримані таким чином

значення показника ефективності є детермінованими, і тому гарантованими, значеннями, а не стохастичними, які можливо було б отримати при застосуванні методів математичної статистики.

Розумно припустити, що обчислені значення показника Δ залежать як від заданої δ , так і від відносних значень самих заданих еталонів. Тому, визначені значення показника будуть представлені у вигляді графіків залежності $\Delta(\delta)$ для кожного з варіантів характерних значень еталонних ваг. Залежність $\Delta(\delta)$ має сенс визначати для кожного з досліджуваних методів на інтервалі $\delta \in]0;100[$, виходячи з логічного припущення, що відносна похибка оцінювання при парних порівняннях експерта не перевищує 100%. Хоча, безсумнівно, що функція $\Delta(\delta)$ визначена в більш широкому діапазоні – $\delta \in [0;\infty[$.

5.1.2 Особливості реалізації методу

Знаходження максимального можливого відносного відхилення Δ для кожного δ пропонується проводити із застосуванням еволюційних методів, а саме, методу цілеспрямованого перебору – Генетичний алгоритм. Цей вибір обумовлений тим що, по суті, маємо справу зі знаходженням максимуму функції багатьох змінних $f(a'_{ij})$, $i,j=(1,n)$, аргументами якої є елементи МПП A' , а прийнятних аналітичних методів для рішення такого плану задач не існує. Значення $\Delta(\delta)$ для конкретного методу агрегації залежить від значень вихідних еталонних ваг альтернатив w_i , $i=(1,n)$. Це було підтверджено в процесі експерименту, проведеного за допомогою спеціально створеного програмного інструменту.

Вектор вхідних ваг цей створений програмний модуль одержує із вхідного файлу, результати розрахунку Δ також мають бути збережені у файлі для наступного аналізу. Керуючий модулем інтерфейс представлений у вигляді діалогового вікна (див. рис. 5.2) для уведення необхідних вхідних даних, режимів для експерименту та підібраних параметрів Генетичного алгоритму.

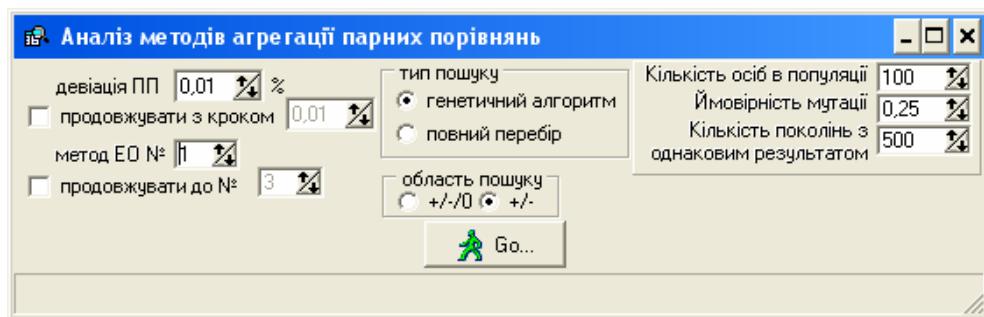


Рис.5.2 Екранна форма інтерфейсу експериментального модуля аналізу методів агрегації парних порівнянь

Значення δ уводиться в поле вводу з назвою «девіація ПП» і може автоматично (програмно) збільшуватися з певним кроком для можливості безперервного проведення серії розрахунків і нагромадження даних.

Модуль передбачає також режим перевірки правильності результатів роботи Генетичного алгоритму при заданих вхідних параметрах цього алгоритму. Перевірку є можливість зробити при невеликих (<6) значеннях n за допомогою повного перебору варіантів значень аргументів – елементів МПП A' . При значеннях $n \geq 6$ такі перевірки не доцільні через потребу значних обчислювальних ресурсів.

Підбір вхідних параметрів генетичного алгоритму (кількість осіб в популяції, ймовірність мутації, кількість поколінь з однаковим результатом) для оптимальної його роботи, проводиться за декілька ітерацій, з використанням, при можливості, повного перебору для перевірки.

Програмний модуль також передбачає вибір одного із двох режимів пошуку максимуму функції: перевірку варіантів відхилення аргументів з можливістю залишати аргумент без зміни (+/-/0) або без такої можливості (+/-). На практиці, численні експерименти показали, що достатньо використовувати більш вузьку область пошуку варіантів, коли всі аргументи змінюються на відносну величину δ в позитивну або в негативну сторону – не залишаючи аргумент без змін (на екранній формі, рисунок 5.2, позначення – +/-).

Ефективність методів агрегації експертних оцінок у даному контексті розглядається з точки зору підвищення ними точності визначення узагальнених ваг альтернатив. У цьому плані, чим меншою є можлива розрахована похибка Δ , тим вища

ефективність методу. В ідеалі, є прагнення, щоб для будь-яких ваг альтернатив w і для будь-яких заданих відносних відхилень δ , завжди, значення Δ було б меншим ніж δ . У такому випадку метод агрегації зменшував би відносну похибку парних порівнянь. Але, на практиці, як підтвердило експериментальне дослідження ряду існуючих методів, на жаль, ці умови не виконуються.

5.1.3 Експериментальне дослідження ефективності розповсюджених методів агрегації

5.1.3.1 Короткий огляд методів агрегації

У процесі експерименту були зроблені розрахунки для наступних методів агрегації експертних оцінок:

1. метод сум елементів рядків (Sums by Rows);
2. середнє геометричне (Geometric average);
3. метод степеня (Powers method);
4. нормалізація елементів стовпців (Columns normalizing);
5. метод власного вектора (Eigen vector method) [164];
6. метод „Квадрат” („Square” method) [165, 166];
7. комбінаторний метод (Combinatorial method) [92].

Назви перших чотирьох, які можна віднести до класу спрощених методів, не є загальновживаними, тому коротко розкриємо їхню сутність.

Метод сум елементів рядків МПП A' полягає в визначенні ненормованих ваг альтернатив w'_i згідно з формулою: $w'_i = \sum_{j=1}^n a'_{ij}$, з подальшим їх нормуванням:

$$w_i = w'_i / \sum_{j=1}^n w'_j .$$

В наступному методі агрегації МПП A' *середнє геометричне* елементів рядків визначається за формулою: $w'_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a'_{ij}}$, після чого, також, проводиться нормуван-

ня.

Метод степеня полягає в наступному. МПП A' послідовно підноситься до деякого натурального степеня $p=\{1..N\}$. Цей процес проводиться за допомогою операції множення матриць. Після цього, на кожному p -му кроці агреговані значення ваг

визначаються за формулою: $w_i = \sum_{j=1}^n a'_{ij} / \sum_{j,k=1}^n a'_{jk}$. Тобто, сума елементів рядка ділиться

ся на суму елементів всієї матриці. Процес припиняється, коли абсолютне значення різниці обчислених результатів на p -му та $(p-1)$ -му кроці не перевищує величину заданої похибки (в даному експерименті – значення 0.00001). Потреби в подальшому нормуванні результатів, в цьому випадку, – немає.

Метод *нормалізації елементів стовпців* полягає в обчисленні середніх арифметичних значень елементів рядків матриці A' , у якої спочатку нормалізовані елементи стовпців за формулою:

$$a'_{ij} = a'_{ij} / \sum_{i=1}^n a'_{ij} .$$

5.1.3.2 Хід експериментального дослідження та отримані результати

Для експерименту були використані чотири характерні набори ваг при $n = 5$ з наступними значеннями: $\{0.2, 0.3, 4, 5, 0.7\}$, $\{1, 1.732051, 3, 5.196152, 9\}$, $\{1, 9, 1, 9, 1\}$, $\{1, 1, 1, 1, 1\}$. Ці значення вибиралися виходячи з наступних міркувань: перший набір – довільні значення, другий набір – рівновіддалені значення в діапазоні значень фундаментальної шкали $[120, 164]$, поділки якої відповідають числам натурального ряду від 1 до 9. Таким чином, для другого набору значення формувалися за законом $w_{i+1} = w_i \cdot c$, де c – константа, для $n = 5$ і фундаментальної шкали $c = \sqrt{3}$. Виходячи із цього, другий набір має вигляд: $\{1, 1 \cdot \sqrt{3} = 1.732051, \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} = 3, 3 \cdot \sqrt{3} = 5.196152, 3 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} = 9\}$. Третій набір – крайні значення поділок фундаментальної шкали, і, четвертий набір – рівні значення.

Параметри генетичного алгоритму в даному експерименті були підібрані наступними: кількість особин у популяції – 200, імовірність мутації – 25%, кількість поколінь із однаковим результатом – 1500.

Результати експерименту для різних заданих наборів wag альтернатив w представлені в графічному вигляді на рисунку 5.3.

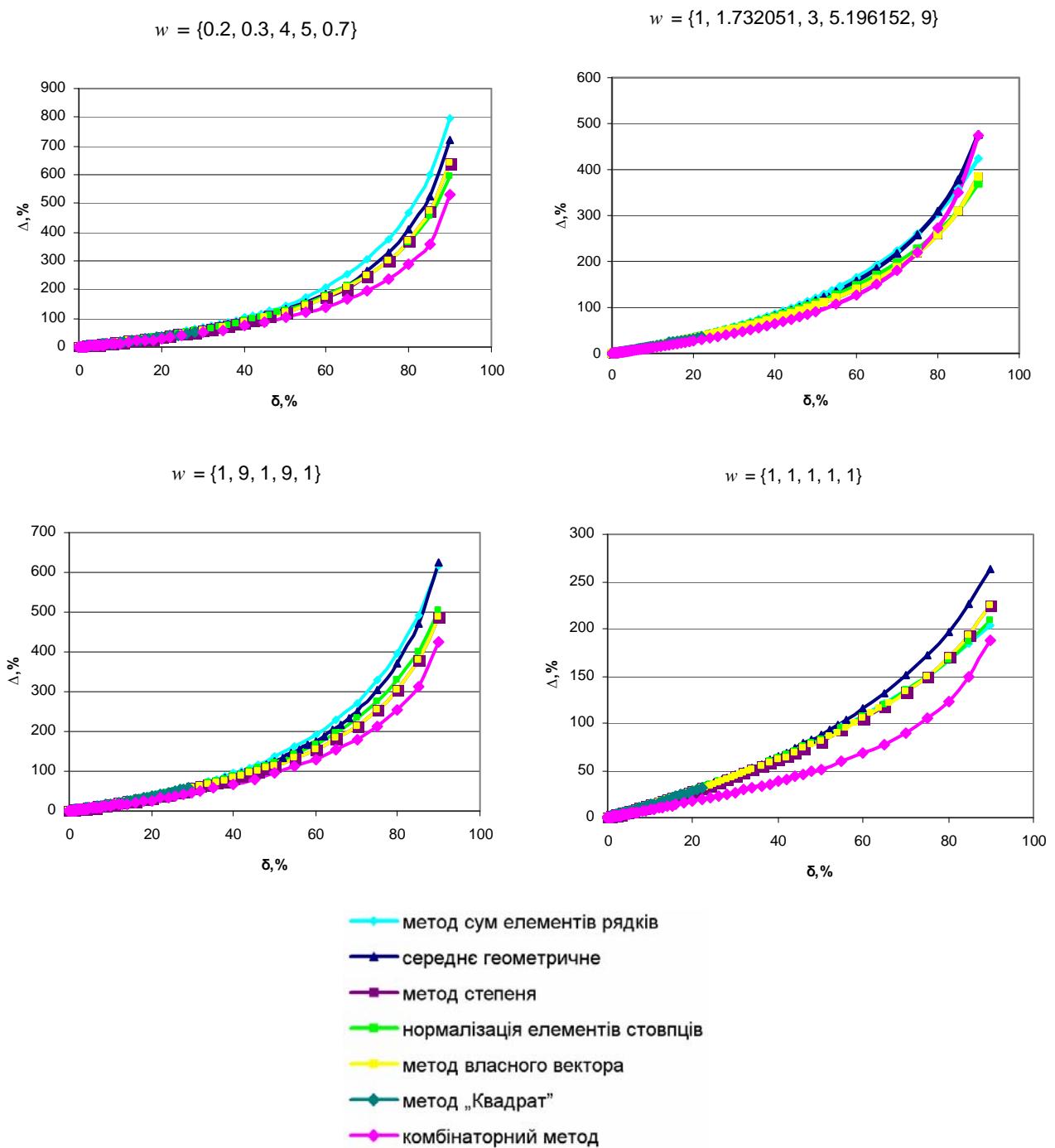


Рис. 5.3 Результати експериментального дослідження методів агрегації парних порівнянь

5.1.3.3 Висновки за результатами експериментального дослідження

Висновки, які можна зробити за результатами експериментального дослідження:

- результати експерименту підтверджують відоме положення, що метод власного вектора кращий за точністю, ніж знаходження ваг як геометричного середнього за рядками МПП;
- показники методу степеня, в більшості випадків, практично співпадають з показниками методу власного вектора при одинакових вхідних даних;
- відповідно методу „квадрат”, агрегація оцінок МПП має сенс тільки при досягненні деякої обчисленої мінімальної узгодженості, а при $\delta > 22..30\%$ в процесі експерименту вже генеруються МПП, які не відповідають даній умові, тому область визначення функції $\Delta(\delta)$ для цього методу обмежено справа до цих відповідних значень δ ;
- при відносних похибках експертних парних порівнянь менших 75%, тобто в найбільш імовірній ситуації при експертному оцінюванні, при всіх варіантах значень еталонних ваг спостерігається значна перевага ефективності методу комбінаторної обробки МПП у порівнянні з іншими методами, які представлені в експерименті;
- тільки один метод з досліджуваних, а саме, комбінаторний метод, і тільки при близьких значеннях заданих еталонних ваг і при відносних похибках парних порівнянь менших 50%, – дозволяє одержати ваги альтернатив з відносною похибкою меншою, ніж вихідна похибка парних порівнянь.

5.2 Стійкість оцінок варіантів рішень, як показник якості ППР

В даному підрозділі описано дослідження такого кількісного показника якості ППР, як показник стійкості оцінок варіантів рішень (незалежності їх від похибок експертів). Розглядається стійкість рішень при ранжируванні – збереження порядку ранжирування альтернатив при наявності природних помилок в процесі експертного

оцінювання, та стійкість при оцінюванні альтернатив – утримання оцінок в рамках деякої заданої максимальної відносної похибки.

При застосуванні методу цільового динамічного оцінювання альтернатив (МЦДОА) [167, 168] в СППР для оцінювання варіантів рішень актуальним постає питання: на скільки отримане рішення є стійким? Іншими словами, на скільки воно є незалежним від невідворотних помилок (похибок) експертів, що виникають при побудові БЗ в СППР? Питанню оцінки стійкості приділено достатньо уваги в науковій літературі [169-172], особливо, у джерелах, присвячених стійкості методу аналізу ієархій (AHP – Analytic Hierarchy Process) [52] – найпоширенішого в останні десятиліття здебільшого завдяки своїй простоті. В даному підрозділі це питання розглядається стосовно МЦДОА.

5.2.1 Сутність підходу визначення стійкості оцінок варіантів рішень, що оцінюються за допомогою МЦДОА

Розглядаючи процеси ППР, слід відмітити, що БЗ СППР зазвичай мають ієархічну, або, в більш загальному вигляді, мережеву структуру. Очевидно, що стійкість рішень залежить як від структури такої БЗ, так і від числових значень показників, що містяться в даній БЗ.

Що стосується структури БЗ, то постає питання: на скільки залежить стійкість рішень від складності БЗ? Проаналізувавши сутність МЦДОА, можна припустити, що складність мережової структури БЗ (ієархії цілей), а тим самим і стійкість рішень, які приймаються на її основі, залежить від довжин шляхів, що існують в ієархії цілей від будь-якої цілі нижнього рівня в ієархії до головної цілі. Це припущення пропонується перевірити провівши відповідне дослідження. Відносно ж числових значень показників, що знаходяться в БЗ, то важливо оцінити вплив помилок експертів при оцінюванні ступенів впливу одних цілей на інші, тобто при визначені часткових коефіцієнтів впливу (ЧКВ). І, оскільки, для визначення ЧКВ застосовуються методи експертного оцінювання, – необхідно визначити вимоги до цих методів стосовно їхньої точності, які висуваються з метою забезпечення бажаної до-

ствовірності отримуваних рішень.

Для кращого розуміння варто нагадати сутність МЦДОА, який застосовується в СППР „Солон-2” [72], „Солон-3” [173]. В таких СППР рішення приймається, базуючись на експертних знаннях (інформації із БЗ). Технологія формування БЗ подана в [73, 142-144] і коротко може бути описана наступним чином. Експертами (можливо, менеджерами найвищої ланки) формулюється головна ціль, яка поступово підлягає декомпозиції на більш прості цілі. Причому, в цьому процесі формування цілей на кожному етапі приймають участь групи експертів, що найбільш компетентні саме в питанні, що розглядається в даний момент.

Для наочності, БЗ можна зобразити у вигляді орієнтованого графа, де вершинам відповідають цілі, а наявність дуги, що виходить з деякої вершини A і входить в іншу вершину B , свідчить про наявність безпосереднього впливу цілі A на ціль B . Наголосимо, що в такому графі можуть бути зворотні зв’язки і впливи можуть бути, як позитивними, так і негативними. Прикладом такої БЗ може служити побудована в середовищі СППР „Солон-3” наступна ієархія цілей (рис. 5.4).

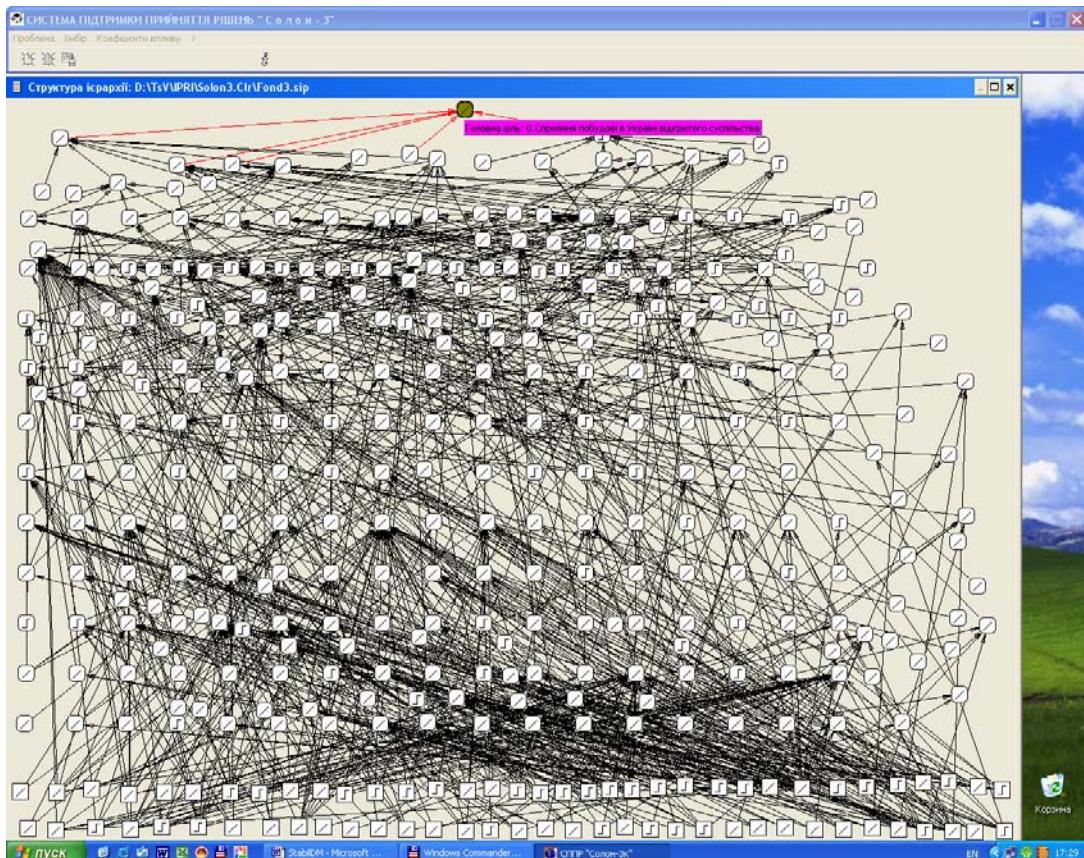


Рис. 5.4 Приклад зображення БЗ, сформованої за допомогою СППР „Солон-3”

Ці ж самі групи експертів, що приймали участь у розкритті (декомпозиції) деякої цілі, на подальших етапах формування БЗ, визначають ЧКВ сформульованих цілей на ціль, що ними розкривалась. На теперішній час розроблено досить велику кількість методів експертного оцінювання, за допомогою яких можна визначати ЧКВ. В рамках відділу Аналітичних методів інформаційних технологій (нині лабораторії СППР) Інституту проблем реєстрації інформації Національної академії наук України з залученням студентів декількох київських вищих навчальних закладів було проведено експериментальне дослідження низки відомих методів експертного оцінювання [93, 148, 174, 175].

Характеристики методів, що досліджувались, наведені в таблиці 5.1. Основні результати експериментального дослідження представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 Характеристики відомих методів експертного оцінювання

Ознака методу	Номери методів																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Зворотний зв'язок з експертом											+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Безпосередня оцінка	+																							
Трикутник		+	+								+	+										+	+	+
Квадрат				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
Попереднє упорядкування	+	+									+	+												
Фундаментальна шкала	+	+	+	+						+	+	+	+								+	+		
Довільна шкала	+				+	+	+	+						+	+	+	+	+			+	+	+	+
Адитивний						+	+							+	+						+		+	
Мультиплікативний	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+			
Паралельна обробка			+	+																				
Послідовна обробка по рядках	+	+			+		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+						
Послідовна обробка по стовпцях						+		+	+	+					+	+	+	+						
Комбінаторна обробка(КО)																					+	+	+	+
Перевірка узгодженості для КО																								+
Словесне введення		+		+						+	+	+							+	+				
Числове введення	+					+	+	+	+						+	+	+	+			+	+	+	+
Графічне введення			+		+									+	+									
Дискретні значення		+		+						+	+	+							+	+				
Квазібезперервні значення	+	+			+	+	+	+	+					+	+	+	+	+			+	+	+	+
Номер спареного метода	12	13	5	4	14	15	16	17	18	19	2	3	6	7	8	9	10	11	22	23	20	21		

Колонки таблиці 5.2 позначені наступним чином: K_s – коефіцієнт узгодженості; $E(K_s)$ – відносна оцінка за коефіцієнтом узгодженості; $R(K_s)$ – ранжирування за коефіцієнтом узгодженості; M_δ – математичне сподівання (МС) відносної похибки визначення експертних оцінок; $E(M_\delta)$ - відносна оцінка за МС відносної похибки; $R(M_\delta)$ - ранжирування за МС відносної похибки; M_τ - МС тривалості визначення

експертних оцінок; $E(M_\nu)$ - відносна оцінка за МС тривалості визначення; $R(M_\nu)$ - ранжирування за МС тривалості визначення; N_e - кількість експертів, що приймали участь у тестуванні методів.

Таблиця 5.2 Результати дослідження відомих методів експертного оцінювання

#	K_s	$E(K_s)$	$R(K_s)$	M_δ	$E(M_\delta)$	$R(M_\delta)$	M_τ	$E(M_\tau)$	$R(M_\tau)$	N_e
1	0.93807	0.04563	3	0.08748	0.02235	14	133.81	0.16677	1	157
2	0.90513	0.04403	10	0.23541	0.00831	21	295.81	0.07544	2	145
3	0.90894	0.04421	8	0.18579	0.01052	20	617.41	0.03615	12	148
4	0.96171	0.04678	1	0.50873	0.00384	23	326.29	0.06839	3	177
5	0.94984	0.04620	2	0.45695	0.00428	22	668.78	0.03337	14	142
6	0.87017	0.04232	19	0.11498	0.01701	15	733.18	0.03044	16	61
7	0.89217	0.04339	14	0.07739	0.02527	11	825.57	0.02703	19	54
8	0.90786	0.04416	9	0.0665	0.02940	8	728.52	0.03063	15	118
9	0.91057	0.04429	7	0.08473	0.02308	13	741.39	0.03010	18	116
10	0.89331	0.04345	13	0.02644	0.07395	4	474.97	0.04698	5	119
11	0.89487	0.04353	11	0.02849	0.06863	5	479.42	0.04655	6	118
12	0.91350	0.04443	5	0.14993	0.01304	18	342.61	0.06514	4	154
13	0.91326	0.04442	6	0.12245	0.01597	16	653.99	0.03412	13	154
14	0.88639	0.04311	15	0.08386	0.02332	12	1379.90	0.01617	23	72
15	0.87412	0.04252	16	0.06753	0.02895	9	1359.19	0.01642	22	68
16	0.86867	0.04225	20	0.06753	0.02895	10	1036.55	0.02153	20	54
17	0.87408	0.04251	17	0.12763	0.01532	17	1183.89	0.01885	21	89
18	0.83731	0.04073	22	0.01533	0.12755	2	599.04	0.03725	11	70
19	0.83523	0.04063	23	0.18563	0.01053	19	737.93	0.03024	17	74
20	0.87113	0.04237	18	0.06485	0.03015	7	540.09	0.04132	8	60
21	0.84530	0.04111	21	0.01685	0.11604	3	480.90	0.04641	7	40
22	0.91400	0.04446	4	0.00794	0.24626	1	555.63	0.04016	10	106
23	0.89386	0.04348	12	0.03414	0.05727	6	550.69	0.04052	9	81

В подальшому, при розгляді питань, що стосуються методу оцінки стійкості генерованих рішень, буде використовуватись інформація з колонки, позначеної в таблиці 5.2, як M_δ - математичне сподівання відносної похибки. Саме ця колонка відображує характеристику методів за точністю.

МЦДОА дає можливість на основі попередньо сформованої БЗ розраховувати ефективність проектів/цілей, відносні ваги альтернатив, ранжирування альтернатив, т.ін., що є складовими при прийнятті рішень.

Основними класами задач, що вирішуються за допомогою МЦДОА, є ранжирування альтернатив та їх оцінювання. Означення понять стійкості для цих двох випадків можна сформулювати наступним чином.

Означення 5.1 Під *стійкістю* отримуваних рішень *при ранжируванні* будемо розуміти властивість збереження порядку ранжирування альтернатив при наявності природних помилок в процесі експертного оцінювання.

Для цього класу задач показником стійкості може служити ймовірність збереження порядку ранжування.

Означення 5.2 Стійкість отримуваних рішень при оцінюванні альтернатив, – це здатність утримання отриманих оцінок у діапазоні, обмеженому наперед заданою відносною похибкою.

У цьому випадку показником стійкості може бути ймовірність, що оцінка не вийде за межі допустимого діапазону відхилення. Характерно, що сам процес вирішення задач, що стосуються стійкості отримуваних рішень, є одним, і тим самим, незалежно від того, до першого чи до другого із розглянутих класів задач вона відноситься.

5.2.2 Задача визначення необхідної точності методу експертного оцінювання

Оскільки серед факторів, що впливають на стійкість рішень (отримуваних оцінок їхніх варіантів) одним із основних є метод, за допомогою якого проводиться експертне оцінювання, то актуальним вбачається вирішення задачі вибору методу експертного оцінювання, що забезпечить прийнятну точність для оцінок визначених експертним шляхом. Для вибору методу потрібно визначити його точність, що може бути достатньою для забезпечення заданої стійкості отримуваних варіантів рішень. Останню задачу може бути подано у наступній постановці.

Дано: сформована БЗ (ієрархія цілей);

Знайти: точність методу експертного оцінювання (математичне сподівання відносної похибки - M_δ), необхідну для того, щоб виконувалась умова перебування в заданих межах показника стійкості варіантів рішень, що оцінюються за допомогою МЦДОА.

Хід вирішення: Похибки експертів, що виникають при визначенні ЧКВ $k_i, i \in \{1..n\}$, зручно моделювати задаванням для БЗ *девіації* ЧКВ. В цьому випадку, девіація – це межа випадкового відхилення кожного з ЧКВ у відсотках від їх поточних значень. БЗ вважається підданою впливу девіації, коли кожен з її ЧКВ змінено за законом:

$k_i^* = k_i + R_i \cdot k_i \cdot \Delta / 100$, де R_i – випадкова величина, рівномірно розподілена в діапазоні $[-1; 1]$.

Очевидно, що для того, щоб отримати необхідну точність для методів експертного оцінювання, що застосовуються при визначенні ЧКВ, в ієрархії цілей потрібно знайти таку максимальну девіацію ЧКВ – Δ , при якій результат роботи МЦДОА залишається стійким (тобто не виникає порушення ранжирування, або, для іншого класу задач, відхилення отриманих оцінок не перевищує задану похибку).

Максимальна девіація ЧКВ для заданої БЗ визначається *методом половинного ділення*, як відносна величина, що вимірюється відсотками. Для цього задається деяке, довільне вихідне значення девіації ЧКВ в діапазоні пошуку від 0% до 100% і БЗ піддається впливу цієї девіації. Для цього вихідного значення девіації перевіряємо, чи залишається сталим результат роботи МЦДОА у порівнянні з результатом при девіації 0%. Якщо результат – сталий, то пошук максимальної девіації продовжується в діапазоні, обмеженому значенням, що використовувалось при попередньому розрахунку і верхньою межею діапазону (а точніше, розглядається середина цього діапазону). У протилежному випадку – коли результат не є сталим – береться для перевірки середина іншого діапазону, зліва від значення, що використовувалось в попередньому розрахунку. З кожною такою ітерацією діапазон пошуку звужується. Цей ітеративний процес закінчується при досягненні бажаної точності визначення девіації ЧКВ. Тобто, процес зупиняється, якщо значення середини діапазону пошуку відрізняється від значення одної з меж цього діапазону на величину, що не перевищує задану точність.

Слід відмітити, що, оскільки, процес моделювання помилок експертів є стохастичним, то існує ймовірність не виявити можливе порушення стійкості при деякій заданій девіації ЧКВ. При застосуванні вищеописаного методу дуже важливим є зведення до мінімуму цієї ймовірності, тому що, на відміну від послідовного пошуку, при методі половинного ділення, хоча процес пошуку і протікає значно швидше, проте будь-який пропуск порушення стійкості переводить пошук в невірний діапазон, що, як наслідок, часто призводить до невірних висновків. Ось, наприклад, нехай достовірно відомо, що порушення ранжирування в деякій ієрархії цілей починає

відбуватись при девіації 3%, а на деякому кроці пошуку при перевірці, коли значення девіації, наприклад, становило 5% не було виявлено порушення ранжирування. Тоді, навіть у випадку, що при перевірках решти значень девіації порушення ранжирування буде виявленим, знайдене методом половинного ділення значення девіації буде більшим за 5%.

Одним із очевидних способів ліквідувати не виявлення (пропуск) порушення стійкості є повний перебір варіантів значень ЧКВ в рамках заданої девіації. Виходячи з очевидного припущення, що функція залежності ймовірності виникнення порушення стійкості від значення девіації ЧКВ є монотонно зростаючою, можна зробити висновок, що порушення стійкості починають виникати насамперед при максимальних відхиленнях ЧКВ. Тоді, для суттєвого звуження області пошуку та найбільш швидкого виявлення можливого порушення, будемо задавати при переборі тільки крайні значення ЧКВ: $k_i^* = k_i \pm k_i \cdot \Delta / 100$.

В цьому випадку, кількість варіантів значень ЧКВ, що мають розглядатись при повному переборі буде 2^n , де n – кількість ЧКВ в ієрархії цілей. Ймовірно, щоб уникнути можливих пропусків порушення стійкості, також слід розглядати і варіанти, коли деякі ЧКВ не піддані впливу девіації ($\Delta = 0 \Rightarrow k_i^* = k_i$). В такому випадку, кількість варіантів значень ЧКВ буде порядку 3^n (три варіанти значень для кожного ЧКВ). Застосування такого типу переборів має сенс тільки при малих значеннях n , коли n не перевищує 15-20. В реальних ієрархіях цілей для визначення, чи відбуваються порушення стійкості результатів роботи МЦДОА при заданій девіації ЧКВ, пропонується застосування одного з еволюційних методів – Генетичного алгоритму (ГА), засновником якого вважається Холланд [115].

5.2.3 Задача пошуку максимального порушення стійкості за допомогою ГА

Розглянемо вищезгадану задачу, що як найкраще підпадає під класичну постановку задач, що реалізуються за допомогою ГА. Цю задачу можна сформулювати наступним чином.

Задано: сформовану ієрархію цілей, яка містить n ЧКВ; девіацію ЧКВ δ .

Знайти: таку множину значень ЧКВ, при якій спостерігається максимальне порушення стійкості результатів роботи МЦДОА під впливом девіації δ .

Саме при виконанні цієї, останнє сформульованої умови, виявлення порушення стійкості прийняття рішень може бути гарантованим. Виходячи з цієї умови, в ГА буде реалізовано функцію корисності. Тобто, функція корисності має приймати тим більше значення, чим більше порушення стійкості спостерігається. У випадку, що розглядається, ця функція буде задана алгоритмічно у вигляді реалізації МЦДОА з подальшим визначенням максимального відхилення значень результатів від стабільних значень (обчислених при відсутності девіації ЧКВ – при $\delta = 0$).

Визначення максимального відхилення результатів роботи МЦДОА від стабільних значень розглянемо окремо для кожного з двох класів задач, що згадувались раніше. При розгляді першого класу задач, пов'язаних з ранжуванням альтернатив, на перший погляд, здавалось логічним взяти за показник відхилення результатів МЦДОА від стабільних значень, наприклад, відстань Кемені [156], що визначається між двома відношеннями A та B , де A характеризує ранжування α – при відсутності девіації ЧКВ, B – ранжування β при заданій множині значень ЧКВ, що були піддані впливу девіації δ :

$$D(A, B) = \sum_{i,j} |\alpha(i, j) - \beta(i, j)|. \quad (5.1)$$

Але, при подальшому аналізі, виявляється, що відстань Кемені не зовсім відповідає вимогам щодо функцій корисності ГА, оскільки є нечутливою до тих змін результатів роботи МЦДОА, які не призводять до змін в ранжуванні. Тобто, для різних вхідних даних (різних множин значень ЧКВ) значення функції корисності буде одним і тим самим у випадку, коли не спостерігається порушення ранжування, і в цьому випадку будуть відсутні критерії для цілеспрямованого пошуку, який закладено в основу ГА. Тому, для класу задач підтримки прийняття рішень, пов'язаних із ранжуванням альтернатив, як функцію корисності в ГА було запропоновано використати емпіричну функцію виду:

$$f_1 = \sum_{i=1}^{k-1} \frac{a_{i+1} - a_i}{b_{i+1} - b_i}, \quad (5.2)$$

де a_i – кардинальна оцінка альтернативи з i -м рангом, що отримана при відсутності девіації ЧКВ, а b_i – кардинальна оцінка альтернативи з i -м рангом, отримана при заданій множині значень ЧКВ, які були піддані впливу девіації δ , k – кількість альтернатив – цілей нижнього рівня в ієрархії цілей.

Що стосується функції корисності для класу задач, в яких аналізуються ієрархії на предмет утримання результуючих оцінок альтернатив в рамках максимальної відносної похибки, то в даному випадку повністю задовольняє вимогам функція визначення цієї максимальної відносної похибки:

$$f_2 = \max_i \left(\frac{|a_i - b_i|}{a_i} \right), \quad (5.3)$$

де a_i та b_i – кардинальні оцінки i -ї альтернативи, отримані без наявності та при умові наявності девіації ЧКВ відповідно.

Поняття „популяція”, що застосовується в термінології еволюційних методів, відповідає множина фіксованої потужності, що складається з множин значень ЧКВ ієрархії цілей – варіантів рішень (в термінології Генетичного алгоритму, так званих, „особин” у популяції).

Відмінністю від класичної реалізації ГА є те, що в процесі пошуку проводиться перевірка на наявність порушення стійкості рішення, і припинення пошуку, якщо таке порушення виявлено. У випадку, якщо робота ГА завершена, і за весь час пошуку порушення стійкості не виявлено, то робиться висновок про стійкість рішень при заданій девіації ЧКВ δ .

Ця особливість в реалізації ГА знімає можливе питання про область визначення функції (5.2), а саме про поводження її при $a_{i+1} \leq a_i$. При таких значеннях фіксується порушення стійкості рішення (у цьому випадку – порушення ранжування) і на цьому кроці припиняється подальша робота ГА, а тому, відпадає необхідність в обчисленні функції корисності.

Отже, це застосування ГА є складовою (однією ітерацією) більш загальної задачі про знаходження необхідної точності методу експертного оцінювання.

Таким чином, коли методом половинного ділення знайдено максимальне значення девіації ЧКВ, при якому зберігається стійкість роботи МЦДОА, тоді це зна-

чення порівнюється з математичним очікуванням відносної похибки методів експертного оцінювання – M_δ , взятым із табл.5.2 і помноженим на 100, щоб привести до єдиної одиниці вимірювання – відсотків. Всі методи експертного оцінювання, у яких математичні очікування відносної похибки не перевищують знайдене значення девіації ЧКВ, можуть бути використані в подальшому для визначення ЧКВ даної ієрархії цілей.

Тепер розглянемо випадок, коли для даної ієрархії жоден з методів експертного оцінювання не задовольняє по точності вимоги щодо стійкості рішень. У цьому випадку методика передбачає зробити деякі зміни в самій ієрархії цілей з метою підвищити стійкість генерованих на її основі рішень. За допомогою програмних інструментів, в основу яких покладено вище описаний метод, проаналізуємо основні фактори, що впливають на стійкість рішень.

5.2.4 Аналіз впливу на стійкість: числових значень показників, що містяться в базі знань та структури самої бази

5.2.4.1 Програмні інструменти, створені для аналізу стійкості рішень

Для дослідження факторів, що впливають на стійкість рішень в тій чи іншій ієрархії цілей, розроблено програмні інструменти. Ці інструменти створені у вигляді додатків до СППР „Солон-3” і розроблені в середовищі програмування „Delphi”. В СППР „Солон-3” додано режим ”Аналіз стійкості рішень” (див. Рис. 5.5), в якому задаються вихідні дані для розрахунків.

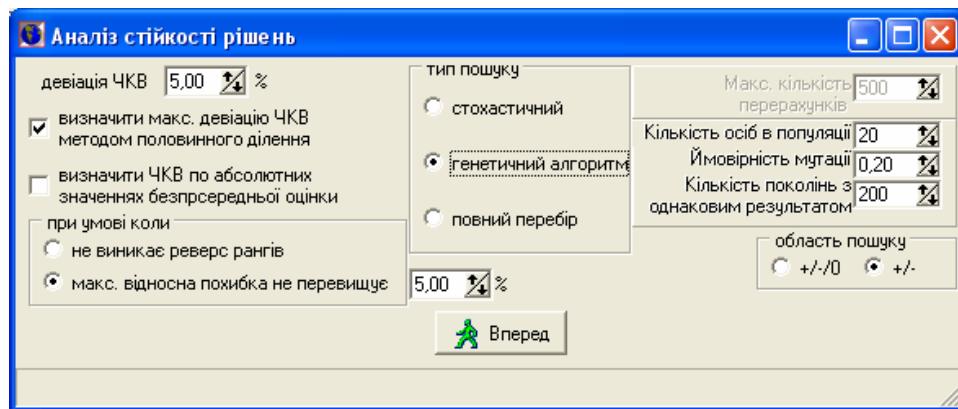


Рис. 5.5 Екранна форма інтерфейсу програмних інструментів, створених для аналізу стійкості рішень в СППР „Солон-3”

Серед вихідних (початкових) даних, що можуть бути уведені користувачем, наступні:

- девіація ЧКВ, при якій виконується розрахунок за допомогою МЦДОА (можна задати число в діапазоні від 0 до 100 в відсотках з точністю до двох знаків після коми);
- галочкою можна відмітити пункт „вивзначити максимальну девіацію ЧКВ методом половинного ділення” для того, щоб після першого розрахунку з допомогою МЦДОА процес не зупинявся, а продовжився б пошук межі стійкості рішень при різних девіаціях методом половинного ділення;
- галочкою можна відмітити пункт „вивзначити ЧКВ по абсолютних значеннях безпосередньої оцінки”, щоб для розрахунків використовувались ненормовані значення ЧКВ, які задавались експертами методом безпосередньої оцінки;
- потрібно вибрати умову перевірки на стійкість рішень (один із двох типів задач): або не виникнення реверсу рангів, або умова, коли максимальна відносна похибка не перевищує задане значення в відсотках;
- вибирається тип пошуку з індивідуальними параметрами: а) стохастичний пошук з задаванням кількості повторних розрахунків, б) Генетичний алгоритм з задаванням параметрів (кількість особин в популяції, ймовірність мутацій, кількість поколінь з однаковим результатом), в) повний перебір (може використовуватись тільки

в ієрархіях з невеликою кількістю зв'язків, в основному для перевірки якості результатів отриманих іншими методами пошуку);

- вибирається варіант області пошуку: або „ $+/-0$ ”(це випадок, коли ЧКВ приймають три варіанти значень: $k_i^* = k_i + k_i \cdot \Delta / 100$, $k_i^* = k_i - k_i \cdot \Delta / 100$ та $k_i^* = k_i$), або „ $+/-$ ”(це випадок, коли ЧКВ приймають тільки два варіанти значень: $k_i^* = k_i + k_i \cdot \Delta / 100$ та $k_i^* = k_i - k_i \cdot \Delta / 100$).

Під час розрахунків, підсистема дозволяє виявити порушення стійкості рішень обраного типу, а також методом половинного ділення знайти граничне значення девіації ЧКВ, при якому зберігається стійкість в прийнятті рішень на основі БЗ, що розглядається.

5.2.4.2 Вплив числових значень показників, що містяться в БЗ

Одним із очевидних чинників, що впливають на стійкість рішень, які приймаються на основі інформації БЗ, є значення ЧКВ. Адже безсумнівно, що у випадку, коли деякі впливи на одну й ту ж саму ціль в БЗ мало відрізняються один від одного, то в такій БЗ не слід очікувати стійкого ранжирування проектів, оскільки досить незначні зміни у величині одного з цих впливів можуть приводити до зміни порядку в ранжуванні.

Це припущення можна перевірити, скориставшись програмним інструментом, описаним у попередньому підпункті. Для цього сформуємо деяку ієрархію цілей і, наприклад, для безпосередніх впливів проектів (цілей нижчого рівня ієрархії) на окрему відповідну їм ціль, задамо ЧКВ однаковими. Потім, для тих самих впливів, задамо ЧКВ, що відрізняються один від одного не менше ніж на 5%. І, нарешті, не менше ніж на 10%. Знайдені за допомогою вищеописаного програмного інструменту значення допустимої девіації ЧКВ виявились наступними: для однакових ЧКВ – 0,02%, для тих, що відрізняються не менше, ніж на 5% – 3,12% і для тих ЧКВ, що відрізняються не менше, ніж на 10% – 4,32%.

На основі цих результатів можна зробити висновок про те, що чим більше відрізняються один від одного значення ЧКВ в ієрархії цілей, тим більшою є стійкість

рішень, що приймаються ґрунтуючись на знаннях цієї БЗ. Отже, у випадку, коли жодний з відомих методів експертного оцінювання не задовольняє вимоги по точності для деякої ієрархії, то одним із способів підвищити стійкість рішень, що приймаються на основі даної БЗ, є досягнення більшої відмінності між значеннямиступенів впливу в кожній групі цілей, що впливають на деяку ціль.

5.2.4.3 Вплив структури БЗ

Спочатку перерахуємо основні чинники, які відносяться до поняття „структурі БЗ”. Напевне, до них слід віднести: загальну кількість цілей, кількість зв’язків в БЗ, кількість цілей нижнього рівня, довжини шляхів у мережевій структурі БЗ і т. ін. При застосуванні МЦДОА основними факторами, що можуть вплинути на стійкість рішень, є: довжини шляхів, кількість цілей в ієрархії (а точніше, кількість впливів – наявних зв’язків між цілями). Крім того, слід відзначити, що чим більше проектів (цілей нижнього рівня ієрархії), які приймають участь в генерації рішень, тим більша ймовірність порушення умови стійкості отримуваних рішень.

Автором проведено експериментальний аналіз впливу структури БЗ на стійкість рішень, що приймаються на основі цієї БЗ, а саме впливу довжин шляхів до головної цілі ієрархії. При цьому реалізовано прагнення ліквідувати вплив інших факторів, таких як кількості цілей і впливів (дуг) у графі ієрархії цілей. У зв’язку з цим, в ієрархії було зафіковано множину проектів, що оцінюються за допомогою МЦДОА. І, таким чином, для проведення експериментального дослідження згенеровані ієрархії цілей з наступними особливостями. Кількість цілей зафіковано на значенні 30, серед яких одна – головна ціль і 10 проектів. Решта цілей розміщувалась у різних варіантах в 2, в 4 і в 6 рівнів. Для спрощення підрахунків шляхів, – зв’язки наявні тільки між рівнями ієрархії, і їхню кількість в даному експерименті зафіковано на значенні 39 (з метою оптимізації обчислювальних ресурсів, максимальна загальна кількість варіантів значень ЧКВ – 3^{39} не виходить за межі 64-розрядного цілого числа). Таким чином сформовані ієрархії зображені на рис. 5.6.

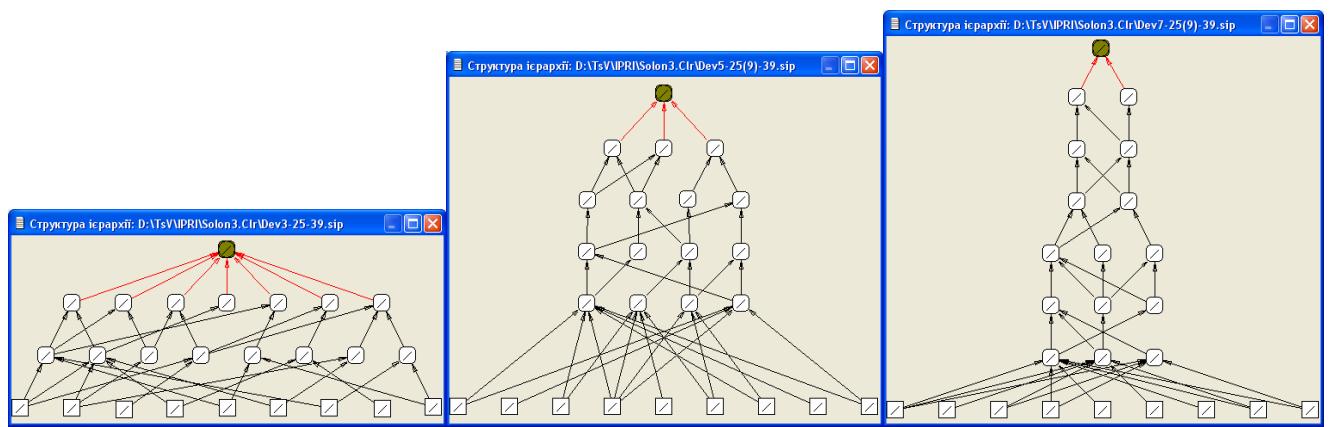


Рис. 5.6 Ієрархії цілей, що сформовані для експерименту по виявленню впливу структури БЗ на показники стійкості отримуваних рішень

Результати застосування вище описаного методу для експериментального аналізу впливу структури БЗ на стійкість рішень, що оцінюються, показали, що досліджувати цей вплив проблематично через неможливість повністю позбавитись впливу усіх інших факторів, окрім самої структури, а саме, неможливо відкинути вплив на стійкість рішень числових значень ЧКВ в БЗ. При спробі встановити значення ЧКВ однаковими для впливів усіх підцілей кожної цілі ієрархії, виявлено, що показник стійкості для таких БЗ є близьким до нуля (тобто, такі БЗ повністю нестійкі в цьому сенсі, бо будь-яка, навіть незначна, зміна значень ЧКВ призводить до порушення стійкості рішень). В такій ситуації на основі отриманих експериментальних даних легко прийти до помилкових висновків.

У зв'язку з цим, запропоновано скористатись замість експериментального, – аналітичним дослідженням впливу структури БЗ на стійкість рішень. Для початку, без втрати загальності, будемо розглядати спрощені БЗ, а саме такі, що мають наступні властивості:

- всі цілі – лінійні;
- негативних впливів немає;
- всі безпосередні підцілі для кожної з цілей – сумісні між собою (тобто, досягнення однієї з підцілей не робить недоцільним або неможливим досягнення іншої);
- відсутні зворотні зв'язки (немає впливів цілей вищих рівнів на цілі з нижчих рівнів ієрархії цілей).

Ці перераховані спрощення дозволяють перейти до більш простої і наглядної моделі обчислення ефективності альтернатив за допомогою МЦДОА та звести подання цієї моделі від алгоритмічної форми до аналітичної.

Отже, за результатами аналізу алгоритму, що реалізує МЦДОА для спрощених БЗ було виявлено, що при обчисленні ефективності альтернатив цим методом можна застосовувати наступний аналітичний вираз:

$$e_i = \sum_{p_l \in P_i} \prod_j k_j^l, \quad (5.4)$$

де e_i – ефективність i -ї альтернативи, P_i – множина шляхів від i -ї цілі до головної цілі в графі, яким представлена БЗ, k_j^l – ЧКВ, що характеризують кожен із впливів, які належать шляхові p_l із множини P_i . Іншими словами, ефективність альтернативи обчислюється через суму добутків ЧКВ тих впливів, що належать множині усіх шляхів від цієї альтернативи до головної цілі.

Якщо врахувати вплив девіації Δ , коли під її впливом ЧКВ змінюються наступним чином:

$$\hat{k}_j^l = k_j^l \pm k_j^l \cdot \Delta, \quad (5.5)$$

тоді після підстановки (5.5) в (5.4), та після незначних перетворень, отримаємо:

$$\hat{e}_i = e_i (1 \pm \Delta)^n, \quad (5.6)$$

де e_i та \hat{e}_i – ефективності i -ї альтернативи, визначені без впливу девіації ЧКВ Δ та під її впливом відповідно, n – довжина шляху від i -ї цілі до головної цілі при умові, що всі такі шляхи мають одинакові довжини (у випадку різних довжин шляхів – n прийматиме деяке середнє значення). В виразах (5.5) і (5.6) використовуються максимальні відхилення Δ , оскільки цікаво дослідити поведінку функції ефективності в крайніх її точках, особливо, коли Δ має тенденцію до накопичення (випадок, коли всі Δ мають знак “+”, або всі зі знаком “-”).

Із виду співвідношення (5.6) можна зробити висновок для спрощених БЗ, що із збільшенням кількості рівнів в ієрархічній структурі БЗ і, тим самим, із збільшенням довжини шляху n – зменшується стійкість рішень, що приймаються на основі знань цієї БЗ. Цей висновок можна розповсюдити і на БЗ, в яких наявні зворотні зв’язки,

оскільки, такі зв'язки утворюють цикли в графі ієрархії цілей і, тим самим, призводять до збільшення довжини шляхів n . Для БЗ загального виду описана закономірність зберігається.

5.2.5 Підвищення стійкості баз знань СППР до відхилень експертних оцінок

У попередньому пункті, а рівно з тим і в роботах [176, 177] приділялася увага оцінці стійкості варіантів рішень при розрахунку їхньої ефективності з застосуванням МЦДОА [167] на основі експертних БЗ. Після розрахунку числового показника стійкості БЗ з використанням методу, описаного в підрозділі 5.1, виникає питання, що робити, якщо знайдений рівень стійкості не задовольняє попередньо поставленним вимогам? Частково, відповідь на це питання може дати метод, висвітлений у даному підрозділі та опублікований в [178].

Як відзначалося у попередньому підрозділі, на стійкість БЗ СППР – ієрархій цілей впливають як структурні, так і кількісні (числові) параметри. Змінити структуру ієрархії цілей так, щоб її стійкість зросла, не завжди можливо. Для цього пропонується домогтися зменшення довжин максимальних шляхів від цілей нижнього рівня до кореневої (головної) цілі в ієрархії, і тому, відкритим залишається питання: як це зробити коректно, зважаючи на думку експертів, що надавали свої знання про предметну область при побудові ієрархії цілей? На розв'язанні цього питання акцентовано увагу при висвітленні першого методу (пункт 5.2.1). При викладенні другого методу (пункт 5.2.2) зосереджено увагу на підвищенні стійкості за рахунок кількісних параметрів ієрархії цілей. Фактично, такими кількісними параметрами є часткові коефіцієнти впливу цілей даної ієрархії. ЧКВ є позитивними, нормованими до одиниці дійсними числами, і, як відзначалося в попередньому підрозділі, для підвищення стійкості доцільно домогтися того, щоб ЧКВ цілей на деяку певну ціль були такими, що розрізняються (відрізнялися б, як найсильніше, у рамках групи цілей, що впливають на якусь конкретну ціль).

5.2.5.1 Підвищення стійкості БЗ за рахунок структурних змін

У БЗ СППР, внаслідок специфіки її побудови, заснованої на декомпозиції цілей із залученням експертних знань, можуть виникати так звані «лінійні» ділянки ієрархії. Лінійні ділянки являють собою ланцюжки, що складаються із цілей (вузлів / вершин графа ієрархії), зв'язаних послідовно впливами (дугами графа). Причому, кожна із проміжних (не кінцевих / не термінальних) ланок таких ланцюжків є вершиною, у яку входить і з якої виходить по одній єдиній дузі графа ієрархії цілей. Такі лінійні ділянки, завдяки специфіці розрахунку з застосуванням МЦДОА, пропонується вилучити із графа ієрархії цілей, замінивши їх ділянкою, що складається з однієї із двох термінальних вершин. Схематично таке перетворення представлене на Рис. 5.7, де цілі, – вершини графа, позначені літерами G_i , а впливи, – дуги зважені ЧКВ, позначені літерами k .

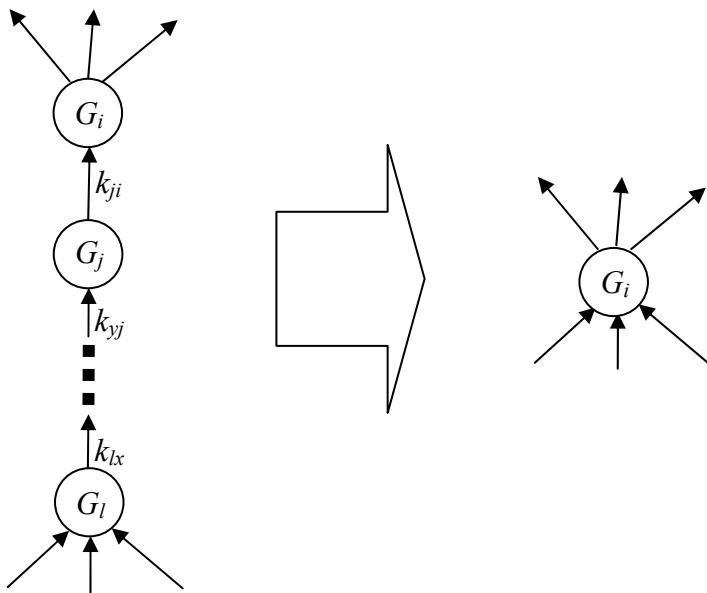


Рис. 5.7 Видалення лінійної ділянки із графа ієрархії цілей

Таке перетворення ієрархії цілей можливо тому, що всі ЧКВ – це нормовані до одиниці величини в групах ЧКВ цілей, що безпосередньо впливають на деяку конкретну ціль G_c : $\sum_i k_{ic} = 1, \forall i | k_{ic} > 0$, і в зображеному на рис.5.4 ланцюжку, що видаляється, ЧКВ $k_{ji}, k_{yj}, \dots, k_{lx}$ всі рівні 1, і тому вони не впливають на результати роз-

рахунку з застосуванням МЦДОА.

Після такого роду видалення лінійної ділянки ієрархії цілей, ціль G_i може бути переформульована експертами, оскільки на дану ціль стали безпосередньо впливати цілі нижнього рівня, але за звичай, через присутність у початковому виді ієрархії цілей непрямих впливів на ціль G_i цих самих цілей нижнього рівня, такої зміни у формулюванні не потрібно.

Таким чином, для підвищення стійкості бази знань пропонується виключати із графа ієрархії лінійні ланцюжки й тим самим зменшувати середню довжину шляхів від цілей нижнього рівня до головної цілі ієрархії. Відзначимо, що застосування методу може відбуватися без додаткового втручання (звертання до) експертів, що є безперечною перевагою даного методу. Однак, оскільки на практиці, у графі ієрархії, наявність таких лінійних ланцюжків – не дуже часте явище, то основну увагу все-таки буде приділено другому методу, висвітленому у наступному пункті.

5.2.5.2 Підвищення стійкості за рахунок зміни кількісних параметрів

Варто акцентувати увагу на тому, що стійкість ієрархії цілей залежить від стійкості ЧКВ груп цілей, що впливають на деякі загальні для них цілі. Тому підвищення стійкості ієрархії цілей можна розглядати як підвищення стійкості ЧКВ окремих груп цілей цієї ієрархії.

Описаний нижче метод полягає в тому, щоб за рахунок узгодженості з експертами – укладачами ієрархії цілей – зміни ЧКВ за певними правилами, домогтися поліпшення стійкості ієрархії цілей. Як відзначалося раніше, стійкість БЗ СППР залежить від значень відношень між ЧКВ групи цілей, що впливають на деяку загальну для них ціль в ієрархії. При точнішому формулюванні, – стійкість безпосередньо залежить від величини мінімальної відмінності між ЧКВ у таких групах цілей. Базуючись на цих, раніше проведених дослідженнях і зроблених висновках, сформулюємо ідею методу.

Сутність методу полягає в знаходженні в графі ієрархії цілей такої пари впливів цілей G_i і G_j (з відповідними їм ЧКВ k_{ic} і k_{jc}) на деяку загальну для цієї пари ціль G_c ,

де відмінність в парі ЧКВ мінімальна серед усіх припустимих для порівняння пар ЧКВ в ієрархії цілей, тобто $(k_{ic} / k_{jc}) \rightarrow 1$, або точніше, $(\max(k_{ic}, k_{jc}) / \min(k_{ic}, k_{jc})) \rightarrow \min$. Далі, для знайденої пари впливів (для пари ЧКВ) цілей пропонується, з огляду на думку експертів, збільшити відмінності між ЧКВ в цій парі. Внаслідок циклічного повторення описаних процедур метод призводить до досягнення бажаного рівня стійкості.

Збіжність методу підтверджується експериментальними даними, що свідчать про монотонне збільшення показника стійкості при збільшенні мінімальних відмінностей серед ЧКВ у групах [177].

Зупинимося на ряді особливостей реалізації методу. У процесі пошуку мінімуму пропонується знаходити деякий показник D відмінностей для всіх порівнянних пар ЧКВ: $D_{ijc} = \max(k_{ic}, k_{jc}) / \min(k_{ic}, k_{jc})$. Причому, обчислені у такий спосіб показники варто зберігати в упорядкованій за зростанням послідовності $[D_1, D_2, \dots, D_n]$, де $1 \leq D_1 \leq D_2 \leq \dots \leq D_n$. Ця впорядкована послідовність використовується для визначення необхідної міри збільшення відмінностей у парі ЧКВ, іншими словами, знайдений мінімальний показник відмінностей D_1 доцільно збільшувати, поки його величина не перевершить значення наступного за зростанням показника – D_2 . Даний механізм служить для забезпечення зміни значення мінімального показника відмінностей на наступному кроці ітераційного процесу, і тим самим сприяє більш швидкій збіжності алгоритму методу.

Тепер зупинимося на проблемах, пов'язаних зі збільшенням відмінності у парі знайдених ЧКВ. По-перше, знайдена пара з мінімальним показником відмінності належить до групи – множини нормованих до одиниці значень, і оскільки ЧКВ є позитивними відносними величинами ($\sum_i k_{ic} = 1$), тому зміна одного якого-небудь

значення із множини неминуче спричинить зміну інших значень із цієї множини. Причому, якщо деяке задане значення із множини збільшувати (як цього вимагає метод), то інші значення із цієї множини можуть стати меншими ніж задане значення, що приведе до зациклення методу.

Виходом з такої ситуації вбачається визначення якогось обмеження на збільшення показника відмінностей ЧКВ у парах групи. Таким обмеженням може служити максимально можлива мінімальна відмінність серед пар ЧКВ, нормованих у рамках деякої групи. Така відмінність існує, коли ЧКВ у групі є рівновіддаленими значеннями в шкалі відношень, тобто виконується рівність: $k_{1c}C^{n-1} = k_{2c}C^{n-2} = \dots = k_{n-1c}C = k_{nc}$, де в групі n ЧКВ, які упорядковані за зростанням, $C=\text{const} > 1$. Так, відповідно до наведеної рівності, мінімальна відмінність в парах ЧКВ спостерігається серед пар із сусідніх ЧКВ, причому ця відмінність однакова для всіх пар сусідніх ЧКВ і дорівнює C : $k_{2c} / k_{1c} = k_{3c} / k_{2c} = \dots = k_{nc} / k_{n-1c} = C$. Такі ЧКВ – це члени зростаючої геометричної прогресії зі знаменником прогресії $C > 1$.

Через першу, вищевказану проблему виникає необхідність розгляду зміни кожної множини зв'язаних нормуванням ЧКВ у цілому, а не в рамках зміни окремих пар ЧКВ із цієї множини. Формальна постановка такої задачі може виглядати наступним чином.

Дано: множина K із n ЧКВ $\{k_{1c}, k_{2c}, \dots, k_{nc}\}$ цілей ієрархії, що впливають на деяку ціль G_c , $\sum_{i=1}^n k_{ic} = 1, \forall i | k_{ic} > 0$. (фрагмент ієрархії показаний на рис. 5.8).

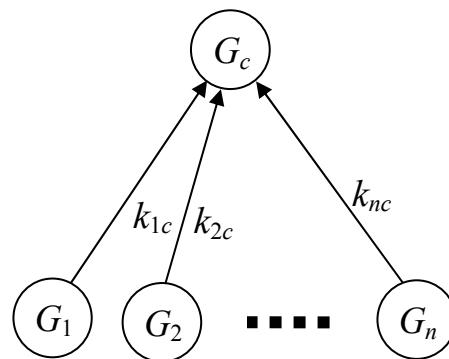


Рис. 5.8 Фрагмент графа ієрархії цілей

Знайти: спосіб збільшення мінімальної відмінності між ЧКВ із заданої множини K .

Рішення: Без втрати загальності вважаємо, що ЧКВ пронумеровано в порядку зростання їхніх значень. Крім того, оскільки в подальших викладеннях маємо справу із ЧКВ цілей, що впливають на одну єдину ціль з індексом « c », і щоб спростити вид

виразів із індексами, будемо вважати, що $\forall i | k_{ic} \equiv k_i$, і тим самим, позбудемося від подвійної індексації при викладі матеріалу. Отже, згідно з новим позначенням, маємо послідовність ЧКВ $[k_1, k_2, \dots, k_n]$, визначимо для кожної сусідньої пари ЧКВ їхнє відношення: $D_{ii-1} = k_i / k_{i-1}$, $i \in \{2..n\}$. Як видно з даного виразу, кількість таких значень $(n-1)$. Для наступних маніпуляцій з даними величинами, упорядкуємо їх за зростанням й знайдемо середнє геометричне цих значень за формулою: $\tilde{D} = \sqrt[n-1]{\prod_{i=2}^n D_{ii-1}}$.

Пронумеруємо впорядковані за зростанням значення, позначивши їхній порядковий номер верхнім індексом у дужках, одержимо впорядковану послідовність $[D_{ii-1}^{(1)}, D_{jj-1}^{(2)}, \dots, D_{zz-1}^{(n-1)}]$, $(i \neq j \neq \dots \neq z) \in \{2..n\}$, де $1 \leq D_{ii-1}^{(1)} \leq D_{jj-1}^{(2)} \leq \dots \leq D_{zz-1}^{(n-1)}$.

Приступимо до зміни (збільшення) мінімального відношення ЧКВ $D_{ii-1}^{(1)}$. Воно є мінімальним як у розглянутій на даний момент групі ЧКВ, так і в цілому в ієрархії цілей (як відзначалося на початку опису методу). Збільшивши дане мінімальне значення, ми, по суті, підвищимо стійкість ієрархії цілей. Збільшення $D_{ii-1}^{(1)}$ можна зробити двома способами: 1) збільшивши k_i , 2) зменшивши k_{i-1} . Не слід забувати, що ЧКВ $[k_1, k_2, \dots, k_n]$ – це відносні нормовані позитивні величини й збільшення однієї з них веде до зменшення, хоча й менш значне, інших величин і навпаки.

Тепер опишемо запропоновану стратегію виконання операції збільшення $D_{ii-1}^{(1)}$, що забезпечує збільшення мінімуму серед відношень сусідніх ЧКВ.

Перший випадок: $i = 2$, тобто є варіант збільшити k_2 або зменшити k_1 . У цьому випадку, оскільки k_1 – мінімальний ЧКВ у групі й, отже, він фігурує тільки в єдиному з відношень – $D_{21}^{(1)}$, пропонується в першу чергу зменшити його. Це спричинить мінімальні зміни серед інших ЧКВ у розглянутій групі.

Другий випадок: $i = n$, тобто є варіант збільшити k_n або зменшити k_{n-1} . У цьому випадку, оскільки k_n – максимальний зі ЧКВ групи й фігурує тільки в єдиному відношенні – $D_{nn-1}^{(1)}$, то пропонується в першу чергу збільшити його, що так само не спричинить значних змін серед інших ЧКВ.

Третій випадок: $(i \neq 2) \wedge (i \neq n)$, наприклад, при $i = y$ варіант для $D_{yx}^{(1)} | x = y - 1$,

– збільшити k_y або зменшити k_x . Слід зазначити, що в першому й другому з описаних випадків ми мали справу зі змінами значень крайніх ЧКВ (зменшенням мінімального й збільшенням максимального) і величина зміни цих значень не мала значення. У третьому ж випадку, збільшення ЧКВ k_y впливає не тільки на збільшення $D_{yx}^{(1)}$, але й на зменшення деякого $D_{y+1y}^{(d)} | 1 < d \leq n - 1$, а зменшення k_x спричиняє не тільки збільшення $D_{yx}^{(1)}$, але й зменшення деякого $D_{xx-1}^{(e)} | 1 < e \leq n - 1$. У зв'язку із цим, у такому випадку передбачається робити вибір між зміною k_x або k_y виходячи наступних міркувань. Пропонується допускати зміну $D_{y+1y}^{(d)}$ й $D_{xx-1}^{(e)}$ тільки убік наближення його до розрахованого заздалегідь \tilde{D} – середнього геометричного всієї послідовності відношень. Якщо ж обидві із цих можливих змін припустимі, то вибирається зміна тієї величини, що більше віддалена від \tilde{D} .

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє збільшувати мінімальну відмінність між ЧКВ.

Відзначимо, що всі описані вище зміни ЧКВ провадяться за процедури зворотного зв'язку з експертами й погоджуються з ними. У випадку ж відхилення експертною групою пропозиції про зміну того або іншого ЧКВ або неможливості його зміни з міркувань описаної стратегії, провадиться спроба збільшити наступне за величиною значення D в упорядкованій послідовності значень всієї ієархії цілей. Післяожної вдалої зміни ЧКВ пропонується формувати впорядковану послідовність відношень сусідніх ЧКВ знову, тобто заново розрахувати всі значення D .

Таким чином, описаний метод дозволяє з урахуванням думки експертів підвищити стійкість заданої ієархії цілей за рахунок зміни її кількісних параметрів, а саме значень ЧКВ.

5.3 Висновки за розділом 5

Розкрито підхід до визначення ефективності методів агрегації експертних оцінок при використанні парних порівнянь, заснований на моделюванні можливих похибок (відхилень у судженнях) експертів при парних порівняннях. На відміну від

підходів, що базуються на статистичних методах, він дає можливість гарантовано (а не з деякою ймовірністю) визначати значення показника ефективності того чи іншого методу агрегації. Базуючись на цьому підході, проаналізовано ряд відомих методів агрегації та зроблено висновки про їхню ефективність.

На базі даного підходу, який передбачає застосування еволюційних методів для пошуку максимально можливих відхилень у результатах агрегації парних порівнянь створено програмний експериментальний модуль для визначення показника ефективності методів агрегації результатів парних порівнянь. Цей програмний інструмент дає змогу провести ряд досліджень, а саме: аналізувати динаміку залежності ефективності методів агрегації від розмірності МПП, виявляти закономірності поведінки графіків залежності при різних значеннях ваг альтернатив, визначати напрямки роботи по створенню нових, більш ефективних, методів агрегації.

В розділі також висвітлено один із важливих показників якості функціонування СППР – стійкість оцінюваних рішень. Запропоновано методику визначення цього показника для СППР, що оцінюють варіанти рішень на основі обробки експертних знань з допомогою МЦДОА при врахуванні наявності похибок з боку експертів. Показник розглянуто у двох аспектах: при збереженні результуючого ранжирування та при забезпеченні перебування розрахованих оцінок в діапазоні, обмеженому заздалегідь заданою відносною похибкою. Виділено числові і структурні фактори, що впливають на стійкість рішень. Запропоновано рекомендації щодо вибору методу експертного оцінювання з відповідними параметрами точності з метою отримання стійких рішень для конкретної БЗ.

Розкрито метод підвищення стійкості ієрархій цілей за рахунок структурних змін у них і метод зі зворотним зв'язком з експертами, що дозволяє досягти підвищення стійкості за рахунок зміни значень ЧКВ. Ці два методи доцільно використовувати послідовно в запропонованому порядку або ж окремо один від одного. Не ефективним використанням є зміна в структурі ієрархії після досягнення підвищення її стійкості за рахунок зміни значень ЧКВ (тобто коли перший метод застосовується після другого).

РОЗДІЛ 6

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У розділі розглядаються різні аспекти практичного застосування запропонованого інструментарію ППР. Фактично, застосування запропонованої технології зводиться до розробки СППР різних класів. Перш за все слід відмітити, що ефективне застосування СППР може мати сенс лише при груповому експертному оцінюванні, тому одним із практичних аспектів застосування технології ППР є побудова БЗ групою експертів, що розподілено працюють у комп'ютерній мережі. Okрім цього, у наступних підрозділах дослідження приділено увагу таким практичним задачам, як ППР при оцінюванні персоналу за кількісними критеріями, підтримка прийняття кадрових рішень, ППР у конфліктних ситуаціях та розподіл обмежених ресурсів між проектами.

6.1 Побудова баз знань систем ППР групами розподілених експертів

База знань у вигляді ієрархій критеріїв, або ієрархій цілей є невід'ємною частиною СППР на основі багатокритеріального [53, 179-190], або цільового оцінювання альтернатив [142, 143, 167, 168, 191]. Для побудови бази знань мають залучатися декілька експертів, причому склад групи і фах цих експертів при побудові різних фрагментів бази знань є неоднаковими. Досвід роботи з групами експертів свідчить про те, що через велику зайнятість членів групи організувати їх зустріч для спільної роботи дуже важко. Значно більші можливості для цього відкривають комп'ютерні мережі, зокрема INTERNET. Для створення умов плідної роботи по побудові бази знань СППР групою експертів необхідно вирішити ряд проблем теоретичного, технічного та організаційного характеру. Цей підрозділ присвячено викладенню досвіду вирішення цих проблем стосовно побудови БЗ СППР, в якій використовується метод динамічного цільового оцінювання альтернатив. Вибір технології ППР пов'язаної з БЗ саме цього типу пояснюється тим, що проблема побудови БЗ розпо-

діленими експертами є більш загальною, ніж проблеми побудови БЗ при застосуванні технології ППР з мультикритеріальним оцінюванням альтернатив.

При побудові бази знань СППР групою розподілених експертів необхідно вирішити наступні проблеми:

- визначення способу отримання експертних оцінок;
- визначення ступеня узгодженості оцінок експертів, щодо конкретного питання, яке вирішується у ході роботи;
- визначення достатності ступеня узгодженості оцінок експертів, який дозволяє коректно знайти агреговану оцінку;
- визначення агрегованої узгодженої оцінки. Вирішення цієї проблеми передбачає також попереднє обчислення показників відносної компетентності членів групи щодо фрагменту бази знань, який будується.

Методи вирішення цих проблем суттєво залежать від характеру інформації, яка отримується від експертів. Цю інформацію можна поділити на такі групи:

- концептуальна інформація, яка виражається природною мовою;
- інформація щодо кількісних оцінок властивостей об'єктів, яка подається у числовому вигляді;
- структурна інформація щодо зв'язків елементів бази знань.

Крім того, експерт у перебігу спільної роботи має подавати також службову інформацію, зміст якої залежить від методу збору і обробки інформації перших двох названих груп інформації.

Третю групу утворює інформація щодо зв'язків підцілей з їхніми безпосередніми надцілями, які встановлюють експерти на другому етапі побудови структури ієрархії цілей, коли здійснюється просування по графу ієрархії “знизу-вгору”.

Розглянемо методи вирішення наголошених проблем щодо кожного з видів експертної інформації.

6.1.1 Збір та обробка інформації щодо кількісних оцінок властивостей об'єктів

Доцільно розглядати два підтипи цієї інформації :

1) Збір та обробка інформації щодо абсолютних величин

Прикладами можуть бути величини ресурсів цілей, ефектів від досягнення підцілей, оцінки тривалості та вартості виконання проектів, величини затримки розповсюдження впливу досягнення підцілей, ймовірності виконання проектів, або того, що даний етап сценарію відбудеться.

Для збору і обробки результатів експертного оцінювання може застосуватись груповий метод безпосереднього оцінювання із зворотнім зв'язком з експертами [136, 145]. Цей метод передбачає визначення коефіцієнта узгодженості множини експертних оцінок на основі спектрального підходу [136, 137], а також урахування показників відносної компетентності експертів, які можуть бути визначені методом [192].

2) Збір та обробка результатів експертного оцінювання відносних показників ступеня вираженості властивостей об'єктів бази знань

До цієї групи відносяться показники відносної вагомості критеріїв, альтернатив відносно критеріїв, а також часткові коефіцієнти впливу досягнення підцілей, або виконання проектів на досягнення безпосередніх надцілей.

Для збору та обробки експертної інформації такого типу можуть використовуватись різноманітні методи: групові методи безпосереднього оцінювання та парних порівнянь із зворотнім зв'язком з експертами [145]. Останні передбачають визначення кількісних показників узгодженості результатів парних порівнянь методом [137, 193]. На цей час розроблено цілу гаму групових методів парних порівнянь, які відрізняються алгоритмами обробки інформації, шкалами, в яких представляються результати експертного оцінювання, та способами вводу, внаслідок чого показники їх трудомісткості, точності і узгодженості результатів є неоднаковими. Це висуває проблему прийняття рішень щодо вибору методу згідно з їх характеристиками та уподобаннями особи, яка організує процес експертного оцінювання. Для вирішення цієї задачі може бути використаний метод ППР, запропонований у [147].

6.1.2 Збір та обробка концептуальної експертної інформації

До інформації цієї групи відносяться формулювання критеріїв, цілей, типів цілей. При побудові сценаріїв технологічного передбачення формулювання їхніх етапів також являють собою концептуальну інформацію. Характерною ознакою експертної інформації цього типу є відсутність методів, які б дозволяли об'єктивно визначати кількісні показники узгодженості множини експертних даних, перевіряти достатність рівня узгодженості та формальними методами знаходити агреговані узгоджені експертні дані. Це обумовлює необхідність вирішення наголошених вище проблем шляхом досягнення консенсусу на основі неформального обговорення проблеми експертами. Такий метод можна умовно назвати модифікованим методом “мозкового штурму”.

Сутність його полягає в наступному. За 2-3 дні до сеансу спільної роботи адміністратор розсилає відібраним ним експертам повідомлення про час сеансу, називу цілі, для якої передбачається визначити множину підцілей, і прохання підтвердити свою участь або повідомити про бажану корекцію часу сеансу. Отримавши повідомлення від експертів про свою участь і визначивши остаточний час сеансу і склад учасників, адміністратор розсилає повторне остаточне запрошення взяти участь у сеансі і попередньо, до призначеного проміжного терміна, вислати в його адресу свої пропозиції про формулювання підцілей. Отримавши пропозиції експертів, адміністратор формує підмножину близьких формулювань підцілей без прив'язки їх до прізвищ експертів. У призначений час експерти реєструються. Адміністратор перевіряє повноваження експертів і повідомляє про початок сеансу.

Він виносить на обговорення підмножину формулювань першої підцілі і пропонує експертам визначити, чи є в кого-небудь із них додаткові пропозиції про нові формулювання цієї підцілі, отримані у результаті аналізу поданої підмножини формулювань. Кожна пропозиція без обговорення включається до підмножини, що розглядається. Далі адміністратор пропонує експертам висловити свої пропозиції щодо запропонованих формулювань. Кожна висловлена пропозиція протоколюється і стає доступною всім учасникам сеансу. Після того, як усі пропозиції висловлені, адмініс-

тратор повідомляє про перехід до їхнього оцінювання.

Кожному експертові рекомендується розширений за рахунок додаткових пропозицій список формулювань першої підцілі, доповнений пропозицією “Відхилити усі формулювання, підціллю не вважати”. Виходячи з кількості формулювань, кількості експертів, їхньої підготовленості і припустимого часу сеансу адміністратор задає параметри для технології експертного оцінювання, викладеної в розділі 3 і ініціює сеанс групового оцінювання.

6.1.3 Режими роботи та варіанти структури програмного забезпечення системи

Система призначена для організації з використанням INTERNET спільної роботи групи експертів у перебігу формування структури бази знань СППР і визначення параметрів її елементів.

З викладених вище принципів функціонування системи витікає, що вона має працювати у таких режимах:

- а) формування структури бази знань і формулювань назв її елементів (критеріїв або цілей);
- в) визначення типів критеріїв або цілей;
- г) визначення параметрів елементів бази знань (коєфіцієнтів вагомості критеріїв, коєфіцієнтів вагомості альтернатив відносно критеріїв, ресурсів цілей, ефектів від досягнення цілей, затримок розповсюдження впливів виконання цілей, тривалості виконання проектів, часткових коєфіцієнтів впливу підцілей);

У режимі а) реалізовані можливості виконання як ординального так і кардинального оцінювання варіантів формулювань.

Для реалізації ординального оцінювання реалізовані методи:

- безпосереднього ранжування кожним експертом з наступною агрегацією методами Кондорсе і Борда;
- безпосереднього оцінювання прийнятності кожного з варіантів числом у заданих межах, визначення індивідуального ранжування з наступною агрегацією методами Кондорсе і Борда;

- парного порівняння у тернарній шкалі з наступним визначенням індивідуальних ранжувань і агрегацією методами Кондорсе і Борда.
- Для реалізації кардинального оцінювання (коли існує необхідність отримання кардинальних оцінок) застосовується реалізація експертної технології, описаної в розділі 4.

При створенні системи було проаналізовано декілька варіантів її можливої побудови, які відрізняються один від одного в основному способами обміну інформацією між експертами та адміністратором. До таких варіантів слід віднести наступні:

1. обмін інформацією між експертами та адміністратором здійснюється за допомогою електронних поштових служб;
2. обмін повідомленнями між клієнтськими, що розміщені на комп’ютерах експертів, та серверним, – на комп’ютері адміністратора, частинами програмного забезпечення;
3. все керуюче програмне забезпечення і база знань розміщені на сервері, який доступний в мережі Інтернет, експерти і адміністратор взаємодіють з сервером за допомогою стандартних програмних засобів перегляду Інтернет сайтів (Веббраузерів).

Всі перелічені варіанти мають деякі свої недоліки та переваги. Так, перший варіант є найпростішим для реалізації, не потребує установлення додаткового програмного забезпечення на комп’ютерах експертів крім електронної поштової служби, має можливість функціонування навіть в режимі автономного (“оф-лайн”) доступу до мережі Інтернет, але позбавлений оперативності в зборі інформації від експертів, йому притаманні ряд труднощів при обробці та формалізації даних. При побудові такої системи потрібно передбачати розробку спеціальних засобів обміну формалізованими повідомленнями та засобів їх обробки, налагодження фільтрації проходження повідомень. Захист інформації від несанкціонованого доступу під час сесій обміну даними повністю покладається на систему електронної пошти.

Другий варіант позитивно відрізняється значною перевагою в оперативності, значно ширшими можливостями в побудові дружнього інтерфейсу з експертами, мінімальним в порівнянні з іншими двома варіантами завантаженням каналів передачі

інформації. До недоліків слід віднести необхідність в попередній установці спеціального програмного забезпечення на робочий місця експертів, але в той самий час це дає можливість при розробці програмних засобів для робочого місця експерта зберегти без зміни звичний інтерфейс користувача, який використовувався для збору інформації в нерозподілених системах, а також мати додатковий засіб захисту інформації.

Третій варіант на теперішній час є, напевне, найбільш прогресивним в плані організації доступу широкого кола експертів до роботи з системою. При вдалій розробці серверних програмних засобів кількість експертів, що одночасно можуть брати участь в прийнятті рішень обмежується тільки потужністю веб-вузла. В той же час особливої уваги при розробці систем на базі цієї технології заслуговує організація аутентифікації користувачів та розмежування доступу. Використовуючи стандартний програмний засіб для перегляду Інтернет сайтів на сервері реєструються, як адміністратор системи, так і всі експерти. Після цього сервер має реагувати на запит користувача в залежності від його встановленого статусу.

Враховуючи вищезгадані характеристики варіантів розробки програмних засобів на етапі створення СППР “Солон-3” [173] було застосовано другий варіант, а саме розробку з використанням клієнтських та серверних реалізацій програмних засобів. Опис роботи СППР „Солон-3” в режимі групового оцінювання пропонується у наступному пункті. Після цього пропонується опис системи розподіленого збору та обробки експертної інформації для систем ППР – „Консенсус” [194], в якій реалізована технологія групової побудови БЗ в конкретній предметній області за допомогою веб-орієнтованих програмних додатків (див. п. 6.1.5)

6.1.4 Опис режиму групового оцінювання альтернатив в СППР “Солон-3”

В даній СППР реалізовано режим визначення часткових коефіцієнтів впливу підцілей на їх безпосередні надцілі методом групового експертного оцінювання. Серверна частина програмного забезпечення при необхідності може включатись в склад основного модуля системи “Солон-3”, яка розвертається на комп’ютері адмі-

ністратора. Вихідні дані для роботи експертів беруться із бази знань сформованої на попередніх етапах роботи СППР і відкритої на даний момент. Передбачено режим запуску сервера при якому ініціюється запуск програми-сервера і відбувається налаштовування неї на роботу з відкритою базою знань. Далі програма-сервер чекає на підключення експертів, які мають приймати участь в груповому оцінюванні альтернатив. Сервер надає доступ виключно тим експертам, які занесені в спеціальний список, сформований адміністратором на етапі побудови бази знань.

Клієнтські частини програмного забезпечення розсилаються експертам, які по передньо погодились взяти участь в оцінюванні альтернатив. Крім того, експерти забезпечуються інформацією про знаходження сервера: повне унікальне його ім'я в мережі або IP(Інтернет протокол)-адреса; інформацією про початок сеансу; та пароль для підключення до сервера. Комп'ютери експертів можуть знаходитись як в одній локальній мережі з комп'ютером, на якому запущена програма-сервер, так і в будь-якому місці глобальної Інтернет мережі. В останньому випадку комп'ютер з програмою сервером має мати унікальну IP-адресу і бути доступним з глобальної мережі.

Обмін повідомленнями між серверною програмою та програмами експертів здійснюється з використанням стандартного протоколу передачі пакетів в мережі – TCP/IP.

При запуску клієнтської частини програмного забезпечення на своєму комп'ютері експерт уводить своє ім'я (за звичай прізвище експерта), яке повинне повністю співпадати з тим що є в списку на сервері, а також решту даних, необхідних для підключення до сервера. Якщо підключення до сервера відбулось успішно, то серверна програма розсилає кожній з клієнтських програмам експертів інформацію, необхідну для оцінки альтернатив. Прийнявши ці дані, кожна з клієнтських частин, використовуючи спеціально розроблений інтерфейс, дає експертам можливість оцінити альтернативи і результати оцінки відправити в зворотному напрямку до сервера. Дочекавшись результатів від усіх експертів, що приймають участь в оцінюванні, програма сервер проводить оцінку узгодженості оцінок даних експертами згідно з алгоритмом груового оцінювання і, при необхідності, може пересилати де-

яким експертам повідомлення з пропозицією переглянути деякі свої попередні оцінки. Процес продовжується до тих пір, поки не буде досягнута достатня узгодженість оцінок експертів, або не буде зроблено висновок про неспроможність для даної групи експертів прийти до узгодженого рішення. Після цього сервер повідомляє експертів про кінець сеансу зв'язку і при позитивному результаті зберігає узагальнені оцінки в базі знань.

6.1.5 Опис системи розподіленого збору та обробки експертної інформації „Консенсус”

Система розподіленого збору та обробки експертної інформації „Консенсус” [194] призначена для проведення оцінювання розподіленими групами експертів з подальшим використанням зібраної та обробленої інформації в СППР. Система реалізує технологію побудови БЗ для слабко структурованих предметних областей. За її допомогою проводиться розподілена побудова БЗ сіткового типу для подальшого використання її з метою оцінювання варіантів рішень в СППР. В результаті роботи системи формуються відповідні таблиці реляційної бази даних (БД), які, у подальшому, як проміжні дані, інтерпретуються СППР в БЗ відповідної предметної області.

Система складається з двох автоматизованих робочих місць (АРМ): організатора експертизи та експерта. Система дозволяє одночасну роботу декількох робочих експертних груп за різними проблемами і тим самим одночасну побудову декількох БЗ. Програмну систему „Консенсус” реалізовано як веб-серверний додаток із використанням мови програмування PHP та серверної системи управління базами даних (СУБД) MySQL.

Програмна реалізація системи потребує наявність на сервері діючого інтерпретатора PHP та попередньо розгорнутої при інсталяції БД в рамках СУБД MySQL з заданою структурою таблиць.

У наступних підпунктах пропонується опис використання системи, який відображає технологію побудови БЗ СППР розподіленою групою експертів під керівни-

цтвом організатора експертизи.

6.1.5.1 Реєстрація користувачів у системі

Ініціалізація АРМ (організатора експертизи або експерта) проводиться у залежності від аутентифікації користувача при вході в систему (наявності у користувача відповідних повноважень організатора експертизи або експерта). (див. рис. 6.1)



Рис. 6.1 Аутентифікація користувача при вході в систему

Усі користувачі проходять попередню реєстрацію засобами системи. Для цього користувачеві потрібно за допомогою веб-браузера зайти за відповідною веб-адресою та, вибравши пункт меню „Реєстрація”, заповнити реєстраційну форму (рис.6.2).

Рис. 6.2 Форма початкової реєстрації користувача

Адміністратор системи призначає одного із зареєстрованих користувачів організатором експертизи та делегує йому права адміністратора, шляхом установки поля „Адміністратор” у формі профілю користувача (рис. 6.3).

Дані про користувача Ivanenko	
Ім'я	Іваненко Іван Іванович
Пароль	*****
Пароль повторно	*****
email	ivanenko@i.ua
Адрес	г. Київ, ул. Н. Шпака, 2 каб. 112
Дата народження	15 05 1973
Пол	мужской
Статус користувача	допущен
Адміністратор	да
<input type="button" value="Підтвердити"/>	

Рис. 6.3 Форма редагування профілю користувача

6.1.5.2 Формування нової проблеми

Організатор експертизи формує нову проблему, що підлягає подальшому розгляду. Також ним формулюється головна ціль проблеми, яка попередньо поставлена особою, що приймає рішення (рис. 6.4).

Створення нової проблеми	
Введіть назву нової програми:	<input type="text" value="Улучшение состояния внешней среды"/>
Сформулюйте названня головної цілі:	<input type="text" value="Улучшить состояние внешней среды"/>
<input type="button" value="Готово"/> <input type="button" value="Отмена"/>	

Рис. 6.4 Формулювання назви проблеми та головної цілі

Після уведення формуловань задаються властивості цілі, як, наприклад (рис. 6.5).

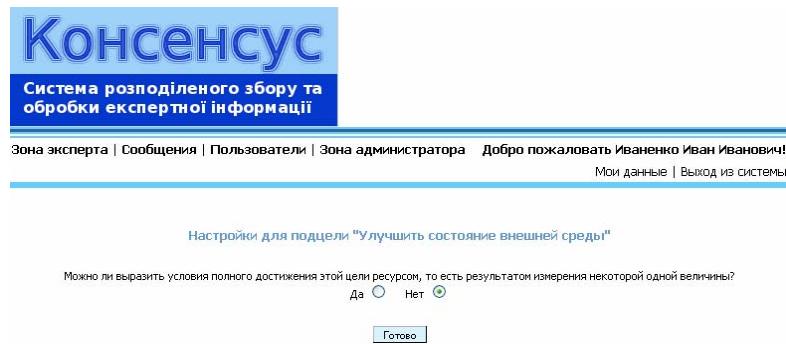


Рис. 6.5 Задавання властивостей цілі

Організатор експертизи переглядає список зареєстрованих користувачів та вирішує, кого з них допустити до роботи з системою. Допуск проводиться шляхом установки поля „Статус користувача” у формі профілю користувача (рис. 6.3). Далі, серед допущених користувачів він формує експертну групу для роботи з головною ціллю проблеми (рис. 6.6).



Рис. 6.6 Формування експертної групи

6.1.5.3 Вибір методу експертного оцінювання

Організатор експертизи забезпечується інструментарієм ППР стосовно багаторічального вибору методу експертного оцінювання. Організатору пропонується увести свої переваги щодо вагомості заданих критеріїв оцінки існуючих методів (рис. 6.7).

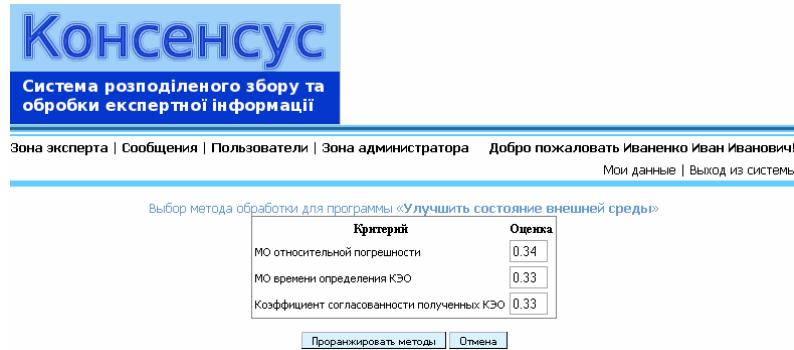


Рис. 6.7 Уведення вагомості заданих критеріїв оцінки існуючих методів

Після цього організатору експертизи відображуються розраховані рейтинги методів для використання в поточній експертизі з можливістю обрати метод експертного оцінювання (рис. 6.8).

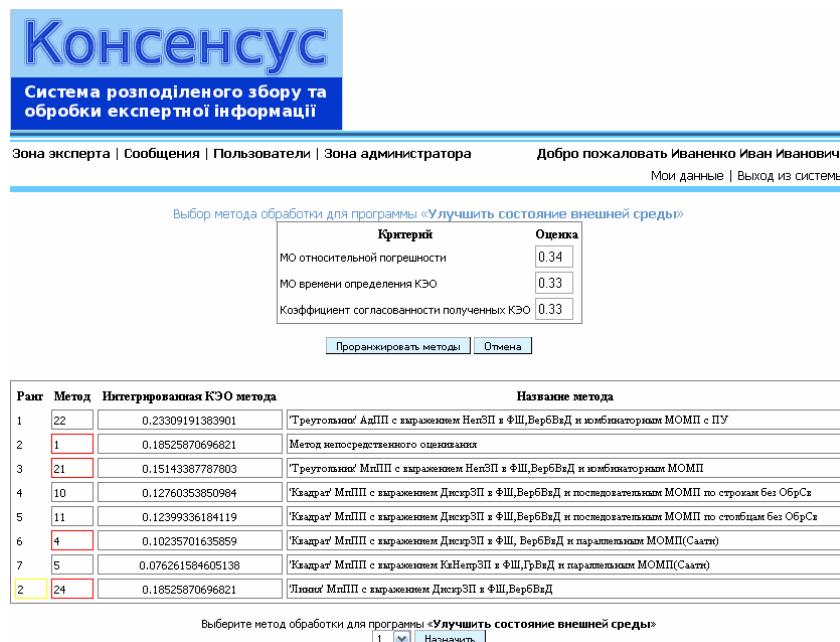


Рис. 6.8 Вибір методу експертного оцінювання

6.1.5.4 Інтерфейс АРМ організатора експертизи

Після формування проблеми та вибору методу експертного оцінювання, інтерфейс АРМ організатора експертизи надає можливість працювати з Б3 цієї проблеми. Поточна структура Б3 (ієрархія цілей) відображується у вигляді графа типу дерева

(див. рис. 6.9). За допомогою даного об'єкту інтерфейсу здійснюється подальша робота з БЗ.

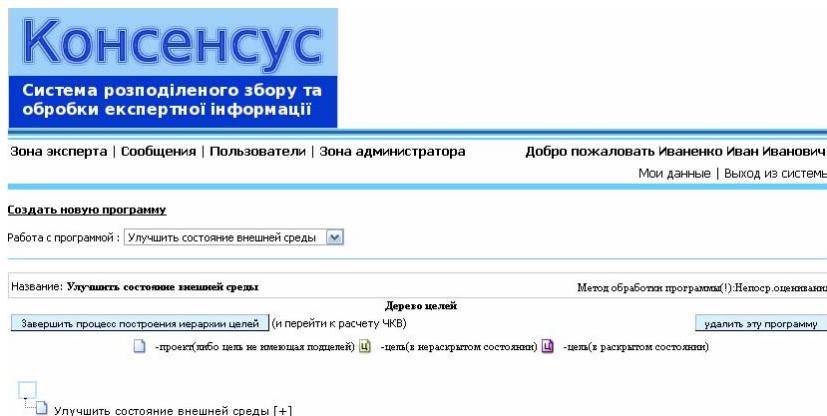


Рис. 6.9 Інтерфейс АРМ організатора експертизи для роботи з проблемою

При переході за посиланням з назвою цілі ієархії відображується поточний стан процесу експертизи та надається можливість керування цим процесом для організатора (рис. 6.10).



Рис. 6.10 Поточний стан процесу експертизи для цілі ієархії

6.1.5.5 Засоби комунікації в системі

Інтерфейси усіх АРМів забезпечують засобами комунікації між усіма допущеними до роботи з системою користувачами. Комунація здійснюється шляхом відправлення/отримання текстових повідомлень. За допомогою повідомлень користувачі отримують нагадування та вказівки системи, щодо їхніх подальших дій (рис. 6.11).

The screenshot shows a web-based communication system interface. At the top, there's a header with the logo 'Консенсус' and the subtitle 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. Below the header, there are two main navigation links: 'Работа с программой' and 'Сообщения'. On the right side of the header, it says 'Добро пожаловать Сидоров Сидор Сидорович!' and 'Мои данные | Выход из системы'. The main content area displays a table of messages:

Опции	Тема	Отправитель	Дата
Удалить Ответить	Программа «Партнерство с FP7». Просьба о перемене оценки ЧКВ	admin	2012-07-19 16:15:36
Удалить Ответить	Программа «Партнерство с FP7». Просьба о перемене оценки ЧКВ	admin	2012-07-19 16:08:47
Удалить Ответить	Программа «Поиск партнёров FP7». Просьба о перемене оценки ЧКВ	admin	2012-05-15 17:01:10

Below the table, there's a message box with the subject 'Сообщение' and a link 'Цем: «Добиться участия в FP7» готова для обработки по ссылке: [peremenach.php?topic=6&project=12&ngroup=1](#)'. At the bottom of the message box is a button 'Послать сообщение'.

Рис. 6.11 Засоби комунікації в системі

6.1.5.6 Декомпозиція цілей ієархії групою експертів

Кожному з експертів сформованої експертної групи в інтерфейсі його АРМ надається можливість вибору проблеми, в експертизі якої він приймає участь (рис. 6.12). Експертові також надається можливість переглянути графічне зображення структури ієархії цілей, що розкривається на поточний момент (посилання „Переглянути дерево“) (рис. 6.13).

The screenshot shows a web-based system interface. At the top, there's a header with the logo 'Консенсус' and the subtitle 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. Below the header, there are two main navigation links: 'Работа с программой' and 'Сообщения'. On the right side of the header, it says 'Добро пожаловать Павленко Павел Павлович!' and 'Мои данные | Выход из системы'. The main content area displays a table of problems:

Программа	ЛГР(администратор программы)	Дерево
Улучшить состояние внешней среды	Ivanenko	Посмотреть дерево

At the bottom of the page, it says 'Wednesday 25 July 2012'.

Рис. 6.12 Вибір проблеми експертом

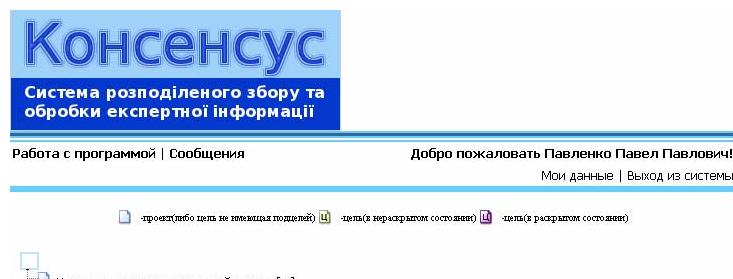


Рис. 6.13 Дерево ієрархії цілей, що відображається для експерта

Процес декомпозиції слушно розділити на нижче викладені етапи:

Етап 1. Формування множини формулювань підцілей експертами

Після вибору проблеми кожному експертові надається можливість вибору цілі для формулювання її безпосередніх підцілей (рис. 6.14).

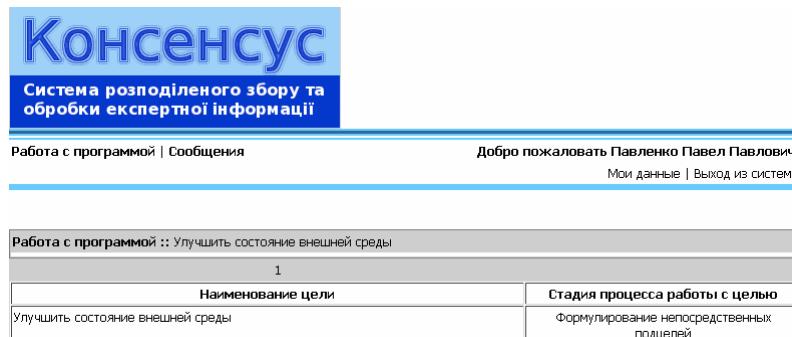


Рис. 6.14 Вибір цілі для розкриття

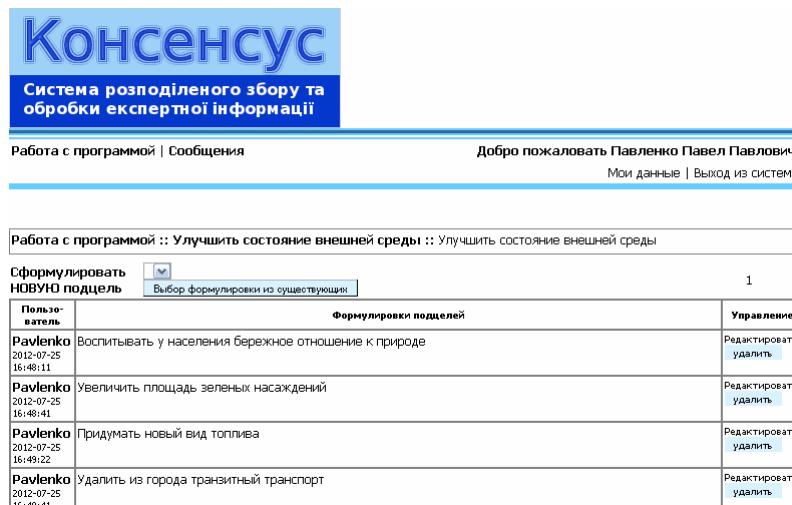


Рис. 6.15 Формулювання експертом множини підцілей

Скориставшись інтерфейсом (рис. 6.15) кожний з експертів формулює множину

підцілей поточної цілі. Це проводиться шляхом уведення нового формулювання підцілі (посилання „Сформулювати НОВУ підціль”) або шляхом вибору підцілі із списку раніше уведених. Список усіх послідовно уведених експертом формулювань підцілей відображується у відповідній таблиці.

Кожний експерт із сформованої групи має можливість редагувати таблицю своїх формулювань поки організатор експертизи не зупинить процес уведення нових формулювань.

Етап 2. Контроль процесу формування множини формулювань організатором експертизи

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface. At the top, there is a blue header bar with the title 'Консенсус' and a subtitle 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. Below the header, a navigation menu includes 'Зона эксперта', 'Сообщения', 'Пользователи', 'Зона администратора', 'Добро пожаловать Иваненко Иван Иванович!', 'Мои данные', and 'Выход из системы'. A sub-menu for the current user is also present. In the center, a main content area displays a table titled 'Процессы для цели «Улучшить состояние внешней среды»'. The table has columns for 'Процесс' (Process), 'Примечание' (Note), and 'Действие' (Action). The first row shows 'Формирование множества формулировок подцелей' with a note 'Просмотреть все формулировки' and an action button 'Остановить' (Stop). Below the table is a link 'Возврат к работе с программой' (Return to program work).

Рис. 6.16 Контроль процесу формування множини формулювань підцілей

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface with a similar header and navigation as the previous screenshot. The main content area displays a table titled 'Работа с программой :: Улучшить состояние внешней среды :: Улучшить состояние внешней среды'. This table lists several formulated statements (формулировки) under the heading 'Формулировки подцелей'. Each statement includes a column for 'Пользователь' (User), a detailed description, and a column for 'Управление' (Management) with options to edit or delete the statement and send a private message. The statements listed are:

Пользователь	Формулировки подцелей	Управление
Pavlenko 2012-07-25 16:48:11	Воспитывать у населения бережное отношение к природе	Редактировать удалить Приватное сообщение
Pavlenko 2012-07-25 16:48:41	Увеличить площадь зеленых насаждений	Редактировать удалить Приватное сообщение
Pavlenko 2012-07-25 16:49:22	Придумать новый вид топлива	Редактировать удалить Приватное сообщение
Pavlenko 2012-07-25 16:49:41	Удалить из города транзитный транспорт	Редактировать удалить Приватное сообщение
us3 2012-07-25 17:10:49	Пропагандировать бережное отношение населения к природе	Редактировать удалить Приватное сообщение
us3 2012-07-25 17:11:02	Увеличить площадь зеленых насаждений	Редактировать удалить Приватное сообщение
us3 2012-07-25 17:11:23	Разработать новый вид топлива	Редактировать удалить Приватное сообщение
us3 2012-07-25 17:11:42	Удалить из города транзитный транспорт	Редактировать удалить Приватное сообщение
us2 2012-07-25 17:15:21	Экологическая пропаганда	Редактировать удалить Приватное сообщение
us2 2012-07-25 17:15:31	Увеличить площадь зеленых насаждений	Редактировать удалить Приватное сообщение

Рис. 6.17 Перегляд множини формулювань підцілей

Організатор експертизи має можливість контролювати (рис. 6.16) процес формування множини формулювань підцілей експертами (рис. 6.17) та, вирішивши, що формулювань достатньо, зупинити цей процес (кнопка „Зупинити” див. рис. 6.16).

Після зупинки процесу формування множини формулювань організатором експертизи експерти групи більше не мають можливості редагувати множину свої формуллювань підцілей цілі, що розкривається (рис. 6.18). Вони мають чекати наступного етапу роботи за поточною ціллю, або можуть продовжувати роботу з формування множин формуллювань підцілей інших цілей, якщо такі завдання наразі наявні.

Етап 3. Розподіл формуллювань організатором експертизи за групами

Після зупинення процесу формування множини формулювань організатор експертизи ініціює наступний етап (кнопка „Провести” рис. 6.19): серед множини введених експертами формуллювань він має виділити групи семантично ідентичних формуллювань (рис. 6.20). Групи формуллювань задаються шляхом призначення їм номерів. Фактично, кожному формуллюванню ставиться у відповідність один і той самий довільний номер групи, до якої його відносять.

The screenshot shows a table titled 'Работа с программой :: Улучшить состояние внешней среды'. It has one row with two columns. The first column contains the goal name 'Наименование цели' and the second column contains the stage 'Стадия процесса работы с целью'. The table shows a single entry: 'Улучшить состояние внешней среды' and 'Формулирование непосредственных подцелей закончено'.

Работа с программой :: Улучшить состояние внешней среды	
1	
Наименование цели	Стадия процесса работы с целью
•Улучшить состояние внешней среды	Формулирование непосредственных подцелей закончено

Рис. 6.18 Таблиця поточного стану процесу експертизи для експерта

The screenshot shows a table titled 'Процессы для цели «Улучшить состояние внешней среды»'. It has three columns: 'Процесс' (Process), 'Примечание' (Note), and 'Действие' (Action). There are two rows: 'Формирование множества формулировок подцелей' (note: 'произведено') and 'Распределение формулировок по группам' (note: 'не произведено'). A blue button labeled 'Произвести' (Produce) is located in the 'Действие' column for the second row. At the bottom is a link 'Возврат к работе с программой' (Return to work with the program).

Процессы для цели «Улучшить состояние внешней среды»		
Процесс	Примечание	Действие
Формирование множества формулировок подцелей	произведено	Просмотреть все формулировки
Распределение формулировок по группам	не произведено	Произвести

[Возврат к работе с программой](#)

Рис. 6.19 Ініціація процесу розподілу формуллювань за групами

Етап 4. Доповнення множин формулювань

Після завершення організатором експертизи групування семантично ідентичних формулювань (кнопка „Підтвердити” рис. 6.20) починається процес доповнення множин формулювань експертами (рис. 6.21).

The screenshot shows a web-based application titled 'Консенсус' (Consensus). The main header includes the title and a subtitle: 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. Below the header, there's a navigation bar with links: 'Зона эксперта', 'Сообщения', 'Пользователи', 'Зона администратора', 'Добро пожаловать Иваненко Иван Иванович!', 'Мои данные', and 'Выход из системы'. The main content area has a breadcrumb navigation: 'Программы :: Улучшить состояние внешней среды :: Улучшить состояние внешней среды'. Below this is a table titled 'Группировка' (Grouping) with columns: 'Пользователь' (User), 'Формулировка' (Statement), and 'Подкластер' (Subcluster). The table contains several rows of data, each with a dropdown menu for selecting a subcluster. At the bottom of the table are two buttons: 'Подтвердить' (Confirm) and 'Возврат' (Return).

Пользователь	Формулировка	Подкластер
Pavlenko Редактировать	Воспитывать у населения бережное отношение к природе	1
Pavlenko Редактировать	Увеличить площадь зеленых насаждений	2
Pavlenko Редактировать	Придумать новый вид топлива	3
us3 Редактировать	Пропагандировать бережное отношение населения к природе	1
us3 Редактировать	Разработать новый вид топлива	3
us2 Редактировать	Экологическая пропаганда	1
us2 Редактировать	Придумать новый вид топлива	3
us2 Редактировать	Не пускать в города транзитный транспорт	4

Рис. 6.20 Групування за змістом

This screenshot shows the same 'Консенсус' system interface as the previous one, but it displays a different section. It features a header with the system title and subtitle, and a navigation bar with the same links as before. Below the header, there's a message: 'Работа с целями программы «Улучшить состояние внешней среды»' and 'Процессы для цели «Улучшить состояние внешней среды»'. A table titled 'Процесс' (Process) lists three tasks: 'Формирование множества формулировок подцелей', 'Распределение формулировок по группам', and 'Добавление формулировок подцелей'. The third task is highlighted with a blue border. To the right of the table, there are buttons for 'Просмотреть все формулировки' (View all statements) and 'Остановить добавление и запустить оценивание' (Stop adding and start evaluation). At the bottom of the table is a button: 'Возврат к работе с программой' (Return to program work).

Процесс	Примечание	Действие
Формирование множества формулировок подцелей	произведено	Просмотреть все формулировки
Распределение формулировок по группам	произведено	
Добавление формулировок подцелей	запущено	Остановить добавление и запустить оценивание

Рис. 6.21 Ініціація процесу додавання формулювань

При цьому експертам надається можливість перегляду формулювань, наданих іншими експертам групи з можливістю додати нове формулювання до існуючих у множині (рис. 6.22).

Організатор експертизи має можливість переглядати формулювання, уведені експертами (посилання „Проглянути усі формулювання” див. рис. 6.21) та зупинити

процес додавання формулювань експертами та ініціювати наступний етап (кнопка „Зупинити додавання і запустити оцінювання” рис. 6.21).

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface. At the top, it displays the system name and its purpose: 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. The main menu includes 'Работа с программой' and 'Сообщения'. On the right, a welcome message 'Добро пожаловать Павленко Павел Павлович!' and navigation links 'Мои данные' and 'Выход из системы' are visible.

The central area is titled 'Программа: «Улучшить состояние внешней среды»' and 'Добавление формулировок подзатей для цели «Улучшить состояние внешней среды»'. It lists four categories of statements:

- Множество №1 имеющихся формулировок подзатей:**
 - Экологическая пропаганда
 - Пропагандировать бережное отношение населения к природе
 - Воспитывать у населения бережное отношение к природе

Добавить формулировку:
- Множество №2 имеющихся формулировок подзатей:**
 - Увеличить площадь зеленых насаждений

Добавить формулировку:
- Множество №3 имеющихся формулировок подзатей:**
 - Придумать новый вид топлива
 - Разработать новый вид топлива
 - Придумать новый вид топлива

Добавить формулировку:
- Множество №4 имеющихся формулировок подзатей:**
 - Не пускать в города транзитный транспорт

Добавить формулировку:

At the bottom are two buttons: 'Ввод' (Input) and 'Возврат' (Return).

Рис. 6.22 Перегляд та додавання формулювань експертами

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface. The top bar and menu are identical to the previous screenshot. The main content area is titled 'Программа «Улучшить состояние внешней среды»' and 'Определение необходимости установления связей с целью: «Улучшить состояние внешней среды».' It displays four sets of statements with their respective confidence levels:

- Набор формулировок, отображающихся суть подзатей №1:**
 - Экологическая пропаганда
 - Пропагандировать бережное отношение населения к природе
 - Воспитывать у населения бережное отношение к природе

Введите степень уверенности в необходимости установить впливие данной подзатей на цель(0-100 %): 95
- Набор формулировок, отображающихся суть подзатей №2:**
 - Увеличить площадь зеленых насаждений

Введите степень уверенности в необходимости установить впливие данной подзатей на цель(0-100 %): 96
- Набор формулировок, отображающихся суть подзатей №3:**
 - Придумать новый вид топлива
 - Разработать новый вид топлива
 - Придумать новый вид топлива

Введите степень уверенности в необходимости установить впливие данной подзатей на цель(0-100 %): 100
- Набор формулировок, отображающихся суть подзатей №4:**
 - Не пускать в города транзитный транспорт
 - Удалить из города транзитный транспорт

Введите степень уверенности в необходимости установить впливие данной подзатей на цель(0-100 %): 99

At the bottom are two buttons: 'Ввод' (Input) and 'Возврат' (Return).

Рис. 6.23 Визначення експертами необхідності встановлення зв'язку

Етап 5. Визначення експертами необхідності встановлення зв'язку підцілей з ціллю

Фактично, метою даного етапу є визначити, чи має бути встановлено зв'язок поточної цілі з існуючою в ієрархії ціллю або чи потрібна в ієрархії дана новосформульована підціль. Для цього експертам пропонується увести ступінь своєї впевненості (у відсотках) у необхідності встановлення вищезазначеного зв'язку (рис. 6.23).

Організатор експертизи має можливість стежити за процесом виконання експертами даного етапу (рис. 6.24) та отримує повідомлення системи про те, що усі експерти групи виконали оцінювання (рис. 6.25).

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface. At the top, there is a blue header bar with the title 'Консенсус' and the subtitle 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. Below the header, there is a navigation menu with links: 'Зона эксперта', 'Сообщения', 'Пользователи', 'Зона администратора', 'Добро пожаловать Иваненко Иван Иванович!', 'Мои данные', and 'Выход из системы'. The main content area has a sub-header 'Работа с целями программы «Улучшить состояние внешней среды»' and 'Процессы для цели «Улучшить состояние внешней среды»'. A table titled 'Процесс' lists four steps: 'Формирование множества формулировок подцелей' (status: 'произведено'), 'Распределение формулировок по группам' (status: 'произведено'), 'Добавление формулировок подцелей' (status: 'произведено'), and 'Выбор лучшей формулировки для каждого подм-ва' (status: 'запущено'). A button 'Посмотреть результаты' is visible next to the last step. At the bottom of the table, there is a link 'Возврат к работе с программой'.

Рис. 6.24 Процес визначення необхідності встановлення зв'язку

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface. At the top, there is a blue header bar with the title 'Консенсус' and the subtitle 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. Below the header, there is a navigation menu with links: 'Зона эксперта', 'Сообщения', 'Пользователи', 'Зона администратора', 'Добро пожаловать Иваненко Иван Иванович!', 'Мои данные', and 'Выход из системы'. The main content area shows a message in a red box: 'Программа «Улучшить состояние внешней среды». Цель «Улучшить состояние внешней среды». Все эксперты оценили необходимость установления связей с подцелем'. Below the message, there is a link 'Сообщение' and a button 'Послать сообщение'.

Рис. 6.25 Повідомлення організатору експертизи про завершення процесу визначення необхідності встановлення зв'язку

Організатор експертизи має можливість перейти до наступного етапу експертизи скориставшись посиланням переданим в повідомленні (рис. 6.25) та ініціює процес вибору найкращого формулування серед множини формулувань (кнопка „Ви-

значити потрібні групи формулювань майбутніх підцілей” рис. 6.26).

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface. At the top, it displays the system name and its purpose: 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. Below this is a navigation bar with links: 'Зона експерта', 'Сообщения', 'Пользователи', 'Зона администратора', 'Добро пожаловать Иваненко Иван Иванович!', 'Мои данные', and 'Выход из системы'. The main content area contains text about the program's goal ('Улучшить состояние внешней среды'), its purpose ('Цель: Улучшить состояние внешней среды'), and current status ('Текущее состояние процессов работы с целью: Все эксперты оценили степень необходимости установления связей между подцелями и целью'). It also includes two buttons: 'Определить нужные группы формулировок будущих подцелей' and 'Возврат к работе с программами'.

Рис. 6.26 Ініціація процесу вибору найкращого формулювання

Етап 6. Вибір найкращих формулювань

Наступним етапом є оцінювання експертами формулювань з метою вибору найкращого з них. На цьому етапі експертам пропонується, використовуючи обраний на початку декомпозиції цілей метод експертного оцінювання (у даному прикладі це „метод Безпосереднього оцінювання” див. рис. 6.27), оцінити формулювання в групах формулювань. Для методу Безпосереднього оцінювання у кожного експерта існує можливість не задавати (пропустити) оцінювання будь-якого з формулювань.

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface for expert evaluation. At the top, it displays the system name and its purpose: 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. Below this is a navigation bar with links: 'Работа с программой', 'Сообщения', 'Добро пожаловать Павленко Павел Павлович!', 'Мои данные', and 'Выход из системы'. The main content area contains text about the program's goal ('Улучшить состояние внешней среды'), its purpose ('Цели: Улучшить состояние внешней среды'), and method ('Метод: непосредственного оценивания. Искажа [0..1]'). It then displays four groups of formulations for evaluation:

- Множество формулировок подцели №1**

Формулировка	Оценка	Не в состоянии оценить (отметить галочкой)
Экологическая пропаганда	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Пропагандировать бережное отношение населения к природе	<input type="text" value="0.6"/>	<input type="checkbox"/>
Воспитывать у населения бережное отношение к природе	<input type="text" value="1"/>	<input type="checkbox"/>
- Множество формулировок подцели №2**

Формулировка	Оценка	Не в состоянии оценить (отметить галочкой)
Увеличить площадь зеленых насаждений	<input type="text" value="1"/>	<input type="checkbox"/>
- Множество формулировок подцели №3**

Формулировка	Оценка	Не в состоянии оценить (отметить галочкой)
Придумать новый вид топлива	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="checkbox"/>
Разработать новый вид топлива	<input type="text" value="0.8"/>	<input type="checkbox"/>
Придумать новый вид топлива	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="checkbox"/>
- Множество формулировок подцели №4**

Формулировка	Оценка	Не в состоянии оценить (отметить галочкой)
Не пускать в города транзитный транспорт	<input type="text" value="0.85"/>	<input type="checkbox"/>
Удалить из города транзитный транспорт	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="checkbox"/>

A 'Ввод' (Input) button is located at the bottom of the evaluation section.

Рис. 6.27 Оцінювання експертами формулювань

По завершенні оцінювання усіма експертами організаторові експертизи надсилається системне повідомлення (рис. 6.28).

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface. At the top, there's a header with the system name and a sub-header: 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. Below the header, a navigation bar includes links for 'Зона эксперта', 'Сообщения', 'Пользователи', 'Зона администратора', 'Добро пожаловать Иваненко Иван Иванович', 'Мои данные', and 'Выход из системы'. The main content area displays a table of messages. The columns are 'Опции' (Actions), 'Тема' (Subject), 'Отправитель' (Sender), and 'Дата' (Date). There are two messages listed:

Удалить Ответить	Программа «Улучшить состояние внешней среды». Цель «Улучшить состояние внешней среды». Все эксперты произвели непосредственное оценивание.	Системное сообщение	2012-07-30 16:01:10
Удалить Ответить	Программа «Улучшить состояние внешней среды». Цель «Улучшить состояние внешней среды». Все эксперты оценили необходимость установления связи с подразделением.	Системное сообщение	2012-07-27 14:15:43

Below the table, there's a 'Сообщение' (Message) section containing the subject of the second message: 'Цель «Улучшить состояние внешней среды» готова для обработки.' A 'Послать сообщение' (Send message) button is also present.

Рис. 6.28 Повідомлення організатору експертизи про завершення експертами безпосереднього оцінювання формулувань

Після переходу організатором експертизи за посиланням в повідомленні система проводить узагальнення оцінок експертів та розрахунок узгодженості (рис. 6.29) та після натиснення кнопки „Визначення остаточних формулувань підцілей” вибирає для кожної підцілі найкраще формулування та відображує їх для організатора експертизи (рис. 6.30).

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface with a detailed view of the evaluation results. At the top, it displays the system name and sub-header, along with the same navigation bar as in the previous screenshot. The main content area is divided into several sections:

- Программа: «Улучшить состояние внешней среды»**
- Цель: «Улучшить состояние внешней среды»**
- Текущее состояние процессов работы с целью:**
- Оценивание формулировок экспертами.**
- Все эксперты произвели непосредственное оценивание приемлемости каждой формулировки.**
- Всё готово для расчета агрегированных оценок по каждой формулировке.**

Below these sections, there are four tables representing sub-sections (Подціль № 1, Подціль № 2, Подціль № 3, Подціль № 4) of the evaluation results:

Подціль № 1	Формулировка	Агр.оценка, или примечание	Коф-т согласованности
Экологическая пропаганда	0.4267	1	
Пропагандировать бережное отношение населения к природе	0.6267	1	
Воспитывать у населения бережное отношение к природе	1	1	

Подціль № 2	Формулировка	Агр.оценка, или примечание	Коф-т согласованности
Увеличить площадь зеленых насаждений	1	1	

Подціль № 3	Формулировка	Агр.оценка, или примечание	Коф-т согласованности
Придумать новый вид топлива	0.4267	1	
Разработать новый вид топлива	0.7267	1	
Придумать новый вид топлива	0.5301	0.80442661879451	

Подціль № 4	Формулировка	Агр.оценка, или примечание	Коф-т согласованности
Не пускать в города транзитный транспорт	0.7835	0.80442661879451	
Удалить из города транзитный транспорт	0.7495	0.72408077551991	

At the bottom, there's a button labeled 'Определение конечных формулировок подцілей' (Determination of final formulation of sub-sections).

Рис. 6.29 Результати експертного оцінювання формулувань

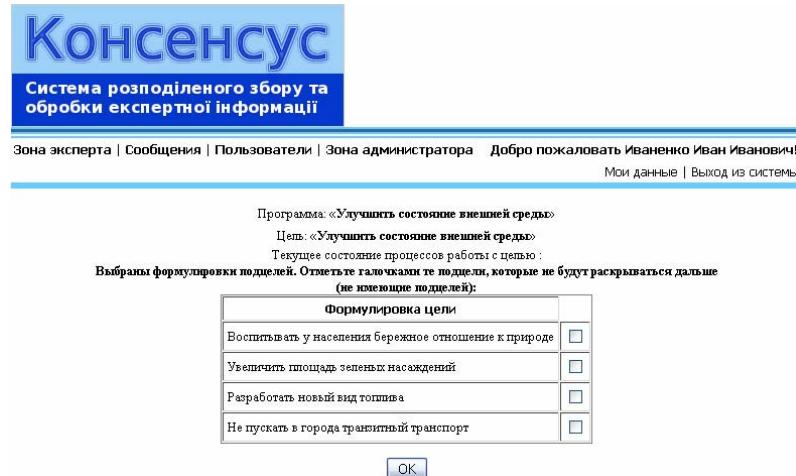


Рис. 6.30 Остаточні формулювання підцілей

Етап 7. Завершення декомпозиції поточної цілі

Організаторові експертизи надається можливість проглянути остаточні формулювання підцілей та приймає рішення про необхідність подальшої декомпозиції поточної підцілі (відмітивши галочкою підцілі, що НЕ будуть розкриватись у подальшому) (рис. 6.30).

Таким чином на даному етапі запропонованого прикладу побудовано ієархію цілей, що містить головну ціль та 4 безпосередні підцілі, які у подальшому будуть розкриватись. Організатору експертизи та експертам дається можливість переглянути поточний стан ієархії цілей у вигляді графа типу „дерево” (рис. 6.31).

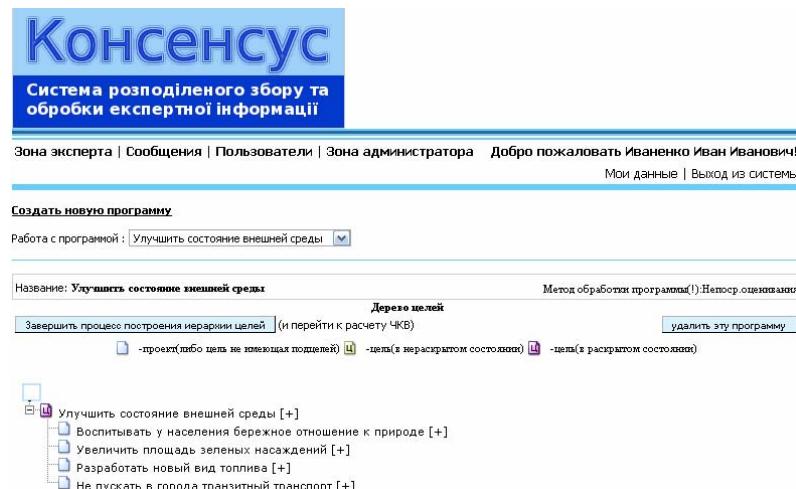


Рис. 6.31 Зображення поточного стану ієархії цілей

Подальша декомпозиція ієрархії цілей (розкриттяожної з наявних цілей) проводиться аналогічним чином, як описано в поточному підпункті.

6.1.5.7 Визначення часткових коефіцієнтів впливу

Після завершення процесу декомпозиції усіх цілей організатор експертизи ініціює процес визначення часткових коефіцієнтів впливу шляхом натиснення кнопки „Завершити процес побудови ієрархії цілей” (рис. 6.31). Процес визначення часткових коефіцієнтів впливу поділяється на наступні три етапи:

Етап 1. Визначення груп сумісних підцілей

Оскільки порівнюватись між собою на предмет вагомості їхнього впливу можуть лише сумісні підцілі, то експертам потрібно визначити, чи сумісна кожна з пар безпосередніх підцілей деякої цілі (рис. 6.32).

Определение совместности подцелей цели «Улучшить состояние внешней среды»		
Название первой подцели	Название второй подцели	Совместимость (галочка-'да')
Воспитывать у населения бережное отношение к природе	Увеличить площадь зеленых насаждений	<input checked="" type="checkbox"/>
Воспитывать у населения бережное отношение к природе	Разработать новый вид топлива	<input checked="" type="checkbox"/>
Воспитывать у населения бережное отношение к природе	Не пускать в города транзитный транспорт	<input checked="" type="checkbox"/>
Увеличить площадь зеленых насаждений	Разработать новый вид топлива	<input checked="" type="checkbox"/>
Увеличить площадь зеленых насаждений	Не пускать в города транзитный транспорт	<input checked="" type="checkbox"/>
Разработать новый вид топлива	Не пускать в города транзитный транспорт	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис. 6.32 Визначення експертами попарної сумісності підцілей

Після того, як усі експерти визначились з сумісністю пар підцілей, організатор експертизи шляхом натиснення кнопки „” (рис. 6.33) дає команду системі на основі попарного визначення сумісності підцілей кожним з експертів, автоматично визначити групи сумісних підцілей, в рамках яких, у подальшому, визначаються коефіцієнти впливу.

Етап 2. Визначення часткових коефіцієнтів впливу групою експертів

Після визначення системою груп сумісних підцілей кожному з експертів групи потрібно визначити часкові коефіцієнти впливу (рис. 6.34) скориставшись методом

експертного оцінювання, вибраним в підпункті 6.1.5.3.

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface. At the top, it displays the system name and its purpose: 'Система розподіленого збору та обробки експертної інформації'. Below this, a navigation bar includes links for 'Зона эксперта', 'Сообщения', 'Пользователи', 'Зона администратора', 'Добро пожаловать Иваненко Иван Иванович!', 'Мои данные', and 'Выход из системы'. A sub-header indicates the current task: 'Работа с целями программы «Улучшить состояние внешней среды»' and 'Процессы для цели «Улучшить состояние внешней среды»'. The main content area contains a table with three columns: 'Процесс' (Process), 'Примечание' (Note), and 'Действие' (Action). The rows show the following steps: 'Формирование множества формулировок подцелей' (Note: произведено), 'Распределение формулировок по группам' (Note: произведено), 'Добавление формулировок подцелей' (Note: произведено), and 'Подцели цели определены.' (Note: Определить группы совместности | Определение групп совместности). A blue button at the bottom right says 'Возврат к работе с программой' (Return to program work).

Рис. 6.33 Ініціація організатором експертизи визначення груп сумісних підцілей

The screenshot shows the 'Консенсус' system interface. The top navigation and user information are identical to the previous screenshot. The sub-header indicates the current task: 'Работа с программой', 'Сообщения', 'Добро пожаловать Павленко Павел Павлович!', 'Мои данные', and 'Выход из системы'. Below this, a table lists four subgoals with their partial coefficients and checkboxes for 'оценка ЧКВ' (partial coefficient) and 'не в состоянии оценить (отметить галочкой)' (not able to evaluate (checkmark)). The table includes a red note: 'Метод непосредственного оценивания. Шага [0..1]'. A blue 'Ввод' (Input) button is at the bottom right.

Подцель	Оценка ЧКВ подцели на главную цель	Не в состоянии оценить (отметить галочкой)
Воспитывать у населения бережное отношение к природе	<input type="text" value="1"/>	<input type="checkbox"/>
Увеличить площадь зеленых насаждений	<input type="text" value="0.9"/>	<input type="checkbox"/>
Разработать новый вид топлива	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="checkbox"/>
Не пускать в города транзитный транспорт	<input type="text" value="0.9"/>	<input type="checkbox"/>

Рис. 6.34 Визначення часткових коефіцієнтів впливу кожним з експертів

Етап 3. Агрегація часткових коефіцієнтів впливу уведених експертами групи

Після того, як усі експерти групи визначили часткові коефіцієнти впливу підцілей, організатор експертизи ініціює процес агрегації часткових коефіцієнтів впливу за індивідуальними оцінками експертів (кнопка „Розрахувати агреговані оцінки заожною групою сумісних підцілей” рис. 6.35).

Система розраховує агреговані часткові коефіцієнти впливу за групами сумісних підцілей та відповідні коефіцієнти узгодженості (рис. 6.36).

Визначення нормованих значень часткових коефіцієнтів впливу за групами сумісних підцілей ініціюється організатором експертизи після натиснення кнопки „Визначення ЧКВ” (рис. 6.36) та відображається йому у вигляді таблиці (рис. 6.37).



Рис. 6.35 Ініціація процесу агрегації часткових коефіцієнтів впливу

Група симетричных підцілей №1		
Формулювання	Агрегированная оценка, или примечание	Коэффициент согласованности
Воспитывать у населения бережное отношение к природе	0.9733	0.80442661879451
Увеличить площадь зеленых насаждений	0.9031	1
Разработать новый вид топлива	0.5131	0.80442661879451
Не пускать в города транзитный транспорт	0.8767	1

Рис. 6.36 Відображення організатору експертизи результатів розрахунку часткових коефіцієнтів впливу за групами сумісних підцілей та їхньої узгодженості

Результати таким чином проведеної експертизи зберігаються у відповідних таблицях БД системи „Консенсус” з можливістю подальшого використання цієї інформації в СППР „Солон-3” для формування БЗ моделі предметної області.

Група симетричных підцілей 1	
Подціль	ЧКВ
Воспитывать у населения бережное отношение к природе	0.29799154981324
Увеличить площадь зеленых насаждений	0.2764986834854
Разработать новый вид топлива	0.15709387055294
Не пускать в города транзитный транспорт	0.26841589614843

Рис. 6.37 Відображення часткових коефіцієнтів впливу за групами сумісних підцілей

6.2 ППР при оцінюванні персоналу за кількісними критеріями

В даному підрозділі викладені основні принципи, застосовані при практичній реалізації СППР, орієнтованих на оцінювання роботи персоналу при наявності об'єктивних документальних даних про діяльність кожного співробітника [212]. Пропонується методологія оцінювання підрозділів в рамках структур невиробничої сфери діяльності.

У практичній діяльності різного роду державних установ, організацій, бізнес- і інших структур невиробничої сфери часто актуальною стає проблема об'єктивного оцінювання роботи персоналу на деяких, певних проміжках часу. Також актуальною може стати проблема оцінювання роботи структурних підрозділів вище перерахованих установ. Метою такого оцінювання звичайно може бути підвищення продуктивності праці співробітників, установлення ефективних стимулів для роботи, планування реструктуризації підприємства, реорганізації роботи персоналу, і т.п.

Розглянемо деякі аспекти, пов'язані із оцінюванням такого виду.

1. Для об'єктивності оцінювання, якщо існує така можливість, доцільно використовувати не суб'єктивні оцінки керівників, а об'єктивні кількісні показники.
2. Не завжди такі показники очевидні, відомі й доступні.
3. Критерії, що відповідають вищезгаданим показникам, у загальному випадку, є взаємно залежними.
4. Для різних категорій співробітників мають місце різні множини критеріїв.

Попередній аналіз задачі показав, що ті методи багатокритеріального оцінювання, які по своїй суті мають на увазі використання зваженої суми оцінок за критеріями, не можуть бути застосовані через наявну взаємну залежність критеріїв. Для вирішення задачі розрахунку узагальнених оцінок співробітників запропоновано використовувати ідеї, викладені в методі динамічного цільового оцінювання альтернатив [167, 168].

Для подання інформації про важливість і взаємний вплив критеріїв оцінювання персоналу на етапі підготовки до роботи використовується база знань мережевого типу – ієрархія критеріїв.

6.2.1 Сутність визначення коефіцієнта ефективності співробітника на основі ієрархії критеріїв

Коротко зупинимося на методиці побудови ієрархії критеріїв.

Нижній рівень ієрархії утворять *досягнення* співробітників, що являють собою документальні дані, що використовуються для оцінювання їхньої діяльності.

Критерії нижнього рівня утворять критерії, оцінки за якими можуть приймати заздалегідь невідомі дискретні значення. Зміст оцінок за цими критеріями можна назвати «*підсумком діяльності*».

За своєю природою оцінки за такими критеріями є адитивними. Другою формальною ознакою оцінок за критеріями цього класу є тип шкали, у якій виражені такі оцінки. Це – абсолютна шкала [108]. Для оцінок, виражених у цій шкалі, припустимими є арифметичні операції. Далі критерії такого типу будемо називати *адитивними невизначеними*.

Суть методу визначення оцінки ефективності роботи персоналу розкриємо на прикладі СППР «Нагляд» [195]. Бригада експертів, буде ієрархію критеріїв, які визначають оцінку ефективності роботи співробітника (відділу). Передбачається, що в рамках відділу можуть бути використані ті самі критерії для оцінки. Якщо це не так, то відділ варто розділити на окремі групи, у рамках яких можна використовувати ті самі критерії. Тоді ці групи будемо називати також - відділами. Таким чином, для кожного відділу будеться своя ієрархія критеріїв.

У процесі побудови, критерії всіх рівнів, за винятком останнього, розкладаються на підкритерії, кожний з яких характеризується відносним коефіцієнтом значимості (ВКЗ) у межах множини підкритеріїв даного критерію.

Цими коефіцієнтами позначаються дуги графа ієрархії критеріїв, що будеться в такий спосіб (див. рис.1). Вершини графа (крім вершин останнього рівня) позначаються критеріями. З вершини c_a виходить дуга, позначена ВКЗ k_{ab} . Ця дуга входить у вершину c_b , якщо c_a є підкритерій критерію c_b . Вершини нижнього рівня (термінальні) позначаються можливими значеннями оцінок за тими підкритеріями,

якими позначені вершини передостаннього рівня графа. Дуга, що виходить із термінальної вершини c_t і входить у вершину c_a передостаннього рівня, позначається значенням оцінки k_{ja} j -го співробітника відносно підкритерію c_a . Таким чином, графи ієрархій критеріїв, які використовуються для обчислення показників ефективності різних співробітників, відрізняються тільки оцінками дуг, що виходять із термінальних вершин. Кожний із цих графів є спрямований навантажений граф типу мережі. Однак кожний з таких графів має кореневу вершину, позначену критерієм c_0 , з якої не виходить жодної дуги.

Уведемо кілька понять.

Означення 6.1. Інтегральна оцінка σ_u за критерієм c_u , що має p підкритеріїв $c_{u1}, c_{u2}, \dots, c_{up}$, визначається співвідношенням

$$\sigma_u = \sum_{l=1}^p x_{ul} \sigma_{ul},$$

де x_{ul} – відносний коефіцієнт значимості l -го підкритерію c_{ul} критерію c_u ;

σ_{ul} – інтегральна оцінка за l -м підкритерієм c_{ul} критерію c_u .

Означення 6.2. Значення оцінки ефективності j -го співробітника дорівнює інтергальній оцінці цього співробітника за критерієм c_0 , яким позначена коренева вершина графа ієрархії критеріїв.

Отже, неформально спосіб обчислення значення коефіцієнта ефективності j -го співробітника можна описати в такий спосіб.

Будується граф ієрархії критеріїв, які характеризують різні аспекти діяльності співробітника. Далі за допомогою експертів визначаються коефіцієнти значимості критеріїв. На основі аналізу документальних даних j -го співробітника, визначаються значення його досягнень і за допомогою графа ієрархії критеріїв обчислюється узагальнена оцінка j -го співробітника за критерієм c_0 , яким позначена коренева вершина графа ієрархії критеріїв. Далі викладаються розроблені методи вирішення задач, що становлять сутність визначених вище етапів.

6.2.2 Побудова ієрархії критеріїв

Ієрархія критеріїв будується у два етапи. На першому виконується процедура просування «зверху-вниз», а на другому - процедура просування у зворотному напрямку.

Суть першої процедури полягає в наступному. Експертові ставиться питання: «Які, на Вашу думку, критерії визначають ефективність діяльності співробітника даного відділу?» Нехай це будуть критерії c_1, c_2, \dots, c_p . По кожному з них експертові ставиться питання: «Збільшення оцінки за цим критерієм позитивно або негативно впливає на показник ефективності діяльності співробітника?». Крім формулювання множини критеріїв перша процедура передбачає також визначення можливості припинення подальшої декомпозиції критеріїв. Для цього експертові задається питання: «Чи можна виразити оцінку співробітника за цим критерієм документально підвердженими даними?» Якщо він відповів ТАК, то подальша декомпозиція критерію не потрібна, варто перейти до формулювання значень даних, які визначають оцінку за цим критерієм; якщо – НІ, то розглянемо критерій c_1 і задамо ті ж самі запитання, які ставилися перед ним відносно критерію «показник ефективності співробітника», однак тепер замість останнього критерію в питанні повинен фігурувати критерій c_1 . Запропонуємо експертові визначити можливість припинення подальшої декомпозиції критерію c_1 , ставлячи йому ті ж самі запитання, що й щодо критерію більш високого рівня. Неважко бачити, що реалізація описаної процедури завжди забезпечить побудову ієрархії критеріїв за кінцеву кількість кроків. Дійсно, оскільки в таку ієрархію критеріїв на нижньому рівні можуть включатися тільки критерії, оцінки за якими підтверджуються документально, та появі в ієрархії такого підкритерію означає припинення декомпозиції критеріїв на наступному кроці. Оскільки кількість таких критеріїв скінчена, то й кількість можливих їхніх комбінацій, що визначають зміст критеріїв більш високого рівня, також скінчена. Із цього випливає, що будь-яка ієрархія такого типу може бути побудована за скінченну кількість кроків.

Процедура просування «знизу-вгору» полягає в тому, що для кожного критерію визначаються всі безпосередні надкритерії.

Для цього, починаючи з довільно обраного підкритерію c_j нижнього рівня, СППР пропонує визначити всі надкритерії критерію c_j і експертові задається питання «Чи згодні Ви зі складом множини надкритеріїв критерію c_j ?» Якщо експерт не згодний (тобто вважає, наприклад, що критерій c_h не є надкритерієм критерію c_j), то йому пропонується виключити зв'язок від вершини c_j до вершини c_h (режим «виключити вплив»). Аналогічно, якщо незгода експерта полягає в тім, що в ієархії критеріїв немає зв'язку між надкритерієм c_h і критерієм c_j , то експертові пропонується встановити цей зв'язок (режим «установити вплив»).

Зрозуміло, що декомпозиція критеріїв вимагає спеціальних знань у тій області знань, до якої відноситься відповідний критерій. З метою підвищення достовірності результатів оцінки для побудови ієархії критеріїв залучаються декілька експертів.

Підбір експертів для цієї цілі здійснює керівник роботи, виходячи з їхньої професійної підготовки й напрямків діяльності. При побудові структури ієархії використовується метод «мозкового штурму».

На наступному етапі побудови ієархії встановлюються зв'язки між критеріями, сформульованими різними групами експертів. Ця робота виконується під час загальної наради всіх експертів.

Характерна риса методу побудови ієархії полягає в тім, що априорі склад групи експертів не можна визначити. Він залежить від змісту критерію, що розкривається на черговому кроці, й від професійної підготовки експертів.

6.2.3 Визначення коефіцієнтів значимості критеріїв

Ця процедура є наступним етапом процесу обчислення показника ефективності співробітника. Для її виконання залучається той самий склад групи експертів, що брав участь у формулюванні цих критеріїв на попередньому етапі. Для визначення коефіцієнтів значимості критеріїв пропонується використовувати один з методів парних порівнянь зі зворотним зв'язком при груповому оцінюванні, наприклад, викладений в [91].

Задача групової оцінки значимості підкритеріїв формулюється в такий спосіб.

Дано: множину $E = \{e_r\}$ експертів, $r = (1, m)$, і множину $C' = \{c_j\}, j = (1, k)$ підкритерій критерію C ; r -й експерт характеризується нормованим відносним коефіцієнтом компетентності t_{ry} щодо обговорюваного питання P_y . Задано й алгоритм одержання і обробки ненормованих експертних оцінок $v_j, j = (1, k)$ значимості підкритеріїв відносно критерію C .

Потрібно визначити агреговані узгоджені нормовані оцінки w_j значимості підкритеріїв щодо цього критерію.

Визначення коефіцієнтів значимості досягнень співробітника проводиться на основі документальних даних, отриманих у результаті перевірки його роботи.

Метод обчислення цих коефіцієнтів визначається типом підкритеріїв нижнього рівня. Розглянемо цю задачу стосовно до адитивних невизначених підкритеріїв. Нагадаємо, що оцінки за цими підкритеріями можуть приймати дискретні значення, які, однак, не відомі. Суть операції визначення оцінок $e_{u1}, e_{u2}, \dots, e_{um}$ співробітників за u -м критерієм такого типу полягає в наступному. Виходячи з документальних даних, визначають кількість v_{uj} досягнень j -го співробітника. Відносна оцінка e_{uj} j -го співробітника по u -му критерію має вигляд

$$e_{uj} = v_{uj} / \sum_{i=1}^m v_{ui},$$

де v_{uj} – ненормоване значення оцінки; m – кількість співробітників.

6.2.4 Визначення показника ефективності співробітника

Обчислення узагальненої оцінки (показника ефективності) співробітника зводиться до обчислення ненормованої інтегральної оцінки за критерієм c_{0h} , що описує h -го співробітника і яким позначена коренева вершина графа ієархії критеріїв, з наступним нормуванням цих оцінок. Обчислення узагальненої оцінки зводиться до обчислення інтегрованих оцінок за всіма його підкритеріями. У свою чергу, визначення інтегрованої оцінки за кожним таким підкритерієм зводиться до знаходження оцінок за усіма його підкритеріями і т.д., аж до підкритеріїв останнього (нижнього) рівня. Метод обчислення цих оцінок описаний у попередньому пункті.

По індукції неважко показати, що оцінки o_{jh}^* за критерієм c_{0h} обчислюються за наступним виразом:

$$o_{jh}^* = \sum_{\xi=1}^{\theta} o_{j\xi} \sum_{\beta=1}^{\tau_{\xi}} \prod_{a_{\eta u \beta} \in Z_{\xi \beta 0}} w_{\eta u}^{\beta},$$

де $w_{\eta u}^{\beta}$ – відносний коефіцієнт важливості η -го підкритерія критерію c_u , що позначає дугу $a_{\eta u \beta}$, що належить β -му простому шляху $Z_{\xi \beta 0}$ у графі ієрархії критеріїв від ξ -ї вершини (підкритерію) нижнього рівня до кореневої вершини; τ_{ξ} – кількість простих шляхів у графі ієрархії критеріїв від ξ -ї вершини (підкритерію) нижнього рівня до вершини верхнього рівня (кореневої вершини графа); $o_{j\xi}$ – відносна оцінка j -го співробітника за ξ -м підкритерієм нижнього рівня; θ – кількість підкритеріїв нижнього рівня.

Таким чином, для обчислення ненормованого значення показника ефективності необхідно знайти множину простих шляхів у графі ієрархії критеріїв, які з'єднують вершину c_i нижнього рівня з вершиною c_0 найвищого рівня. Відомо багато алгоритмів розв'язання цієї задачі. З огляду на те, що граф ієрархії критеріїв - орієнтований і не має циклів, найбільш прийнятним представляється модифікований алгоритм Бержа [196, 197].

6.2.4.1 Визначення простих шляхів у графі ієрархії критеріїв

Сутність алгоритму полягає в наступному. Позначуємо вершину c_i позначкою 0, а вершини, що є її односпадкоємцями, – позначкою 1. Далі позначуємо позначкою 2 кожну вершину c_a , що задовольняє умовам:

- а) вершина c_a не мала до цього позначки 2;
- б) вершина c_a є односпадкоємцем хоча б однієї вершини, у якої позначка 1 – перша.

Після цього позначуємо позначкою 3 всі ті вершини, які ще не мали цієї позначки і є односпадкоємцями якої-небудь вершини з позначкою 2, що у неї – перша й т.д.

З огляду на те, що граф ієархії критеріїв направлений і не має циклів, цей процес закінчується, коли вичерпані всі можливості збільшити кількість позначок вершини c_0 . Неважко бачити, що ця умова виконується, коли множина вершин, для яких змінена множина позначок, містить єдину вершину c_0 . Це твердження випливає з того, що оскільки за умовою, $c_a \in$ вершиною найвищого рівня, то з її не виходить жодна дуга, і тому не можна продовжити шляхи, якщо множина позначок змінена тільки для цієї вершини.

Відзначимо цікавий факт: множина позначок кінцевої вершини c_a містить значення довжини шляхів у цю вершину з початкової вершини c_i . Після завершення процесу розмітки вершин починається побудова простих шляхів із c_i у c_0 . Шляхи будується у зворотному порядку, починаючи з кінцевої вершини c_0 . Для цього записують кінцеву вершину й аналізують множину її позначок з метою визначення вершин, які в простих шляхах можуть передувати кінцевій вершині c_0 . Такими є вершини, що задовольняють наступним умовам:

- вони відмінні від кінцевої вершини, що для них є односпадкоємець;
- перша (саме перша, а не яка-небудь!) позначка вершини дорівнює одному із чисел $j_1 - 1, j_2 - 1, \dots, j_k - 1$, де j_1, j_2, \dots, j_k – позначки кінцевої вершини.

Для продовження побудови простих шляхів узагальнимо згадані умови на довільний випадок, коли вже побудований кінцевий відрізок шляху, що закінчується вершиною c_γ , що має позначки $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_b$. Вершина c_d може передувати c_γ у простому шляху, якщо вона задовольняє таким умовам:

- має c_γ як односпадкоємця і відрізняється від всіх вершин, уже включених у шлях;
- перша позначка вершини c_d дорівнює одному із чисел $\gamma_1 - 1, \gamma_2 - 1, \dots, \gamma_b - 1$.

Останньою операцією, що не вимагає додаткових пояснень, є знаходження безпосередньо за графом послідовності дуг, що відповідає отриманій послідовності вершин.

6.2.4.2 Модернізація алгоритму пошуку простих шляхів для обчислення інтегрованої оцінки

З огляду на те, що визначення множини простих шляхів від вершини найнижчого рівня у вершину найвищого рівня не є самоціллю, а лише етапом обчислення інтегрованої оцінки за множиною критеріїв, модернізуємо викладений алгоритм. Ідея модернізації полягає в об'єднанні процесу позначки вершин і обчислення інтегрованих оцінок за підкритеріями, а також використанні цих оцінок як позначок вершин. Більш строго запропонований алгоритм обчислення інтегрованої оцінки можна описати за допомогою наступних кроків:

1. За допомогою описаних методів обчислити оцінки досягнень співробітника за адитивно-невизначеними критеріями.
2. $i := 1$.
3. Визначити множину C_i критеріїв, для кожного з яких обчислені оцінки за всіма його підкритеріями.
4. Визначити значення інтегрованих оцінок за всіма критеріями $c_a \in C_i$.
5. Якщо $c_0 \in C_i$, де c_0 – критерій, яким позначена вершина найвищого рівня графу ієархії критеріїв, то п. 7, інакше п. 6.
6. $i := i + 1$, п. 3.
7. Кінець.

Неважко довести, що через відсутність циклів у графі ієархії критеріїв викладений алгоритм за кінцеве число кроків дозволяє обчислити інтегровану оцінку за критерієм c_0 .

6.2.5 Обчислення показника ефективності роботи структурного підрозділу організації

Ефективність роботи структурного підрозділу організації (відділу) визначають ефективності роботи співробітників, які належать до відділу. У зв'язку із цим, виникає задача визначення показника ефективності відділу, якщо відомі всі дані, що до-

зволяють описаними вище методами визначити показники ефективності співробітників цього відділу.

Звичайно, що в реальному житті колектив, у цьому випадку це – відділ, не є просто об'єднання людей, членів колективу. Спільна робота в одному колективі має багато як позитивних, так і негативних моментів. Однак урахування їх – скоріше психологічна й філософська проблема, рішення якої виходить за рамки цієї роботи. У зв'язку із цим задача визначення показника ефективності відділу вирішується з припущенням, що відносини між членами відділу не впливають на величину показника ефективності відділу.

Задача формулюється в такий спосіб.

Дано: – ієрархію критеріїв, що визначають діяльність відділу й всіх його членів;
– значення $v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}, v_{21}, v_{22}, \dots, v_{2n}, \dots, v_{k1}, v_{k2}, \dots, v_{kn}$ оцінок за критеріями нижнього рівня ієрархії критеріїв, що визначають діяльність відділу й всіх його членів (результати планової й позапланової перевірки); n – кількість критеріїв нижнього рівня ієрархії критеріїв; k – кількість співробітників у відділі.

Знайти показник ефективності діяльності відділу.

Вирішення задачі зводиться до виконання наступних дій.

1. Знаходяться узагальнені по відділу значення часткових коефіцієнтів впливу w_i , $i=(1,n)$; $j=(1,k)$ критеріїв нижнього рівня ієрархії критеріїв діяльності відділу:

$$\forall 1 \leq i \leq n [w_i = sign(v_i)(v_i / \sum_{j=1}^k v_{ij})].$$

Значення функції $sign(v_i)$ визначається як 1 або -1 , залежно від, того позитивний чи негативний вплив спричиняє i -й критерій на критерій верхнього рівня.

2. У відповідності із алгоритмом, описаним у попередньому пункті, знаходять значення показника ефективності відділу, що відповідає щойно отриманим узагальненим частковим коефіцієнтам впливу w_i .

6.3 Підхід до прийняття кадрових рішень

У даному підрозділі запропоновано метод відбору кандидатів на вакантні поса-

ди, який використовує досвід ординального оцінювання персоналу [198]. Описано алгоритм, який дозволяє, на основі апарату лінійного програмування, визначити область допустимих значень коефіцієнтів вагомості критеріїв оцінки співробітників організації, і побудувати ранжирування претендентів на вакантну посаду.

6.3.1 Підґрунтя для практичного застосування підходу

Оцінка кадрів, зокрема, кандидатів на вакантні посади є актуальною проблемою для багатьох організацій, які працюють в найрізноманітніших сферах людської діяльності. У залежності від конкретної ситуації, яка вимагає оцінки кандидатів, можна використовувати декілька підходів. Найпростішим і найочевиднішим з них є безпосередня оцінка. Якщо професійний рівень кандидатів визначається на основі їхньої оцінки за кількома критеріями, незалежними по перевагах [179], можна побудувати адитивну функцію корисності, яка виражає рейтинг кандидатів, і має вигляд зваженої суми їхніх однокритеріальних оцінок. Якщо критерії є такими, що важко піддаються, або взагалі не піддаються безпосередній кількісній оцінці, то можна застосовувати такі загальновідомі методи, як метод аналізу ієрархій та мереж, у яких використовується фундаментальна шкала переваг [120].

Нижче розглядається випадок, коли під час оцінки нових кандидатів, які претенують на вакантну посаду, можна використовувати попередній досвід оцінювання професійного рівня кадрів.

Зазначимо, що, коли є можливість отримати кардинальні оцінки професійного рівня співробітників організації за окремими критеріями, можна використовувати відомі методи навчання на основі досвіду, такі як метод найменших квадратів (МНК), метод групового урахування аргументів (МГУА), метод багатовимірної лінійної екстраполяції, метод мінімізації нев'язок, чи нейромережеві алгоритми. Підхід, що описаний нижче, зорієнтований на урахування досвіду ординального, а не кардинального оцінювання кадрів.

Під ординальною оцінкою (рангом) об'єкта за певним критерієм ми будемо розуміти його номер у заданій множині об'єктів, що розташовані у порядку спадання

або зростання ступеня виразності даного критерію. Вважатимемо, що краща альтернатива має менший ранг.

Потреба у використанні досвіду ординального оцінювання кадрів може виникнути у разі, коли важко, або неможливо отримати їхні кардинальні (чисельні) оцінки безпосередньо, або шляхом парних порівнянь [73, 120]. Навіть якщо ОПР, наприклад, керівник організаційного підрозділу, не в змозі надати кардинальні оцінки своїх підлеглих, він (вона) може спробувати побудувати їхнє ранжирування за загальним професійним рівнем та за окремими критеріями, які його визначають.

6.3.2 Опис підходу

6.3.2.1 Сутність підходу

Припустимо, керівництво організації має проранжирувати претендентів на певну посаду для того, щоб визначити їхній професійний рівень, і обрати серед них найкращого. Спочатку ОПР (це може бути керівник організаційного підрозділу, чи начальник відділу кадрів) має окреслити набір критеріїв, які, на його думку, визначають професійний рівень співробітників. Після цього він (вона) може побудувати ранжирування співробітників, які вже працюють в організації, за їхнім загальним професійним рівнем. Потім (на основі анкет, бесід, або за допомогою безпосереднього ординального оцінювання) він (вона) може побудувати ранжирування співробітників за кожним з критеріїв. На основі цих даних можна буде, за допомогою алгоритму, що описаний нижче, визначити вагомість критеріїв. Коли це буде зроблено, шляхом проведення аналогічного анкетування чи співбесід із кандидатами, він (вона) зможе побудувати ранжирування кандидатів за кожним із критеріїв, визначених раніше. На заключному етапі процедури пропонується визначити загальний професійний рівень кандидатів як зважену суму їхніх однокритеріальних ординальних оцінок (рангів). Очевидно, що на вакантну посаду слід призначати претендента, який отримає найвищий ранг.

Слід зазначити, що у загальному випадку для кожної організації та для кожного

керівника набір критеріїв та зміст поняття «загальний професійний рівень» будуть різними. Саме тому на початковому етапі ОПР пропонується визначити ці критерії.

Нижче запропоновано підхід, що дозволяє використовувати ординальні оцінки як джерело даних під час ранжирування кандидатів, які претендують на вакантну посаду.

Внаслідок втрати інформації, яка спостерігається під час переходу від кардинальних оцінок до ординальних, недоцільно порівнювати описаний підхід із методами, що ґрунтуються на досвіді кардинального оцінювання альтернатив, і сподіватися отримати точніші результати. Втім, результати подібних порівнянь можна вважати позитивними: описаний алгоритм видає значення, що є досить близькими до ваг, отриманих методами найменших квадратів, групового урахування аргументів, мінімальних нев'язок та багатовимірної лінійної екстраполяції [200].

Незважаючи на те, що жодна з процедур агрегації ординальних переваг не дозволяє уникнути парадоксів та позбавитись усіх недоліків [113], проблема залишається актуальною. В контексті описаної ситуації, де головною задачею є порівняння кандидатів, які претендують на вакантну посаду, запропонований підхід ілюструє розв'язання оберненої задачі, і може стати корисним інструментом підтримки прийняття кадрових рішень. Описаний метод можна застосовувати у разі, коли неможливо, або проблематично отримати будь-які оцінки співробітників, окрім їхніх рангів, а ваги критеріїв оцінки професійного рівня персоналу невідомі. Запитання, на які доводиться відповідати керівникам та експертам під час побудови ранжирувань, є значно простішими, аніж ті, що ставляться при безпосередньому оцінюванні, або попарному порівнянні об'єктів. Саме через це, навіть якщо інші оцінки невідомі, залишається можливість отримання рангових оцінок. Якщо ОПР, чи керівник, не впевнений у тому, як розташувати своїх підлеглих у ранжируванні, має сенс спробувати застосувати нечіткі підходи до ранжирування співробітників та претендентів на посади. Даний аспект проблеми потребує окремого вивчення.

У загальному випадку ієархія критеріїв оцінки персоналу може мати багаторівневу складну структуру [200, 201].

6.3.2.2 Постановка задачі

Дано:

- 1) Множина співробітників організаційного підрозділу E_1, E_2, \dots, E_m .
- 2) Множина показників (незалежних за перевагами критеріїв [179]), що відображають різні складові професійного рівня співробітників: C_1, C_2, \dots, C_n . Загальний професійний рівень (глобальний критерій) позначимо як G (див. Рис. 6.38).
- 3) Строгое ранжування співробітників за загальним професійним рівнем G : g_1, \dots, g_m .
- 4) Множина ординальних оцінок співробітників за окремими складовими професійного рівня, тобто за критеріями його оцінки: $\{r_{ij}\}, i = 1..m, j = 1..n$, де r_{ij} – ранг (ординальна оцінка) i -го співробітника за j -м критерієм.
- 5) Множина кандидатів, які претендують на вакантну посаду $E_{m+1}, E_{m+2}, \dots, E_{m+p}$.

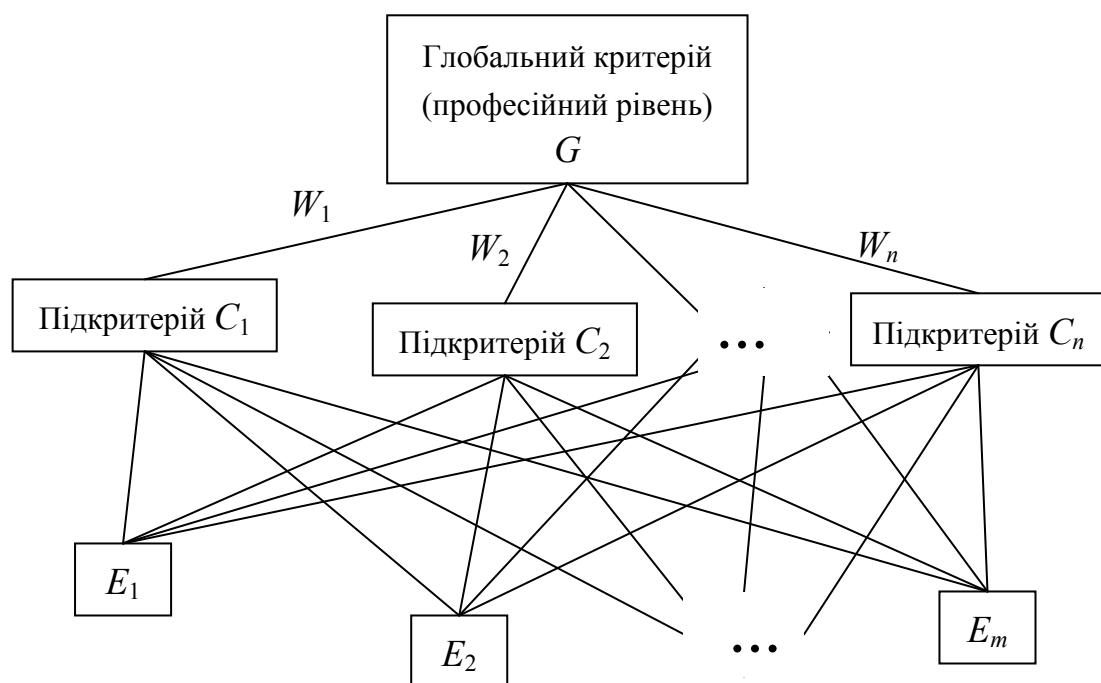


Рис. 6.38 Ієрархія критеріїв оцінки професійного рівня співробітників

Потрібно знайти:

- 1) Коефіцієнти вагомості локальних критеріїв оцінки професійного рівня $\{w_j\}, j = 1..n \{w_j\}; \sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j > 0, j = 1..n$, які б дозволяли зберегти глобальне ранжування співробітників при зваженому сумуванні їхніх однокритеріальних ординальних оцінок.
- 2) Ранжування кандидатів за загальним (глобальним) показником професійного рівня $G: g_{m+1}, \dots, g_{m+p}$.

6.3.2.3 Ідея алгоритму розв'язання

За априорним припущенням, глобальне ранжування співробітників за рівнем професійних навичок будується як ранжування зважених сум їхніх однокритеріальних рангів [107], тому задача зводиться до пошуку області розв'язків системи нерівностей наступного вигляду:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j &> 0, i = 1..m-1 \\ w_j &> 0, j = 1..n \end{aligned} \quad (6.1)$$

де $a_{ij} = r_{i+1,j} - r_{ij}$ (вважаймо, що співробітників пересортовано у порядку спадання їхніх глобальних рангів). Якщо ми припускаємо, що вимога транзитивності глобального ранжування може не виконуватись, то $i = 1..m(m-1)/2$.

За побудовою, шукана область (якщо вона існує) є опуклою, а її замикання – компактна множина. На рис. 6.39 показаний випадок трьох критеріїв.

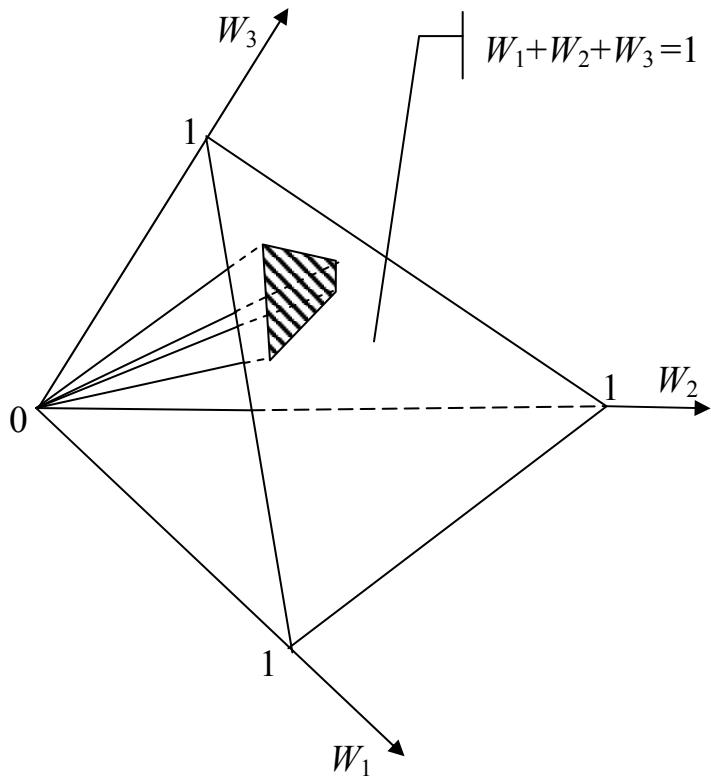


Рис. 6.39 Зображення області розв'язків у тривимірному випадку

Отже, достатньою умовою існування такої області можна вважати наявність скінченої кількості її крайніх точок. Будь-яка опукла комбінація крайніх точок (в тому числі і середнє арифметичне) належить області. В нашому випадку крайні точки області – це точки, де симплекс $(\sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j > 0, j = 1..n)$ перетинається з гіперплощинами, що відповідають лівим частинам нерівностей системи (6.1). Отже, можна шукати крайні точки, як розв'язки систем лінійних рівнянь, що складатимуться з $n - 1$ рівняння гіперплощин та рівняння симплексу $(\sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j > 0, j = 1..n)$. Кожна система складатиметься з n рівнянь та матиме n невідомих (ваг). Перебравши усі такі системи, ми знайдемо область допустимих значень ваг (у вигляді множини її крайніх точок) та її центр, або зможемо стверджувати, що вона порожня.

Якщо область допустимих значень ваг виявилася порожньою, то можна звернутися до особи, яка будувала глобальне ранжирування (наприклад, керівника організаційного підрозділу, який ранжував своїх підлеглих), та запропонувати їй пере-

ставити альтернативи (наприклад співробітників) у ньому таким чином, щоб область існувала. Для того, щоб дізнатися, які саме альтернативи слід переставляти, пропонується переглянути всі отримані розв'язки перебраних систем, та вибрати ті, на яких досягається мінімальна відстань Кемені між отриманим та заданим глобальними ранжуваннями [109, 162] (даний показник обирається через його наочність: відстань між ранжуваннями буде у 4 рази більшою за кількість нерівностей системи (6.1), що не виконуються (доведення – див. [199])). Серед відібраних таким чином векторів пропонується обирати той, на якому досягається мінімальна абсолютна нев'язка:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j + u_i &> 0, i = 1..m(m-1)/2 \\ w_j &> 0, j = 1..n \\ \sum_{i=1}^{m(m-1)/2} u_i &\rightarrow \min \end{aligned}, \quad (6.2)$$

де u_i – невід'ємне значення нев'язки в i -й нерівності.

В такому разі від укладача ранжувань вимагатимуться мінімальні зміни (тобто найменша кількість перестановок) у початковому глобальному ранжуванні альтернатив, і він більш охоче погодиться змінити свої оцінки.

6.3.2.4 Покровний алгоритм

Крок 1: Переходимо від ранжувань до системи нерівностей та дописуємо до неї рівняння координатних площин: $w_j > 0, j = 1..n$. Отримуємо наступну систему нерівностей:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j &> 0, i = 1..m(m-1)/2, \text{ де } a_{ij} = r_{i+1,j} - r_{ij} \\ w_j &> 0, j = 1..n \end{aligned} \quad (6.3)$$

Вважатимемо, що співробітників у ранжуванні пересортовано у порядку спадання їхнього загального професійного рівня.

Крок 2: Заміняємо перші $n - 1$ нерівностей системи (6.3) рівностями. Дописуємо

до отриманої системи рівнянь рівняння симплексу $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Отримуємо систему з n рівнянь із n невідомими:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j &= 0, i = 1..n-1 \\ \sum_{j=1}^n w_j &= 1 \end{aligned} \quad (6.4)$$

Крок 3: Перевіряємо, чи не дорівнює 0 детермінант системи, тобто, чи не є рівняння лінійно залежними. Якщо детермінант системи дорівнює 0, щойно описаним чином формуємо іншу (наступну) систему рівнянь та повертаємося на Крок 2. Якщо система не вироджена, переходимо на Крок 4.

Крок 4: Знаходимо розв'язок системи рівнянь, який являє собою точку в n -вимірному просторі.

Крок 5: Підставляємо замість вектора w в усі нерівності системи (6.3) значення ваг, отримані з системи рівнянь (6.4). Якщо бодай одна нерівність не виконується (строго), отриманий вектор ваг не запам'ятується. Якщо розв'язок системи (6.4) задовольняє усі нерівності з системи (6.3), він є однією з крайніх точок області допустимих значень ваг, і його слід запам'ятати.

Крок 6: Перебираємо усі системи з n лінійних рівнянь, які можна сформувати з системи нерівностей (6.3) та рівняння симплексу, повторюючи корки 2 - 5. Таким чином отримуємо набір крайніх точок області допустимих значень ваг, яка задовольняє системі (6.3). Існування бодай одної крайньої точки вказує на те, що область не порожня. Крайні точки лежатимуть на перетинах симплекса та гіперплощин, заданих лівими частинами нерівностей системи (6.3), в тому числі, координатних площин.

Крок 7а: Підраховуємо оптимальний, з точки зору стійкості до можливих збурень, вектор ваг, як середнє арифметичне координат крайніх точок області допустимих значень, які задовольняють систему (6.3) (див. рис. 6.39).

Крок 7б: У разі, якщо жоден з розв'язків систем рівнянь, отриманих на Кроці 5, не задовольняє усім нерівностям системи (6.3), можна зробити висновок, що область

допустимих значень ваг критеріїв порожня. В цьому випадку слід шукати вектори ваг, на яких не виконується мінімальна кількість нерівностей з системи (6.3). Серед них пропонується обрати той, на якому досягається мінімальне значення абсолютної нев'язки:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j + u_i &> 0, i = 1..m(m-1)/2 \\ w_j &> 0, j = 1..n \\ \sum_{i=1}^{m(m-1)/2} u_i &\rightarrow \min \end{aligned} \quad (6.5)$$

де u_i – невід'ємне значення нев'язки в i -й нерівності.

Після цього слід запропонувати укладачеві ранжирувань поміняти місцями підлеглих з відповідними номерами у глобальному ранжируванні. Якщо він погодиться, знаки коефіцієнтів у нерівностях, що не виконуються, зміняться на протилежні.

Після Кроку 7б слід повторити Крохи 1 - 7а для нового ранжирування і відповідної системи нерівностей, щоб отримати не порожню область допустимих значень ваг критеріїв та її центр.

Крок 8: Будуємо ранжирування кандидатів за кожним з підкритеріїв (див. рис. 6.38). Після цього можна буде отримати глобальне ранжирування кандидатів, тобто ранжирування зважених сум їхніх ординальних оцінок за всіма підкритеріями, які визначають загальний професійний рівень:

$$\sum_{j=1}^n r_{m+i,j} \times w_j > \sum_{j=1}^n r_{m+k,j} \times w_j \Rightarrow g_{m+i,j} > g_{m+k,j}, i, k = 1..p. \quad (6.6)$$

6.3.3 Чисельний приклад

Далі наведений гіпотетичний приклад (див. таблицю 6.1), де з трьох претендентів на вакантну посаду у відділі, де вже працює п'ятеро співробітників, слід обрати одного. Припустимо, число критеріїв, які визначають загальний професійний рівень співробітників, дорівнює 3.

Таблиця 6.1. Вихідні дані прикладу ППР про відбір кандидата на вакантну посаду

	Критерії оцінки професійного рівня			
	C_1	C_2	C_3	G
Співробітники	Ранжирування			
E_1	3	2	2	5
E_2	2	5	1	4
E_3	1	4	4	3
E_4	4	3	3	2
E_5	5	1	5	1

Для того, щоб отримати не порожню область значень ваг, ОПР має поставити співробітника E_1 між співробітниками E_4 та E_5 у глобальному ранжируванні. Припустимо, він погоджується це зробити. Тоді маємо наступні розрахунки центру області значень ваг критеріїв (таблиця 6.2).

На основі розрахованих ваг критеріїв знаходимо ранжирування кандидатів на вакантну посаду (таблиця 6.3).

За даних умов, згідно з системою пріоритетів ОПР, кандидат E_6 є найкращим претендентом на вакантну посаду.

Таблиця 6.2. Розрахунки центру області допустимих значень ваг критеріїв

Співробітники	Ранжирування після перестановок			
	C_1	C_2	C_3	G
E_2	2	5	1	5
E_3	1	4	4	4
E_4	4	3	3	3
E_1	3	2	2	2
E_5	5	1	5	1
Крайні точки області допустимих значень ваг	0	0.75	0.25	
	0.25	0.6875	0.0625	
	0.25	0.75	0	
	0	1	0	
Центр області допустимих значень	0.125	0.7969	0.0781	

Таблиця 6.3. Знаходження ранжирування кандидатів на вакантну посаду

Кандидати	Ранжирування			
	C_1	C_2	C_3	G
E_6	3	1	1	1 ($3*0.125+1*0.7969+1*0.0781=1.25$)
E_7	2	2	3	2 ($2*0.125+2*0.7969+3*0.0781=2.0781$)
E_8	1	3	2	3 ($1*0.125+3*0.7969+2*0.0781=2.6719$)

6.4 Прийняття рішень у конфліктних ситуаціях

У даному підрозділі розглядається практичний приклад застосування інструментарію ППР при умові наявності двостороннього конфлікту [202], пропонується побудова моделі протистояння (гри) із силою реакції, що змінюється, за умови, що замість заданої платіжної матриці використовується алгоритм розрахунку ефективності ходу гравця з урахуванням передісторії ходів. Розглянуто практичний приклад використання запропонованої моделі прийняття рішень у конфліктних ситуаціях і алгоритму вибору оптимального ходу.

Сучасний світ характеризується постійним протистоянням всіх його учасників. Важко назвати область людської діяльності, у якій це б не спостерігалося. Цілком природно, що були розроблені математичні моделі такого процесу, що допомагають його учасникам поводитися оптимальним чином. У першу чергу це стосується теорії ігор, запропонованої О. Моргенштерном і Дж. Фон-Нейманом в 1944 році [203]. У розвитку цієї теорії з'явилося багато робіт, у яких розглядалися різні аспекти процесу протистояння [204-208]. Останнім часом з'явились роботи (відзначені Нобелівською премією), у яких процес протистояння розглядається не як засіб перемоги одного над іншим, а як засіб визначення шляхів взаємодії сторін [207, 208]. Професор Шелінг був одним з перших, хто застосував теорію ігор до міжнародних відносин, розглянувши процес гонки ядерних озброєнь у своїй книзі, що стала класичною, "Стратегія конфлікту" [207]. Тут Шелінг розглядав довгострокові конфлікти й дійшов висновку, що найчастіше створення тривалих дружніх взаємовідносин між сто-

ронами може привести до більшого прибутку, навіть із огляду на більші втрати протягом цього часу, ніж при короткострокових взаємовідносинах.

Нині існуючі теорії засновані на сталості сили реакції гравців, незалежно від поведінки гравця-суперника й фази гри. У той же час, у справжньому житті, спостерігається протистояння із силою реакції гравців, що змінюється. Так, наприклад, якщо боксер завдав удару, що приніс йому успіх, то він достеменно наступний свій удар нанесе в теж саме місце. З іншого боку, підприємства, що конкурують у єдиному сегменті ринку, ніколи не вибирають у якості своєї реакції дії, аналогічні діям суперника, тому що вони мають ефективність нижче, ніж нові дії. Так, якщо власник ресторану A найняв балет, то власник ресторану B , що конкурує з ним, навряд чи повторить дії конкурента, тому що вони виявляться малоефективними. Інакше кажучи, розглядається більш загальний випадок, коли на черговому n -му кроці гри гравець вибирає хід, ефективність якого залежить від того, який хід зробив гравець на $(n - 1)$ -му кроці. При цьому сила відповіді є змінною, на відміну від класичних методів, де сила відповіді не змінюється протягом всієї гри.

Крім того, у класичних роботах з теорії ігор, виграш гравця визначається постійною, заздалегідь заданою, платіжною матрицею. Цю матрицю в багатьох випадках досить важко отримати (задати). У той же час, для ухвалення рішення у відносно складних цільових програмах широко використовується МЦДОА [73, 167, 168], заснований на використанні ієрархії цілей. Цей метод дозволяє обчислити ефективність кожної альтернативи (у даному випадку – можливого ходу гравця). До того ж, аналітичний вираз для опису виграшів гравців, у більшості випадків одержати важко (якщо не неможливо), а застосувані ієрархії цілей досить зручні для опису переваг гравців [73].

У даному підрозділі пропонується побудова моделі протистояння із силою реакції, що змінюється, за умови, що замість заданої платіжної матриці використовується алгоритм розрахунку ефективності ходу гравця з урахуванням передісторії ходів.

Задача вирішується в наступній постановці:

Дано: ієрархія цілей I_X , що описує інтереси гравця X ; ієрархія цілей I_Y – гравця Y ;

Задання ієрархії передбачає опис множини $P_X = \{P_{x_i}\}$ проектів (ходів) гравця X і множину $P_Y = \{P_{y_i}\}$ проектів гравця Y .

Задано алгоритм розрахунку $E_{x_i}(y_i)$ – відносної ефективності проекту (ходу) x_i гравця X за умови, що на цьому ж кроці суперник вибрал проект (зробив хід) y_i .

Знайти: x_i і y_i , що максимізують виграш гравців X і Y , відповідно, на i -му кроці гри.

6.4.1 Модель взаємодії гравців у грі зі змінною силою відповіді

Ієрархія цілей гравця X задається направленним графом, вершини якого позначені цілями (Рис. 6.40).

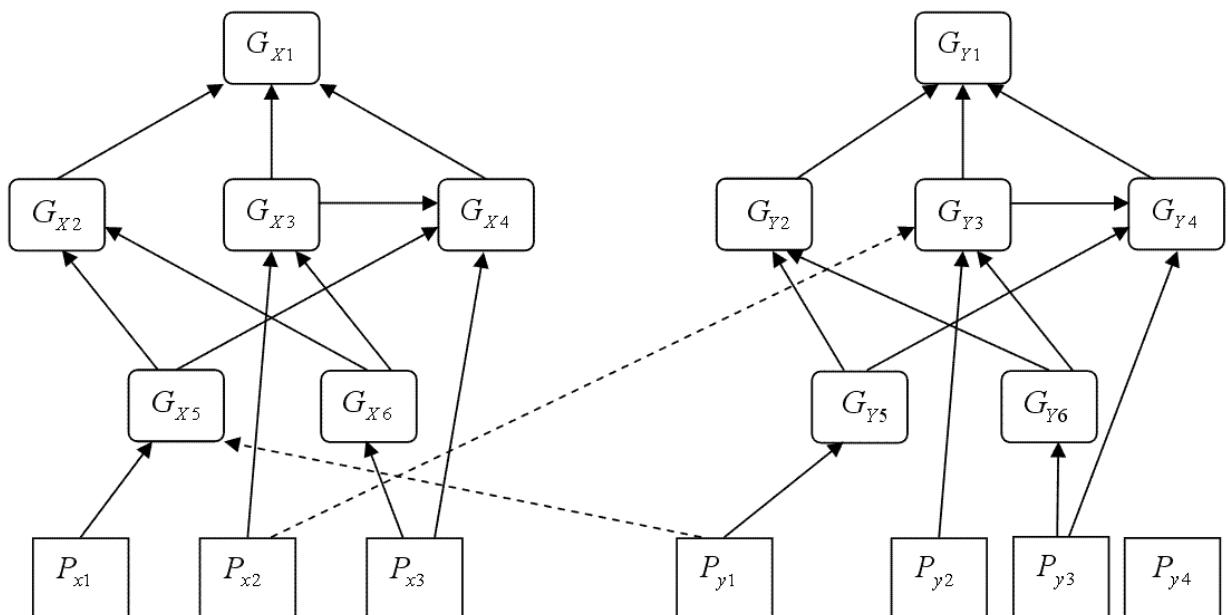


Рис. 6.40 Графічне подання моделі взаємодії гравців

Дуги відображають вплив досягнення одних цілей на досягнення інших: із підцілей ведуть дуги в їхні безпосередні надцілі. Одна й та ж сама підціль може впливати позитивно на досягнення одних безпосередніх її надцілей і гнітюче (негативно) – на досягнення інших. Дуги графа ієрархії цілей навантажені відносними коефіцієнтами впливу досягнення підцілей на досягнення їхніх безпосередніх надцілей, а кожній вершині поставлені у відповідність множина сумісних безпосеред-

ніх підцілей і функція, що дозволяє обчислити ступінь досягнення цілі. На нижньому рівні ієрархію завершують проекти, які є підцілями деяких цілей, але не мають власних підцілей.

З вершини, що позначує проект P_{x_i} гравця X , виходить дуга, що входить у вершину G_{Y_j} , що позначає ціль гравця Y . Інакше кажучи, проект P_{x_i} є безпосередньою підціллю цілі G_{Y_j} із частковим коефіцієнтом впливу w_{ij} . У класичних моделях ігор для $\forall i, j w_{ij} = 0$, тобто відсутній вплив одного гравця на силу відповіді іншого. При $w_{ij} > 0$ вибір проекту x_i стимулює вибір проекту y_j (наприклад, якщо в магазині X немає i -го товару, то $w_{ij} > 0$ означає, що гравець Y буде зацікавлений продавати j -ий товар у себе). У той же час $w_{ij} < 0$ означає, що вибір гравцем X проекту x_i спричиняє гнітуючу дію (наприклад, гравцеві Y – власникамі ресторану – немає рації запрошувати джаз-оркестр, якщо подібне вже зробив гравець X – його конкурент).

Гра протікає в такий спосіб: перший хід робить гравець X , що вибирає за певним алгоритмом проект x_i . При цьому, якщо проект x_i спричиняє гнітуючу дію на Y , то зменшується вага проекту y_j , з яким зв'язаний проект x_i і який моделює вибір ходу x_i . За даних умов розраховується відносна ефективність проектів гравців X і Y за відомими алгоритмами розрахунку [167].

Спочатку розглянемо випадок, коли на кожному кроці вибирається оптимальний (той, що має найбільшу відносну ефективність) проект. Далі, у результаті розрахунку відносної ефективності проектів (ходів) визначається найбільш ефективний проект гравця Y . Відповідно до алгоритму вибору оптимального ходу, що розглядається далі, гравець Y робить хід y_j . На наступному кроці хід робить гравець X , вибираючи наступний оптимальний проект і т.д.

6.4.2 Алгоритм вибору оптимального ходу

У загальному випадку, ієрархії цілей гравців задані графами з позитивними й негативними зворотними зв'язками, із граничними цілями, тобто становить значні

труднощі отримати їхній аналітичний опис. Тому, як універсальний інструмент дослідження пропонованого підходу, був вибраний метод математичного моделювання. Тобто, за допомогою системи Солон-2 [72], що реалізує алгоритми цільового оцінювання альтернатив (ходів), проводилося моделювання наближеного до реального випадку протистояння двох гравців. У ході експерименту бралися різні ієрархії гравців і, застосовуючи алгоритм, описаний в [73], розраховувалися показники відносної ефективності проектів (ходів) гравців. Спочатку це робилося для первого гравця. Причому на першому етапі не було впливу проектів другого гравця, тому що він ще не робив свій хід, тобто в ієрархії були відсутні дуги між проектами другого гравця й цілями первого. Як реакція первого гравця вибирался проект (хід) P_{xe} з максимальною ефективністю. Також підраховувався виграш первого гравця, очікуваний після реалізації проекту P_{xe} . Як виграш гравця брався ступінь досягнення його головної цілі. Далі, в ієрархію додавалася дуга, що з'єднує проект P_{xe} із деякими цілями в ієрархії другого гравця. Причому, вага цієї дуги визначалась частковим коефіцієнтом впливу проекту P_{xe} й могла бути як позитивною, так і негативною. Надалі, описаний вище процес повторювався для другого гравця, але вже з огляду на вплив ходу суперника. В експерименті передбачалося, що ймовірність повторення ходу гравцем дорівнює нулю, тобто якщо на n -му кроці гравець вибрав проект $P_{xe}(n)$, то на $(n+1)$ -му кроці даний проект не міг бути обраний (він виключався з ієрархії). Описані кроки повторювалися доти, поки в гравців залишалися невибрані проекти. Далі підраховувався виграш кожного гравця, отриманий у ході всієї гри.

У проведенню дослідження, виграш кожного гравця обчислювався як сума виграшів, отриманих гравцем на кожному етапі гри, тобто після кожного зробленого кроку. Потім гра повторювалася, але на деякому, випадково обраному, ході гравець вибрав не найефективніший для нього проект. Було проведено близько 2200 повторів дослідження із різними видами ієрархії (без зворотних зв'язків і без порогових цілей; зі зворотними зв'язками без порогових цілей; зі зворотними зв'язками й пороговими цілями). У результаті дослідження встановлене наступне:

1. У випадку лінійної ієрархії (без зворотних зв'язків і порогових цілей) було про-

ведено близько 500 експериментів. Виграш гравця в результаті гри при виборі ним на кожному кроці найефективнішого проекту (ходу) перевищує виграш у випадку вибору проекту випадковим чином (рис. 6.41).

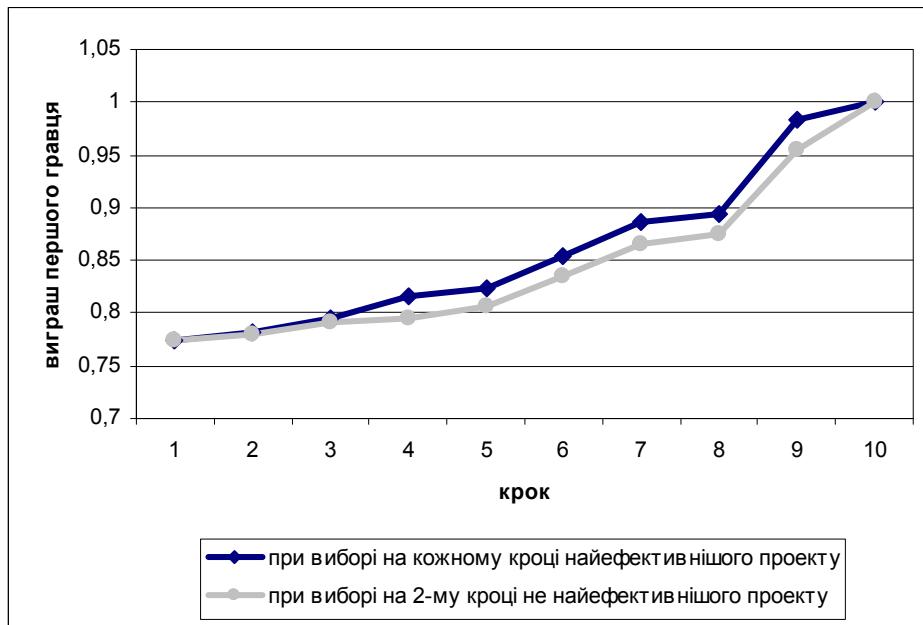


Рис. 6.41 Виграш гравця у випадку ієрархії без зворотних зв'язків і порогових цілей

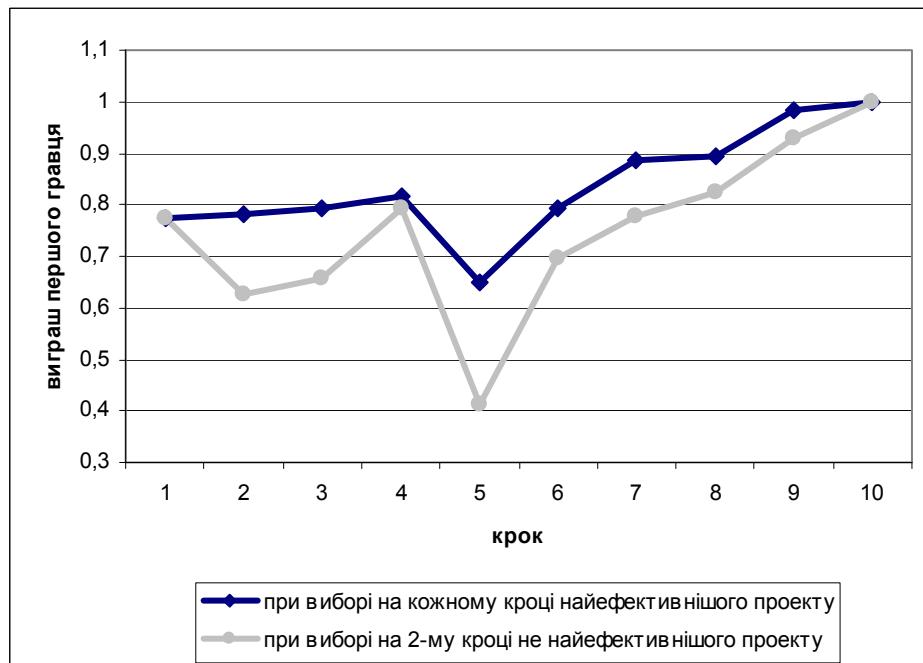


Рис. 6.42 Виграш у випадку ієрархії зі зворотними зв'язками без порогових цілей

2. У випадку нелінійної ієрархії зі зворотними зв'язками (без порогових цілей) було проведено близько 300 експериментів. Жодного випадку не виявлено, у якому б

виграш від гри при виборі на кожному кроці найефективнішого проекту не перевищував би виграш у іншому випадку. (рис. 6.42)

3. У випадку нелінійної ієрархії із пороговими цілями (без зворотних зв'язків) було проведено близько 350 експериментів. Виграш гравця в результаті гри при виборі ним на кожному кроці найефективнішого проекту (ходу) перевищує виграш у випадку вибору проекту випадковим чином (рис. 6.43).

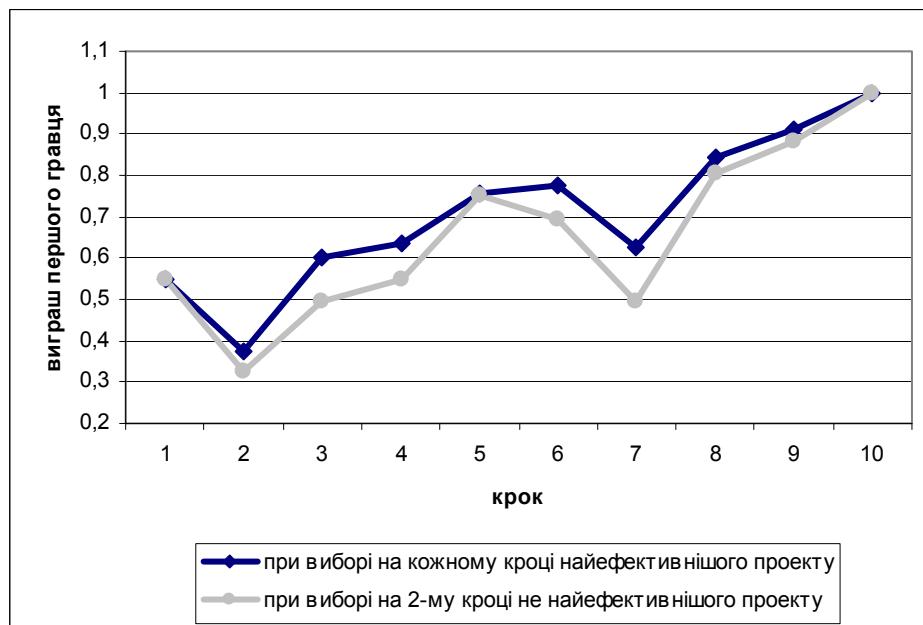


Рис. 6.43 Виграш у випадку ієрархії без зворотних зв'язків із пороговими цілями

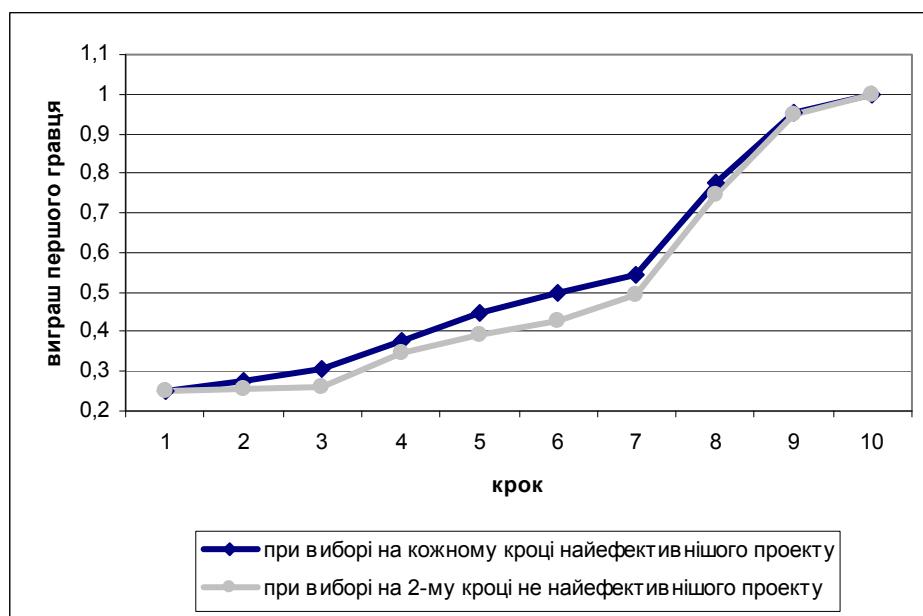


Рис. 6.44 Виграш у випадку ієрархії зі зворотними зв'язками із пороговими цілями

4. У випадку нелінійної ієархії зі зворотними зв'язками й пороговими цілями було проведено близько 1000 експериментів. Жодного випадку, у якому б вигравш від гри при виборі на кожному кроці найефективнішого проекту не перевищував би вигравш у іншому випадку не виявлено (рис. 6.44).

Таким чином, алгоритм вибору оптимального ходу на кожному кроці гри полягає в розрахунку відносної ефективності проектів з урахуванням взаємодії гравців і вибору найефективнішого з них.

6.4.3 Приклад використання моделі прийняття рішень

Розглянемо практичний приклад використання описаної вище моделі прийняття рішень у конфліктних ситуаціях і алгоритму вибору оптимального ходу. Яскравим прикладом конкуренції двох гравців є передвиборна кампанія двох політичних партій. У кожної з них головною метою стоять залучення на свою сторону максимального числа виборців. Ієархії взаємодії гравців представлені на рис. 6.45.

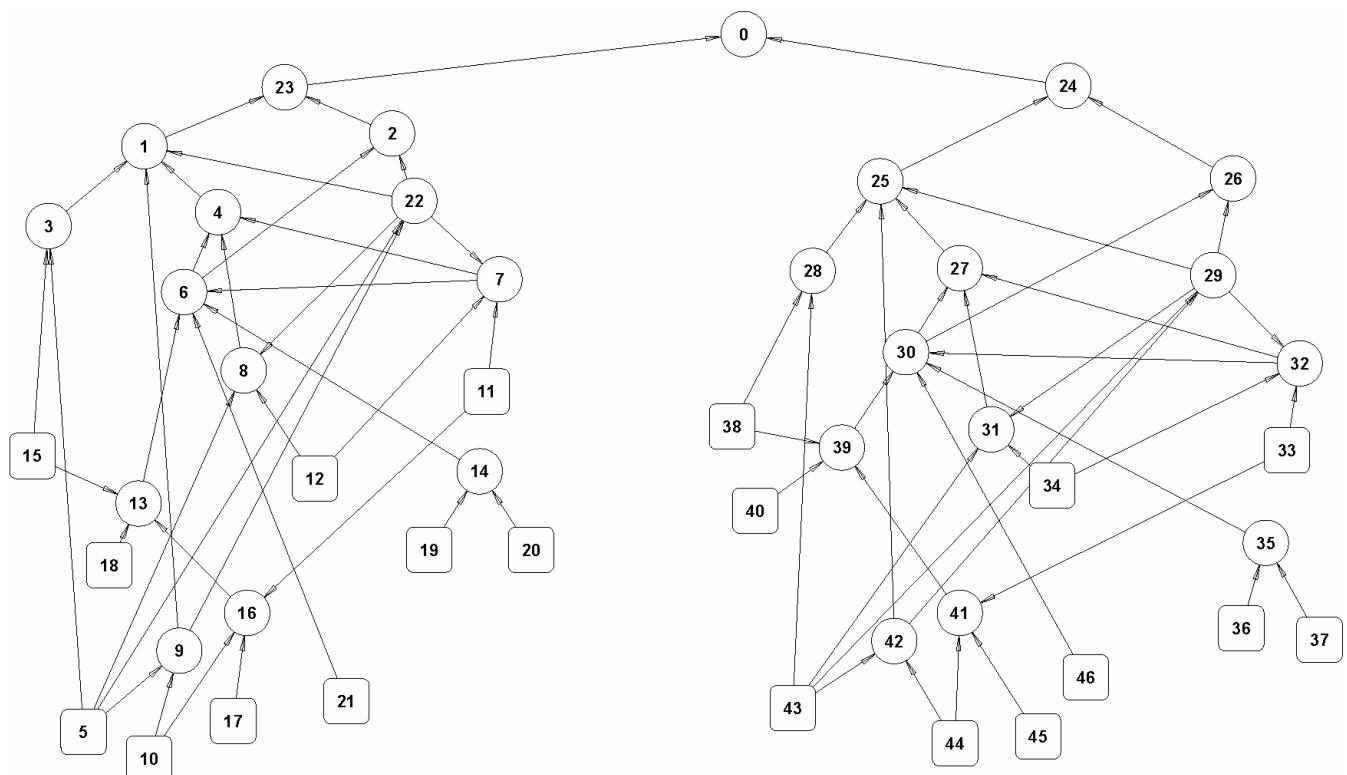


Рис. 6.45 Ієархії взаємодії гравців

Цілі (проекти) ієрархій гравців пронумеровані, їхні назви наведені в таблиці 6.4. Хід гри можна простежити за результатами розрахунків, наведеними у таблиці 6.5.

Таблиця 6.4. Назви пронумерованих цілей із ієрархій гравців

Ієрархія 1-го гравця		Ієрархія 2-го гравця	
№ цілі (проекту)	назва	№ цілі (проекту)	назва
23	залучення виборців	24	залучення виборців 1
1	залучення тих, що не визначилися	25	залучення тих, що не визначилися 1
2	збереження своїх виборців	26	збереження своїх виборців 1
3	ослаблення позицій опонентів	28	ослаблення позицій опонентів 1
4	донесення передвиборної програми до виборців	27	донесення передвиборної програми до виборців 1
22	визначити коло потенційних виборців	29	визначити коло потенційних виборців 1
6	проведення агітаційних заходів	30	проведення агітаційних заходів 1
7	розробка програми	32	розробка програми 1
8	обрання лідера, що заслуговує довіри	31	обрання лідера, що заслуговує довіри 1
11	залучення політтехнологів	33	залучення політтехнологів 1
12	проведення з'їзду партії	34	проводення з'їзду партії 1
15	участь у дебатах	38	участь у дебатах 1
13	залучення ЗМІ	39	залучення ЗМІ 1
14	проведення зустрічей з виборцями	35	проводення зустрічей з виборцями 1
19	організація мітингів	36	організація мітингів 1
20	поїздка в регіони	37	поїздка в регіони 1
18	розміщення білбордів	40	розміщення білбордів 1
16	створення агітаційних роликів	41	створення агітаційних роликів 1
9	аналіз результатів попередніх передвиборних кампаній	42	аналіз результатів попередніх передвиборних кампаній 1
5	проведення соц. опитувань	43	проводення соц. опитувань 1
10	залучення політологів	44	залучення політологів 1
17	залучення професійних режисерів і сценаристів	45	залучення професійних режисерів і сценаристів 1
21	роздача матеріальної допомоги	46	роздача матеріальної допомоги 1

Із застосуванням описаного вище алгоритму вибору оптимального ходу, гра буде протікати в такий спосіб:

Спочатку визначається відносна ефективність проектів першого гравця. З таблиці видно, що найефективнішим проектом першої політичної партії - «роздача матеріальної допомоги» (відносна ефективність 0,457613). Отже, для досягнення максимального підсумкового виграшу перший гравець вибирає саме цей проект, а в ієрархію додається вихідна з відповідної вершини дуга. (У таблиці обрані проекти по-

значені напівжирним шрифтом).

Далі свій хід робить другий гравець. Відносна ефективність його проектів показана в таблиці нижче. Відповідно до алгоритму, другий гравець вибирає проект «поїздка в регіони». Далі гра продовжується аналогічно. Результати підрахунку ефективностей ходів і виграші на кожному кроці показані в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 Хід гри

Крок	Гравець	№	Проекти	Ефективність	Виграш
1	1	5	проведення соцопитувань	0,092563	0,248764
		10	залучення політологів	0,008513	
		11	залучення політтехнологів	0,002134	
		12	проводення з'їзду партії	0,203756	
		15	участь у дебатах	0,015486	
		17	залучення професійних сценаристів і режисерів	0,017643	
		18	розміщення білбордів	0,084263	
		19	організація мітингів	0,045459	
		20	поїздка в регіони	0,072579	
		21	роздача матеріальної допомоги	0,457613	
2	2	43	проводення соцопитувань 1	0,004879	0,213548
		44	залучення політологів 1	0,013258	
		33	залучення політтехнологів 1	0,057984	
		34	проводення з'їзду партії 1	0,098462	
		38	участь у дебатах 1	0,138798	
		42	залучення професійних сценаристів і режисерів 1	0,009756	
		40	розміщення білбордів 1	0,024876	
		36	організація мітингів 1	0,059753	
		37	поїздка в регіони 1	0,592232	
		46	роздача матеріальної допомоги 1	0,000002	
1	1	5	проводення соцопитувань	0,126483	0,276206
		10	залучення політологів	0,023258	
		11	залучення політтехнологів	0,057984	
		12	проводення з'їзду партії	0,384684	
		15	участь у дебатах	0,058798	
		17	залучення професійних сценаристів і режисерів	0,009756	
		18	розміщення білбордів	0,154604	
		19	організація мітингів	0,184433	
		20	поїздка в регіони	0,000000	
		43	проводення соцопитувань 1	0,015486	
2	2	44	залучення політологів 1	0,023515	0,275465
		33	залучення політтехнологів 1	0,057624	
		34	проводення з'їзду партії 1	0,084624	
		38	участь у дебатах 1	0,186407	
		42	залучення професійних режисерів і сценаристів 1	0,057951	
		40	розміщення білбордів 1	0,032470	
		36	організація мітингів 1	0,074612	
		46	роздача матеріальної допомоги 1	0,467311	

Таблиця 6.5 Хід гри (продовження)

Крок	Гравець	№	Проекти	Ефективність	Виграш
3	1	5	проведення соцопитувань	0,148578	0,304742
		10	залучення політологів	0,023456	
		11	залучення політтехнологів	0,061234	
		15	участь у дебатах	0,064045	
		17	залучення професійних режисерів і сценаристів	0,012315	
		18	розміщення білбордів	0,256782	
		19	організація мітингів	0,397612	
		20	поїздка в регіони	0,035978	
3	2	43	проводення соцопитувань 1	0,012348	0,346010
		44	залучення політологів 1	0,034861	
		33	залучення політтехнологів 1	0,009456	
		34	проводення з'їзду партії 1	0,106486	
		38	участь у дебатах 1	0,328086	
		42	залучення професійних режисерів і сценаристів 1	0,084226	
		40	розміщення білбордів 1	0,424537	
		36	організація мітингів 1	0,000000	
4	1	5	проводення соцопитувань	0,157964	0,375527
		10	залучення політологів	0,023157	
		11	залучення політтехнологів	0,075056	
		15	участь у дебатах	0,404864	
		17	залучення професійних режисерів і сценаристів	0,097860	
		18	розміщення білбордів	0,000000	
		20	поїздка в регіони	0,241099	
		43	проводення соцопитувань 1	0,031455	
4	2	44	залучення політологів 1	0,014861	0,426002
		33	залучення політтехнологів 1	0,018762	
		34	проводення з'їзду партії 1	0,087984	
		38	участь у дебатах 1	0,513158	
		42	залучення професійних режисерів і сценаристів 1	0,025054	
		36	організація мітингів 1	0,308726	
5	1	5	проводення соцопитувань	0,234864	0,447846
		10	залучення політологів	0,046212	
		11	залучення політтехнологів	0,073321	
		17	залучення професійних режисерів і сценаристів	0,040405	
		18	розміщення білбордів	0,420546	
		20	поїздка в регіони	0,184652	
		43	проводення соцопитувань 1	0,204567	
		44	залучення політологів 1	0,032456	
5	2	33	залучення політтехнологів 1	0,161757	0,521506
		34	проводення з'їзду партії 1	0,054654	
		42	залучення професійних режисерів і сценаристів 1	0,000024	
		36	організація мітингів 1	0,546542	

Таблиця 6.5 Хід гри (продовження)

Крок	Гравець	№	Проекти	Ефективність	Виграш
6	1	5	проведення соцопитувань	0,278453	0,498645
		10	залучення політологів	0,040489	
		11	залучення політтехнологів	0,030456	
		17	залучення професійних режисерів і сценаристів	0,154678	
		20	поїздка в регіони	0,495924	
6	2	43	проводення соцопитувань 1	0,184864	0,554860
		44	залучення політологів 1	0,324513	
		33	залучення політтехнологів 1	0,270486	
		34	проводення з'їзду партії 1	0,117822	
		42	залучення професійних режисерів і сценаристів 1	0,102315	
7	1	5	проводення соцопитувань	0,457975	0,545805
		10	залучення політологів	0,000318	
		11	залучення політтехнологів	0,218764	
		17	залучення професійних режисерів і сценаристів	0,322943	
	2	43	проводення соцопитувань 1	0,184864	0,645087
7		33	залучення політтехнологів 1	0,248464	
		34	проводення з'їзду партії 1	0,434484	
		42	залучення професійних режисерів і сценаристів 1	0,132181	
		10	залучення політологів	0,249754	
8	1	11	залучення політтехнологів	0,234846	0,775465
		17	залучення професійних режисерів і сценаристів	0,515400	
		43	проводення соцопитувань 1	0,455572	
	2	33	залучення політтехнологів 1	0,487942	0,845170
8		42	залучення професійних режисерів і сценаристів 1	0,056486	
1	10	залучення політологів	0,643215	0,954811	
1	11	залучення політтехнологів	0,356785		
2	43	проводення соцопитувань 1	0,123576		
9	2	42	залучення професійних режисерів і сценаристів 1	0,876424	1,000000
		1	11	залучення політтехнологів	1,000000
10	1	43	проводення соцопитувань 1	1,000000	1,000000
	2				

6.5 Вирішення задачі розподілу ресурсів

У даному підрозділі запропоновано метод розв'язання задачі розподілу ресурсів за допомогою систем ППР [12]. Задача після дискретизації вирішується за допомогою модифікованого Генетичного алгоритму. Цей метод реалізовано для практичного застосування в складі СППР „Солон-3”.

6.5.1 Особливості задачі для слабко структурованих предметних областей

Однією з задач, що можуть вирішуватись за допомогою СППР є розподіл обмежених ресурсів між проектами. Зазначимо, що навіть у найбільших організацій ресурси завжди обмежені. Керівництво повинне вирішити, як розподілити матеріали, людські ресурси і фінанси між різними групами, щоб найефективнішим чином досягти цілей організації. Виділити велику частку ресурсів якомусь одному керівнику, підлеглому або групі означає, що інші одержать меншу частку від загальної кількості. Таким чином, необхідність ділити ресурси майже неминуче веде до різних видів конфлікту.

Ця задача є актуальною, і на сьогодні має широке практичне застосування, наприклад, при підтримці рішень з ефективного розподілу фінансування проектів, для складання бюджетів різних рівнів, та ін.

Задачі оптимального розподілу ресурсів зазвичай вирішуються з застосуванням різних методів математичного програмування. Розв'язання ж даної задачі з використанням згаданих вище СППР має наступні особливості:

- в слабко структурованих областях цільова функція зазвичай не може бути представлена аналітично, існує тільки її алгоритмічне представлення (наприклад, такою функцією може бути ступінь досягнення головної цілі проблеми);
- в багатьох реальних моделях предметних областей цільова функція не є лінійною;
- оскільки вхідними даними для побудови моделі є суб'єктивні експертні оцінки, які не є досить строгими і точними, то вимоги до точності визначення розподілу ресурсів є теж не високими (іншими словами, часто для ОПР достатньо мати не оптимальний, але досить хороший варіант рішення).

Слід зазначити, що в [209] було запропоновано метод вирішення даної задачі для моделей предметних областей з лінійною цільовою функцією. В цьому випадку задача зводилася до задачі лінійного програмування та вирішувалась за допомогою симплекс-методу. Але, оскільки, реальні моделі в переважній більшості мають складнішу структуру (в ієрархії цілей є зворотні зв'язки між цілями різних рівнів ієрап-

хії, функції ступеня досягнення цілей можуть бути не тільки лінійними, але й пороговими) і, як наслідок, цільова функція в таких випадках має нелінійний характер, тому постала задача в іншій, нижче викладеній, постановці.

6.5.2 Метод розв'язання задачі оптимального розподілу ресурсів

6.5.2.1 Формальна постановка задачі

Дано:

1. Множина проектів $P = \{P_i\}, i = (\overline{1, n})$.
2. Для кожного проекту P_i задається функція залежності $S_i = f(R_i)$ ступеня його виконання S_i від величини фінансування R_i .
3. Алгоритм підрахунку ступеня досягнення головної цілі програми, що відповідає вектору \bar{S} ступенів виконання проектів: $E(\bar{S})$.

Знайти вектор \bar{R}_x , при якому $E(\bar{S}_x) \rightarrow \max$, при обмеженні $\sum_{i=1}^n R_i \leq R_T$, де R_T – загальний об'єм фінансування програми.

6.5.2.2 Сутність запропонованого методу

В якості моделі проекту в задачі, що розглядається, пропонується вибрати просту кусково-безперервну функцію, вигляд якої зображенено на рис. 6.46.

На осі „ресурс” позначка R_{\max} – це величина ресурсу, яка потрібна для повного виконання проекту, R_{\min} – мінімальна кількість ресурсів, що необхідна для виконання проекту на деяку не нульову величину у відсотках (%min).

У порівнянні з лінійною функцією, даний вид функції більш реалістично відображує складну природу проекту, адже при застосуванні неї виключається розгляд варіантів розподілу на проект ресурсів, яких є недостатньо навіть щоб розпочати реалізацію проекту. Запропонований метод передбачає, при необхідності, можливість

вибору більш складної функції, яка буде адекватніше відображувати поведінку кожного конкретного проекту.

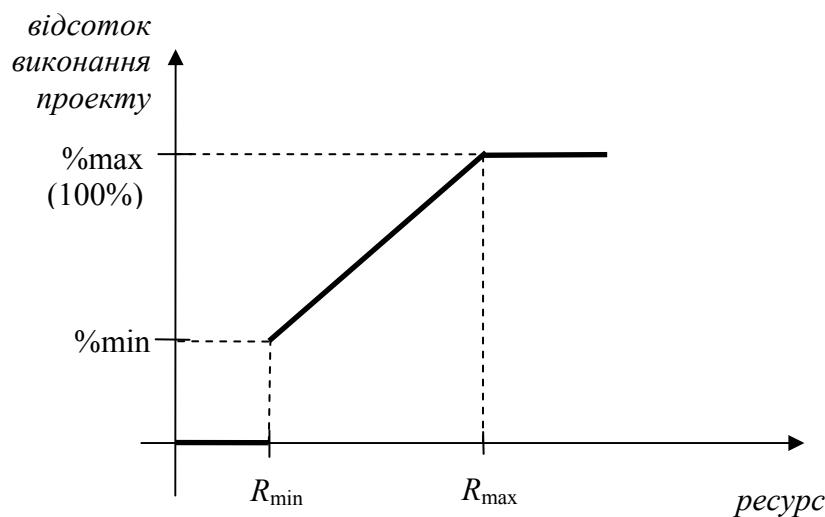


Рис. 6.46 Функція залежності виконання проекту від фінансування.

З точки зору практичного застосування методу доцільно перейти від пошуку рішення в безперервній шкалі до пошуку в дискретній області. Для цього пропонується, як вхідні дані для алгоритму, задавати точність розподілу ресурсів. Ця величина фактично являє собою деяку одиницю дискретизації ресурсу.

У зв'язку з зазначеними вище особливостями, для вирішення даної задачі підходить застосування еволюційних методів, які по суті є варіантами цілеспрямованого випадкового пошуку.

Серед еволюційних методів запропоновано вибрати для використання модифікацію генетичного алгоритму (ГА), вперше запропонованого Холландом [115]. ГА – це алгоритм, який дозволяє знайти задовільне рішення до аналітично нерозв'язних або складнорозв'язних проблем шляхом послідовного підбору та комбінування шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію.

6.5.2.3 Особливості застосування Генетичного алгоритму

ГА оперують сукупністю особин (популяцією), які представляють собою рядки, кожний з яких кодує один з розв'язків задачі. Цим ГА відрізняється від більшості

інших алгоритмів оптимізації, які оперують лише з одним варіантом розв'язку, покращуючи його. За допомогою функції пристосованості серед всіх особин популяції виділяють:

- найбільш пристосовані (більш прийнятні відповідні розв'язки/рішення), які отримують можливість схрещуватися і давати потомство;
- найгірші (погані рішення), які видаляються з популяції і не дають потомства.

Таким чином, пристосованість нового покоління в середньому вища ніж попереднього.

Як відомо, універсальність ГА полягає в тому, що від конкретної задачі залежать тільки такі параметри, як функція пристосованості та кодування варіантів розв'язків. Інші етапи для всіх задач здійснюються однаково. Тому зупинимось на цих параметрах задачі розподілу ресурсів.

В якості функції пристосованості для даного типу задачі ППР розглядається функція ступеня досягнення головної цілі прикладної проблеми при заданих рівнях виконання проектів [167]. Ця функція вже реалізована і застосовується в багатьох функціональних режимах СППР, тому вона на разі не потребує повторної реалізації і може бути використана в якості функції пристосованості ГА.

Зупинимось докладніше на кодуванні розв'язків (рішень) даної задачі. На початку, заданий для подальшого розподілу між проектами ресурс R_t підлягає дискретизації, тобто поділу на елементарні (неподільні) частки. Величина одиниці дискретизації ресурсу задається користувачем. Ця процедура є не тільки допустимою, але й доцільною, оскільки на практиці потрібен результат розподілу ресурсів з деякою точністю і, якщо вибрана точність надмірно висока, то результати потрібно заокруглювати до потрібних меж. Варіантом рішення в цій постановці задачі є вектор, кожний елемент якого – це кількість елементарних часток ресурсу, що виділяється відповідному проекту.

Для того, щоб зробити розрахунок пристосованості особин, – знайти значення функції ступеня досягнення головної цілі прикладної проблеми, – потрібно попередньо розрахувати ступінь виконання кожного проекту при визначеному фінансуванні. Тобто, для проекту, що відповідає елементу вектора рішення, відповідно до мо-

делюючої функції, вигляд якої зображено на рис. 6.46, потрібно знайти ступінь його виконання. Параметри функції залежності виконання проекту від фінансування для кожного проекту вводяться користувачем. Передбачається, що ці дані (а саме: кількість ресурсів, що необхідна для повного виконання проекту, мінімально доцільна кількість ресурсів для проекту та ймовірний відсоток виконання проекту при цьому) отримуються користувачем СППР від осіб – розробників бізнес-планів проектів.

Деяку складність при реалізації та використанні вибраного методу представляють підбір операторів та параметрів ГА. Для даної реалізації були використані наступні оператори ГА: турнірний відбір із двох особин, одноточковий кросовер, мутація та елітізм.

За замовчуванням пропонується використовувати такі вхідні параметри: кількість особин в популяції – 50, ймовірність мутації – 0.05, параметр завершення ГА – кількість поколінь з однаковим результатом – 50. Передбачена можливість зміни цих параметрів шляхом підбору більш прийнятних з метою ефективного отримання результату для заданої БЗ.

Даний метод реалізовано у вигляді комп’ютерної програми, протестовано та включено як додаток до СППР „Солон-3” [173].

6.5.2.4 Характерні особливості задач ППР, в яких застосовується метод

Особливостями задач, що вирішуються за допомогою згаданого типу СППР є:

- неможливість сформулювати загальний набір критеріїв для групи оцінюваних проектів (варіантів рішень);
- необхідність оцінювати ефективність проектів (варіантів рішень) в динаміці, тобто на деякому визначеному проміжку часу;
- необхідність оцінювати складні проекти, що складаються з пов’язаних між собою проектів.

Далі на рис. 6.47 представлена екранну форму СППР для роботи з БЗ вище описаного типу.

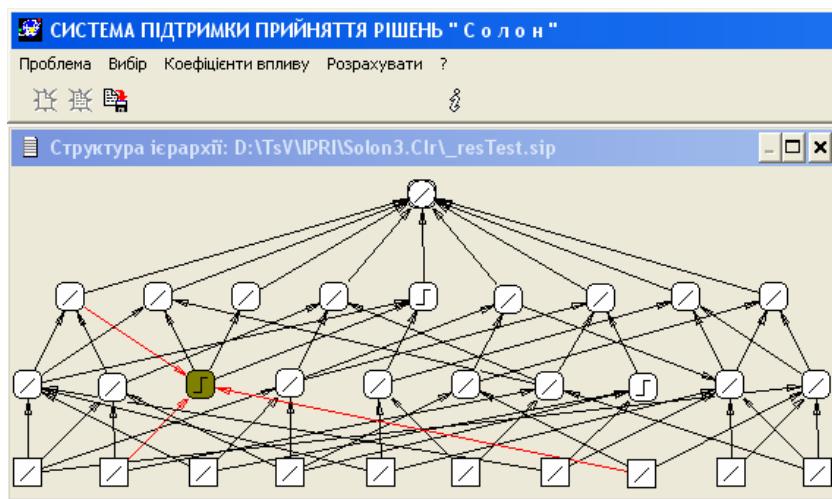


Рис. 6.47 Екранна форма СППР „Солон-3” з вікном графічного зображення структури ієархії цілей із зворотними зв’язками та пороговими цілями.

На графічному зображенні структури БЗ можна побачити наявність зворотних зв’язків (тобто дуг, що виходять з вищих рівнів ієархічної структури на нижчі рівні), також видно наявність порогових цілей (відповідні їм вершини позначені прямокутниками із закругленими кутами, у центрі яких зображено характерний „ ε -подібний” знак).

6.5.3 Реалізація методу розподілу ресурсів у вигляді програмного додатку

На рис. 6.48 зображено діалогове вікно для розрахунку оптимального розподілу ресурсів, де уводиться загальна кількість та точність розподілу ресурсів, а також по кожному з проектів уводяться мінімально та максимально необхідна кількість ресурсів та відсоток виконання проекту в кожній ситуації. Уведення значення точності програмно контролюється та обмежується знизу в залежності від уведеної загальної кількості ресурсів з метою недопущення ситуацій надмірного зростання розмірності задачі. Кнопка з написом „Змінити параметри алгоритму” служить для відображення діалогу коригування вхідних параметрів ГА. В правій колонці таблиці після розрахунків відображається рекомендована кількість ресурсів для виділення кожному проекту.

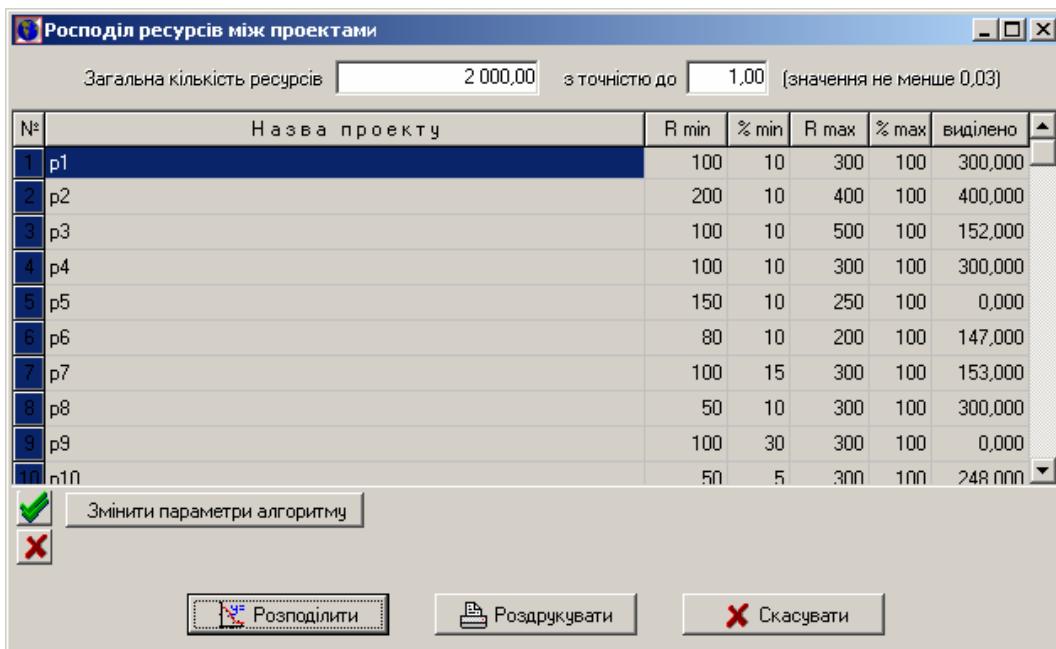


Рис. 6.48 Екранна форма діалогового вікна СППР „Солон-3” для введення вхідних даних та відображення результатів розрахунків розподілу ресурсів.

Як можна побачити з відображені в екранній формі таблиці, ресурс, якщо його пропонується виділити для проекту, є не меншим ніж R_{\min} і не перевищує R_{\max} . Окрім того, значення запропонованих для виділення ресурсів є кратними уведеній точності (одиниці дискретизації ресурсу).

6.6 Висновки за розділом 6

У даному розділі подано опис програмних систем різноманітного призначення створених на основі розроблених моделей та методів експертної ППР. Реалізовані та знайшли практичне застосування ряд систем, серед яких: СППР „Солон-3” у складі з підсистемою розподілу обмежених ресурсів між проектами та комплексом програмних засобів для експертного оцінювання шляхом парних порівнянь „Рівень”, підсистема розподіленого збору та обробки експертної інформації „Консенсус” для побудови бази знань розподіленими в глобальній мережі групами експертів, система оцінки персоналу за об’єктивними кількісними критеріями „Нагляд”.

На базі СППР „Солон-2” реалізовано модель ППР у конфліктних ситуаціях в якій передбачається модель гри із силою реакції гравця, що змінюється. Дано мо-

дель більш адекватно відображає реальні ситуації протистояння, ніж моделі ігор, засновані на сталості сили реакції гравців, незалежно від поводження гравця-суперника й фази гри.

Запропоновано практичний підхід до прийняття кадрових рішень на основі досвіду ординального експертного оцінювання.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розв'язано актуальну наукову проблему створення інструментарію експертної ППР в слабко структурованих складних системах на основі запропонованих моделей та методів, що надає можливість підвищити достовірність рекомендацій для ОПР, шляхом наближення моделі предметної області, сформованої на основі експертної інформації, до власних уявлень експертів про дану предметну область.

У рамках виконання завдань дисертаційного дослідження отримано наступні нові наукові результати:

1. Розроблено нову модель отримання експертної інформації та на основі даної моделі – технологію експертного оцінювання, яка базується на послідовності інтерактивних діалогів з експертами, та дозволяє кожному з них досягти максимальної відповідності використуваної ним шкали оцінювання до рівня його інформованості (компетентності) в питанні, що розглядається.
2. Для обробки групових ординальних експертних оцінок запропоновано метод визначення достатнього рівня їхньої узгодженості, та методи організації зворотного зв'язку для досягнення цього рівня узгодженості, що дозволило конструктивно використовувати ординальні ЕО у груповій експертизі.
3. Для обробки групових кардинальних експертних оцінок запропоновано сімейство авторських методів (комбінаторного типу), що базуються на урахуванні інформації про кожне з усіх покривних дерев графа, відповідного матриці парних порівнянь. Використання принципів, закладених у сімействі згаданих методів, дало змогу уdosконалити визначення спектрального коефіцієнта узгодженості кардинальних ЕО та розробити метод, що дозволяє уникнути негативного явища „реверсу” рангів.
4. Розроблено метод агрегації неповних експертних індивідуальних парних порівнянь, заданих у різних за докладністю шкалах, який використовує зворотний зв'язок з експертами. Метод є узагальненням комбінаторного методу зі зворотним зв'язком з експертами для парних порівнянь, виконаних у шкалах різної докладності, з визначенням спектрального коефіцієнта узгодженості за удосконаленим алго-

ритмом та можливістю підвищення узгодженості групових ЕО. На основі даного методу розроблено відповідну технологію ППР.

5. Запропоновано спосіб визначення показника ефективності методів агрегації матриць парних порівнянь, який характеризує потенційну здатність методу утримувати результати в певних межах.
6. Запропоновано та обґрунтовано показник якості ППР, пов'язаний зі стійкістю отримуваних оцінок варіантів рішень. Відповідно до задач ППР отримано два варіанти цього показника: стійкість оцінок при ранжируванні – збереження порядку ранжирування альтернатив за наявності природних погрішностей у ході експертного оцінювання, та стійкість при кардинальному оцінюванні альтернатив – утримання оцінок в межах деякої заданої максимальної відносної похибки. Встановлено, що стійкість оцінок варіантів рішень залежить як від структури БЗ, так і від самих числових значень коефіцієнтів впливу, що містяться в даній БЗ. Запропоновано шляхи підвищення показника стійкості шляхом корегування числових показників і/або структури БЗ.
7. Створено імітаційну моделлючу підсистему, яка дозволяє досліджувати параметри технології ППР без залучення реальних експертів до процесу моделювання. Розроблено методи для імітації як ординальних ЕО (ранжирувань), так і кардинальних – у вигляді матриць парних порівнянь. На основі даних експерименту показано, що під час роботи в „малих” експертних групах урахування компетентності є обов'язковим.
8. Розроблено технологію побудови експертами, рознесеними територіально, моделі предметної області у вигляді БЗ СППР. Проведено експериментальне дослідження технології, яким виявлено зміну параметрів групових методів експертного оцінювання при реалізації їх у мережі Internet, у порівнянні з параметрами звичайних (немережевих) групових методів.
9. На основі розробленого інструментарію ППР реалізовані та знайшли практичне застосування ряд програмних систем різноманітного призначення: СППР „Солон-3” у складі з підсистемою розподілу ресурсів та комплексом програмних засобів для експертного оцінювання шляхом парних порівнянь „Рівень”; система роз-

поділеного збору та обробки експертної інформації „Консенсус” – для побудови бази знань групами експертів, розподіленими в глобальній мережі; система оцінки персоналу за кількісними критеріями „Нагляд”. На базі СППР „Солон-2” реалізовано моделі ППР у конфліктних ситуаціях та прийняття кадрових рішень на основі досвіду ординального експертного оцінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Таран Т.А. Штучний інтелект. Теорія і застосування / Т.А.Таран, Д.А.Зубов // Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. – 240 с.
2. Глибовець М.М. Штучний інтелект / М.М. Глибовець, О.В. Олецький // К.: Вид. дім ”КМ Академія”, 2002. – 366 с.
3. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
4. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений / О.И.Ларичев. – М.: Наука, 1979. – 200 с.
5. Zwicky F. Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach / Fritz Zwicky. – New York: McMillan, 1969.
6. Одрин В.М. Морфологический анализ систем. Построение морфологических таблиц / В.М. Одрин, С.С. Карташов. – Киев: Наукова думка, 1977. – 160 с.
7. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука: Теория решения изобретательских задач / Г.С.Альтшуллер. – М.: Советское радио, 1979. – 175 с.
8. Кузнецов О.П. Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем // Проблемы управления. – 2009. – № 3.1. – С. 64-72.
9. Loveridge D. Technology forecasting and foresight: pedantry or disciplined vision? / Denis Loveridge.– Manchester, UK: PREST, 1997.– 12 p. (Ideas in Progress Paper, 2).
10. Згурівський М.З. Основи системного аналізу / М.З.Згурівський, Н.Д.Панкратова. – К.: Видавнича група BHV, 2007. – 544 с.
11. Згурівский М.З. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения / М.З.Згурівский, Н.Д.Панкратова. – К.: Наукова думка, 2011. – 726 с.
12. Циганок В.В. Проблема розподілу ресурсів, як розширення можливостей систем підтримки прийняття рішень / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних.– 2010. – т.12.– №2.– С.232-237.
13. Бідюк П.І. Проектування комп’ютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень / П.І.Бідюк, Л.О.Коршевнюк; – К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ»,

2010. – 340 с.

- 14.Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Tomas Saaty. The Analytic Hierarchy Process. – Пер. с англ. Р.Г.Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 315 с.
- 15.Подиновский В.В. О некорректности метода анализа иерархий / В.В. Подиновский, О.В.Подиновская // Проблемы управления. – 2011. – №1. – С. 8-13.
- 16.Митихин В.Г. Об одном контрпримере для метода анализа иерархий / В.Г.Митихин // Проблемы управления. – 2012. – № 3. – С. 77-79.
- 17.Подиновский В.В. Ещё раз о некорректности метода анализа иерархий / В.В. Подиновский, О.В.Подиновская // Проблемы управления. – 2012. –№4. – С.75-79.
- 18.Millet I. Incorporating negative values into the Analytic Hierarchy Process / Ido Millet, Bertram Schoner // Computers & Operations Research. – 2005. – #32. – Р. 3163-3173.
- 19.Згурівський М.З. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами: [монография] / М.З.Згурівський, А.А.Павлов. – К.: Наукова думка, 2010. – 576 с.
- 20.Павлов А.А. Нахождение весов по матрице парных сравнений с односторонними ограничениями. / А.А.Павлов, В.И.Кут, А.С.Штанкевич // Вісник НТУУ “КПІ”. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: “ВЕК+”, 2008. – №48. – С. 29-32.
- 21.Павлов А.А. Инверсный модифицированный алгоритм метода группового учета аргументов и анализа иерархий в задаче принятия решений / А.А.Павлов, А.А.Иванова, А.С.Штанькевич // Зб.-к «Адаптивні системи автоматизованого управління». – 2009. – 14(34). – С. 99-104.
- 22.Панкратова Н.Д. Моделі і методи аналізу ієрархій. Теорія. Застосування / Н.Д.Панкратова, Н.І.Недашківська; – К.: НТУУ «КПІ». – 2010. – 372 с.
- 23.Ногин В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев / В.Д.Ногин // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2004. – т.44, №7. – С.1261-1270.
- 24.Воронин А.Н. Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем / А.Н.Воронин // Кибернетика и системный анализ. –2007. –№3. –С.84-92.
- 25.Воронин А.Н. Нелинейная схема компромиссов в многокритериальных задачах

оценивания и оптимизации / А.Н.Воронин // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – №4. – С. 106-114.

- 26.Bochkov A. Application of Analytic Hierarchy Process To Determining A Priori Distribution of Error-Free Running Time For High-Reliability Components / Alexander V. Bochkov // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / ISSN 1556-8296. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
- 27.Castillo M. Analysis and Evaluation of Technological and Operational Alternatives for Heavy Oil Gathering Systems in the Fields of Castilla and Chichimene, Colombia / Mario Castillo // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / ISSN 1556-8296. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
- 28.Cicone Junior D. Full Cost Account for Integrated Energy Resources Planning Using the Analytic Hierarchy Process / Decio Cicone Junior, Pascoal Henrique da Costa Rigolin, Miguel Edgar Morales Udaeta, Jose Aquiles Baesso Grimon / Proceedings of the 11th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. (Sorrento, Naples, Italy. June 15 – 18, 2011) ISSN 1556-8296. – Access mode: http://204.202.238.22/isahp2011/dati/pdf/40_038_CiconeJunior.pdf
- 29.Marins F.A.S. Using AHP and ANP to Evaluate the Relation Between Reverse Logistics and Corporate Performance in Brazilian Automotive Industry / Fernando Augusto Silva Marins // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / ISSN 1556-8296. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
- 30.Civille V. Using ELECTRE and MACBETH MCDA methods in an industrial performance improvement context / Vincent Civille, Lamia Berrah, Gilles Mauris // OR-52 Keynotes and Extended Abstracts, Operational Research Society Ltd., Royal

Holloway University of London, UK (7–9/9/2010, ISBN 0 903440 47 4). – London, 2010. – P. 162-169.

31. Salgado E.G. Prioritization of New Product Development Activities for Electronics Manufacturing / Eduardo Gomes Salgado, Valerio A. P. Solomon, Carlos Henrique Pereira Mello // Proceedings of the 11th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. (Sorrento, Naples, Italy. June 15 – 18, 2011) – Access mode: http://204.202.238.22/isahp2011/dati/pdf/64_0126_Gomes_Salgado.pdf
32. Liou J.H. A Fuzzy MCDM Approach for Evaluating Corporate Image and Reputation in the Airline Market / J.H. Liou // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / ISSN 1556-8296. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
33. Genovese A. The Analytic Hierarchy Process in the Supplier Selection Problem / Andrea Genovese // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / ISSN 1556-8296. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
34. Andreichicova O. Analytic Network Process as Qualitative Simulating Tool: Researching of Financial Crisis / Olga Andreichicova // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / ISSN 1556-8296. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
35. Reyes A. Applications of Multi-criteria Decision Analysis in the Selection of Foreign Markets to Export / Angela Reyes, Diana Lesmes, Mario Castillo // Proceedings of the 11th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. (Sorrento, Naples, Italy. June 15 – 18, 2011) ISSN 1556-8296. – Access mode: http://204.202.238.22/isahp2011/dati/pdf/134_088_Reyes.pdf
36. Abdullah P. Banking Crime Analysis and the Effectiveness of Banking Supervision: Combining Game Theory and the Analytical Network Process Approach / Piter Abdullah // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic

- Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / ISSN 1556-8296. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
- 37.Dragasevic Z. Analysis of the Efficiency of Banks in Montenegro Using the AHP / Zdenka Dragasevic // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / ISSN 1556-8296. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
- 38.Abdullah P. Appreciation of Rupiah: Benefits, Costs, Opportunities and Risks Analysis / Piter Abdullah // Proceedings of the 11th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. (Sorrento, Naples, Italy. June 15 – 18, 2011) ISSN 1556-8296. – Access mode: http://204.202.238.22/isahp2011/dati/pdf/1_068_Abdullah.pdf
- 39.Peiris P.P.M. Investigation into the Application of Multiple Criteria Decision Making for an Online Candidate Short Listing System / Pathiranage Padmali Manesha Peiris // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
- 40.Adamus W. A Contemporary Method of Employees Assessment / Wiktor Adamus // Proceedings of the 11th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. (Sorrento, Naples, Italy. June 15 – 18, 2011) ISSN 1556-8296. – Access mode: http://204.202.238.22/isahp2011/dati/pdf/6_0209_Adamus.pdf
- 41.Becker J.L. Applying AHP to the Prioritization of Maritime Booking Confirmation / Joao Luiz Becker // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07–1/08/2009. – Access mode: <http://www.isahp.org/2009Proceedings/FinalPapers>
- 42.Macharis C. Multi-Actor, Multi-Criteria Analysis (MAMCA) for transport project appraisal / Cathy Macharis // OR-52 Keynotes and Extended Abstracts, Operational Research Society Ltd., Royal Holloway University of London, UK (7–9/9/2010, ISBN 0 903440 47 4). – London, 2010. – P. 98-105.
- 43.Bernardini A. Multicriteria analysis of policy options scenarios to reduce the aviation

- climate impact – an application of the PROMETHEE based D-Sight software / Annalia Bernardini, Quantin Hayez, Cathy Macharis, Yves De Smet // OR-52 Keynotes and Extended Abstracts, Operational Research Society Ltd., Royal Holloway University of London, UK (7–9/9/2010, ISBN 0 903440 47 4). – London, 2010. – P.148-157.
44. Chiau-Ching Chen Using ANP for the Selection of Green Supply Chain Management Strategies / Chen Chiau-Ching // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / ISSN 1556-8296. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
45. Aghilone G. A Comparative Analysis Based on Analytic Network Process for Selection of a Mini Wind Station Plant / Graziella Aghilone, Fabio De Felice, Antonella Petrillo // Proceedings of the 11th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. (Sorrento, Naples, Italy. June 15 – 18, 2011) ISSN 1556-8296. – Access mode: http://204.202.238.22/isahp2011/dati/pdf/9_0208_Aghilone.pdf
46. Castillo M. Design of a Methodology for Identifying and Selecting the Best Alternative in Acquiring the Information System for a Company / Mario Castillo // Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / ISSN 1556-8296. – Access mode: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/
47. Cortina I. Application of a multi-criteria decision model for the selction of the best sales force automatization technology alternative for a Colombian enterprise / I. Cortina, N. Granados, M. Castillo // OR-52 Keynotes and Extended Abstracts, Operational Research Society Ltd., Royal Holloway University of London, UK (7–9/9/2010, ISBN 0 903440 47 4). – London, 2010. – P.169-177.
48. Ayag Z. Alpha-cut Fuzzy Analytic Network Process Based Approach to Evaluate Simulation Software Packages / Zeki Ayag, Ahmet Deniz Yucekaya // Proceedings of the 11th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. (Sorrento, Naples, Italy. June 15 – 18, 2011) ISSN 1556-8296. – Access mode: http://204.202.238.22/isahp2011/dati/pdf/17_056_AyaA.pdf

49. Mayon-White W. The use of MCDA in strategy and change management / William Mayon-White, Ayleen Wisudha // OR-52 Keynotes and Extended Abstracts, Operational Research Society Ltd., Royal Holloway University of London, UK (7–9/9/2010, ISBN 0 903440 47 4). – London, 2010. – P.105-108.
50. Islam R. Prioritizing the Nine Challenges of Malaysian Vision 2020 / Rafikul Islam // Proceedings of the 11th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. (Sorrento, Naples, Italy. June 15 – 18, 2011) ISSN 1556-8296. – Access mode: http://204.202.238.22/isahp2011/dati/pdf/77_04_Islam.pdf
51. Power D.J. Decision support systems: concepts and resources for managers / D.J.Power. – Westport, Conn.: Quorum Books, 2002. – 251p.
52. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation / T. L. Saaty; N.Y.: McGraw Hill. – 1980. – 287 p.
53. Saaty T.L. Decision Making with Dependence and Feedback: The analytic Network Process / T. L.Saaty; Pittsburgh: RWS Publicaitons. – 1996. – 370 p.
54. Expert Choice Desktop: Powerful Performance for Organizational Decision-Making [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://expertchoice.com/products-services/expert-choice-desktop>
55. Mareschal B. "PROMETHEE Methods", Ch 5 in: Figueira, J, Greco, S and Ehrgott, M, eds, Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys Series / B.Mareschal, J.-P.Brans, New York: Springer, – 2005.
56. Decision-making Support System “1000minds” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.1000minds.com/>
57. Hansen P. A new method for scoring multi-attribute value models using pairwise rankings of alternatives / P.Hansen and F.Ombler // Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. – 2008. – 15. P.87-107.
58. Hovanov N. Multicriteria estimation of probabilities on basis of expert non-numeric, non-exact and non-complete knowledge / N.Hovanov, M.Yudaeva, K.Hovanov // European Journal of Operational Research. – 2009. – Vol. 195, Issue 3. – P. 857-863.
59. Decision-making Support System “Analytica” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.lumina.com/support/downloads/>

- 60.Decision-making Support System “D-sight” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.d-sight.com/>
- 61.Decision-making Support System “MakeItRational” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://makeitrationa.com/>
- 62.Decision-making Support System “MindDecider” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.minddecider.com/>
- 63.Decision-making Support System “Logical Decisions” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.logicaldecisions.com/>
- 64.Decision-making Support System “Tree Age Pro” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.treeage.com/index.htm>
- 65.Decision-making Support System “RFP (Rational Focal Point)” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.ibm.com/developerworks/offers/lp/demos/summary/r-focalpointsmart.html>
- 66.Decision-making Support System “Very Good Choice” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.verygoodchoice-addin.com/>
- 67.Roy B. Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE) / B.Roy // La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO). – 1968. – N8. – P. 57-75.
- 68.Система поддержки принятия решений “ОЦЕНКА И ВЫБОР” [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://e-noosphere.com/noosphere/ru/magazine/Documents/SystemsAnalysisDesign/20030801_Ioffin_Abdrahimov.htm
- 69.Demo Project – Compare car models 2001-2012 / ESTIMATION & CHOICE [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://decisionsupporter.com/Projects.asp>
- 70.Микони С.В. Система выбора и ранжирования СВИРЬ / С.В.Микони // Труды междунар. конгресса «Искусственный интеллект в XXI веке», Дивноморское 3–8.09.2001. – М.: Физматгиз, 2001. – Том 1. – С. 500-507.
- 71.Микони С.В. Реализация принципов эргономичности и интеллектуальности в системе СВИРЬ / С.В.Микони, Д.П.Бураков, М.И.Сорокина // Программные продукты и системы. – 2002, №3. – С. 28-32.
- 72.Свідоцтво про державну реєстрацію прав автора на твір ПАН№4137. Міністерство

освіти і науки України. Державний департамент інтелектуальної власності. Комп'ютерна програма „Система підтримки прийняття рішень СОЛОН-2” (СППР СОЛОН-2) / В.Г.Тоценко, В.В.Циганок, О.С.Олійник, П.Т.Качанов // зареєстровано 17.04.2001.

73. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект / В.Г.Тоценко; ИПРИ НАНУ. – К.: Наукова думка, 2002. – 382с.
74. Weistroffer H.R. "Multiple criteria decision support software", Ch 24 in: Figueira J., Greco S. and Ehrgott M. eds, Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys Series / H.R.Weistroffer, C.H.Smith and S.C.Narula; N.Y.: Springer, – 2005.
75. Buckshaw D. Decision analysis software survey / D.Buckshaw // OR/MS Today. – 2010. – Volume 37, #5. – P. 44-53.
76. Кушербаева Б.Т. Шкалы и их свойства в методе анализа иерархий / Б.Т.Кушербаева, Ю.А.Сушкин // Известия Кабардино-Балкарского центра РАН. – 2010. – Т. 5(37). – С.15-23.
77. Яремчук Н.А. Побудова лінгвістичних шкал при експертному оцінюванні властивостей складних об'єктів / Н.А.Яремчук, О.М.Сікоза // Системи обробки інформації. – 2010. –5(86). – С.153-157.
78. Elliott M.A. Selecting numerical scales for pairwise comparisons / M.A.Elliott // Reliability Engineering and System Safety. – 2010. – 95. – P.750-763.
79. Saaty T.L. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process / T.L Saaty; Pittsburgh, PA: RWS Publications. – 2000. – 477p.
80. Salo A.A. On the measurement of preferences in the analytic hierarchy process / A.A.Salo, R.P.Hamalainen // Journal of Multi-criteria Decision Analysis. – 1997. – 6. – P.309-319.
81. Stevens S.S. On the psychophysical law / S.S.Stevens // Psychology Review. – 1957. – 64. – P.153-181.
82. Lootsma F.A. Conflict resolution via pairwise comparisons of concessions / F.A.Lootsma // European Journal of Operational Research. – 1989. – 40. – P.109-116.
83. Lootsma F.A. Scale sensitivity and rank preservation in a multiplicative variant of the

- AHP and SMART / F.A.Lootsma // Report 91-67. Faculty TWI. Delft University of Technology. Delft. The Netherlands. – 1991.
- 84.Ji P. Scale Transitivity in the AHP / P.Ji and R.Jiang // Journal of the Operational Research Society. – 2003. – Vol.54, No.8. – P.896-905.
- 85.Ma D. 9/9-9/1 Scale Method of AHP / D.Ma, X.Zheng // Proceedings of the second International Symposium on the AHP. – Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh. – 1991. – Vol. 1. – P.197-202.
- 86.Dodd F.J. Scale horizons in analytic hierarchies / F.J.Dodd, H.A.Donegan, T.B.M.McMaster // J. Multi-criteria Decis. Anal. – 1995. – 4 – P.177-188.
- 87.Dong U. A comparative study of the numerical scales and the prioritization methods in AHP / Yucheng Dong, Yinfeng Xu, Hongyi Li, Min Dai // European Journal of Operational Research. – 2008. – 186. – P.229-242.
- 88.Wedley W.C. A taxonomy of ratio scales / William C. Wedley & Eng Ung Choo // OR-52 Keynotes and Extended Abstracts, Operational Research Society Ltd., Royal Holloway University of London, UK (7-9/09/2010 ISBN 0903440474). – P.199-203.
- 89.Saaty T.L. On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process / Thomas L. Saaty and Liem T. Tran // Mathematical and Computer Modelling. – 2007. – 46(7-8). – P.962-975.
- 90.Miller G.A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information / George A. Miller // The Psychological Review. – 1956. – 63(2). – P.81-97.
- 91.Zgurovsky M.Z. Group Incomplete Paired Comparisons with Account of Expert Competence / M.Z.Zgurovsky, V.G.Totsenko, V.V.Tsyganok // Mathematical and Computer Modelling. – February 2004. – v.39, №4-5. – P.349-361.
- 92.Циганок В.В. Комбінаторний алгоритм парних порівнянь зі зворотним зв'язком з експертом / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2000. – Т.2, №2. – С.92-102.
- 93.Тоценко В.Г. Экспериментальное исследование методов получения кардинальных экспертных оценок альтернатив. Ч.І. Методы без обратной связи с экспертом / В.Г.Тоценко, В.В.Цыганок, П.Т.Качанов, А.А.Деев, Е.В.Качанова,

- Л.Т.Торба // Проблемы управления и информатики. – 2003. – №1. – С.34-48.
- 94.Siraj S. Enumerating all spanning trees for pairwise comparisons / S.Siraj, L.Mikhailov, J.A.Keane // Computers & Operations Research. – 2012. – Volume 39, Issue 2. – P.191-199.
- 95.Siraj S. Corrigendum to: "Enumerating all spanning trees for pairwise comparisons" [Comput.Oper.Res.39(2012)191–199] // S.Siraj, L.Mikhailov, J.A.Keane / Computers & Operations Research. – 2012. – Volume 39, Issue 9. – Page 2265.
- 96.Cayley A. «A theorem on trees» / A.Cayley // Quart. J. Math. – 1889. – 23. – P.376-378.
- 97.Belton V. On a shortcoming of Saaty's method of analytic hierarchies / V.Belton and T.Gear // Omega. – 1983. – 11. – P.228-230.
- 98.Dyer J.S. Remarks on the analytic hierarchy process / J.S.Dyer // Management Sci. – 1990. – 36. – P.249-258.
- 99.Kumar N.V. An empirical analysis of the use of the Analytic Hierarchy Process for estimating membership values in a fuzzy set / N.V.Kumar, L.S.Ganesh // Fuzzy Sets and Systems. – 1996. – 82. – P.1-16.
- 100.Тоценко В.Г. О проблеме реверса рангов альтернатив при многокритериальном оценивании / В.Г.Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2006. – №3. – С.65-75.
- 101.Циганок В.В. Метод обчислення ваг альтернатив на основі результатів парних порівнянь, проведених групою експертів / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2008. – т.10, №2. – С.121-127.
- 102.Borda J.C. Mémoire sur les elections au scrutin. Historie de de l'académie Royale des Sciences / J.C.Borda; Paris. – 1781. – 657 p.
- 103.Marquis de Condorcet. Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix: [Електронний ресурс]. – 1785. – Режим доступу: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k417181>
- 104.Кендалл М. Ранговые корреляции / М.Кендалл; М.: Статистика. – 1975. – 214 с.
- 105.Spearman C. The proof and measurement of association between two things / C.Spearman // Amer. J. Psychol. – 1904. – 15. – P. 72-101.

106. Тоценко В.Г. Метод определения достаточности согласованности индивидуальных ранжирований при принятии групповых решений / В.Г.Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 4. – С.82-88.
107. Тоценко В.Г. Методы определения групповых многокритериальных ординальных оценок с учетом компетентности экспертов / В.Г.Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2005. – № 5. – С.84-89.
108. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа / Б.Г.Литвак; М.: Радио и связь. – 1982. – 185 с.
109. Гнатієнко Г.М. Експертні технології прийняття рішень / Г.М.Гнатієнко, В.Є.Снітюк; К.: ТОВ “Маклаут”. – 2008. – 444 с.
110. Цыганок В.В. О достаточности степени согласованности групповых ординальных оценок / В.В.Цыганок, С.В.Каденко // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». – 2010. – №4. – С.107-112.
111. Tsyganok V.V. On Sufficiency of the Consistency Level of Group Ordinal Estimates / V.V.Tsyganok, S.V.Kadenko // Journal of Automation and Information Sciences. – 2010. – v.42, issue 8. – P.42-47.
112. Kendall M.G. Rank Correlation Methods / Maurice G. Kendall; London: Charles Griffin and Co. – 1962.
113. Arrow K.J. Social Choice and Individual Values, 2nd ed. / K.J.Arrow; New York: Wiley. – 1963. – 123 p.
114. Totsenko V.G. Group Ranking under Feedback with Experts Taking into Account Their Competency / V.G.Totsenko // Journal of Automation and Information Sciences. – 2006. – Issue 10, Volume 38. – P.1-8.
115. Holland J.H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence / J.H.Holland; London: Bradford book edition. – 1994. – 211 p.
116. Kendall M.G. On the Method of Paired Comparisons / M.G.Kendall, B.Babington-Smith // Biometrika. – 1940. – vol. 31. – P. 324-345.
117. Iida Y. The number of circular triads in a pairwise comparison matrix and a

- consistency test in AHP / Y.Iida // Journal of the Operations Research Society of Japan. – 2009. – 52. – P. 174-185.
118. Tsyganok V. A method for providing sufficient strict individual rankings' consistency level while group decision-making with feedback / Vitaliy Tsyganok // OR-52 Keynotes and Extended Abstracts, Operational Research Society Ltd., UK (7-9/9/2010). – London: Royal Holloway University of London. – 2010. – P.142-147.
119. Mikhailov L. Improving the Ordinal Consistency of Pairwise Comparison Matrices / L.Mikhailov, S.Siraj // Proceedings of the XI International Symposium for the Analytic Hierarchy Process ISAHP-2011 [Електрон. ресурс] – Режим доступу: http://204.202.238.22/isahp2011/dati/pdf/106_0173_Mikhailov.pdf
120. Saaty T.L. Relative measurement and its generalization in decision making. Why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors. The Analytic Hierarchy/Network Process / T.L.Saaty // Statistics and Operations Research. – 2008. – 102(2). – P.251-318.
121. Iida Y. Ordinality Consistency Test About Items and Notation Of a Pairwise Comparison Matrix In AHP // Proceedings of the X International Symposium for the Analytic Hierarchy Process ISAHP-2009. – Режим доступу: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/32_IidaYouichi_ConsistencyTestinJapanREV_FIN.pdf
122. Циганок В.В. Концепція створення систем підтримки прийняття рішень, що адаптивні до рівня компетентності експертів / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2011. – т.13, №2. – С.106-114.
123. Saaty T.L. Scales from Measurement Not Measurement from Scales! / T.L.Saaty // Proceedings of MCDM 2004 (Whistler, B.C., Canada. Aug. 6-11). – [Electronic resource]: Access mode: http://www.bus.sfu.ca/events/mcdm/MCDMProgram/Papers/AP168CFSaaty_Scales.pdf
124. Devid H.A. The Method of Paired Comparisons / H.A. Devid; N.Y.: Oxford Univ. Press. – 1988.
125. Saaty T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures / T.L Saaty // Journal of Mathematical Psychology. – 1977. – 15. – P.234-281.
126. Vargas L.G. An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications /

- L.G.Vargas // European Journal of Operational Research. – 1990. – 48. – P.2-8.
127. Saaty T.L. Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences / T.Saaty, K.Peniwati; Pittsburgh. PA : RWS Publications. – 2008. – 385p.
128. Цыганок В.В. Имитационное моделирование экспертных оценок для тестирования методов обработки информации в системах поддержки принятия решений / В.В.Цыганок, С.В.Каденко, О.В.Андрейчук // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». – 2011. – №6. – С.84-94.
129. Циганок В.В. Агрегація групових експертних оцінок, що отримані у різних шкалах // В.В.Циганок / Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2011. – т.13. – №4.– С.74-83.
130. Циганок В.В. Вибір шкали оцінювання експертом у процесі виконання ним парних порівнянь в системах підтримки прийняття рішень / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2011. – т.13. – №3.– С.92-105.
131. Мандель И.Д. Кластерный анализ / И.Д.Мандель; М.: Финансы и статистика. – 1988. – 176с.
132. Журавлев Ю.И. Об одном способе уточнения алгоритма таксономии при помощи распознающих методов типа голосования / Ю. И. Журавлев, Р. Юнусов // Ж.-л вычисл. матем. и матем. физ. – 1971. – т.11, №5. – С.1344-1347.
133. Миркин Б.Г. Группировки в социально-экономических исследованиях / Б.Г.Миркин; М.: Финансы и статистика. – 1985. – 224с.
134. Воронин Ю.А. Теория классификации и ее приложения / Ю.А.Воронин; Новосибирск: Наука. – 1985. – 232с.
135. Hartley R.V.L. Transmission of information / R.V.L.Hartley // Bell System Technical Journal. – 1928. – 7. – P.535-63.
136. Totsenko V.G. The agreement degree of estimations set with regard of experts competency / V.G.Totsenko // Proceedings of the Fourth International Symposium on the Analytic Hierarchy Process. – Vancouver, Canada: Simon Fraser University. – 1996. – P.229-241.
137. Totsenko V.G. Spectral Method for Determination of Consistency of Expert Estimate

- Sets / V.G.Totsenko // Engineering Simulation. – 2000. – 17. – P.715-727.
138. Циганок В.В. Елементи комбінаторного підходу при визначенні спектрального коефіцієнта узгодженості експертних парних порівнянь / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2012. – т.14. – №2.– С.98-105.
139. Tutte W.T. Graph Theory / W.T.Tutte // Cambridge University Press. – 2001. – p.138.
140. Циганок В.В. Визначення ефективності методів агрегації експертних оцінок при використанні парних порівнянь / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2009. – т.11, №2. – С.83-89.
141. Циганок В.В. Дослідження феномену реверсу рангів при застосуванні методів парних порівнянь / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2008. – т.10, №3.– с.96-101.
142. Тоценко В.Г. Оценка сравнительной эффективности проектов комплексных целевых программ методом моделирования иерархий целей / В.Г.Тоценко // Электрон. моделирование. – 1998. – 20, № 3. – С. 76-90.
143. Totsenko V.G. Estimation of Comparative Efficiency of Projects of Complex Target-oriented Programs Using the Simulation Method of Goal Hierarchy / V.G.Totsenko // Eng. Simulat. – 1999. – vol. 16. – P. 361-375.
144. Тоценко В.Г. Побудова баз знань систем підтримки прийняття рішень групами розподілених експертів / В.Г.Тоценко, В.В.Циганок, А.А.Деев, І.Д.Олійник // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2002. – Т.4, № 4. – С. 120-128.
145. Тоценко В.Г. Согласование и агрегация оценок экспертов с учетом их компетентности при групповом оценивании альтернатив для поддержки принятия решений / В.Г.Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2002. – № 4. – С. 128–141.
146. Totsenko V.G. Matching and Aggregation of Experts Estimates Taking into Account Experts' Competence while Group Estimation of Alternatives for Decision Making Support / V.G.Totsenko // Journal of Automation and Information Sciences. – 2002. – Vol. 34, N 8. – P. 40–51.
147. Тоценко В.Г. Підтримка прийняття рішення щодо вибору методу експертного оцінювання / В.Г.Тоценко, В.В.Циганок, П.Т.Качанов // Системные исследования

- и информационные технологии. – 2002. – № 4. – С. 52-61.
148. Тоценко В.Г. Экспериментальное исследование методов получения кардинальных экспертных оценок альтернатив. Ч.II. Методы с обратной связью с экспертом / В.Г.Тоценко, В.В.Цыганок, П.Т.Качанов, А.А.Деев, Е.В.Качанова, Л.Т.Торба // Проблемы управления и информатики. – 2003. – №2. – С.112-125.
149. Миллер Г. Магическое число семь плюс или минус два: о некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию / Г.Миллер; М.: Инженерная психология. Прогресс. – 1964.
150. Орлов А.И. Современный этап развития теории экспертных оценок [Электронный ресурс] / А.И.Орлов; // 1996. Режим доступа: <http://orlovs.pp.ru/>; <http://www.antorlov.chat.ru/expertoc.htm>
151. Статистические методы анализа экспертных оценок / под ред. Т.В. Рябушкина; М.: Наука. – 1977. – 384 с.
152. Современные проблемы кибернетики: прикладная статистика. – М.: Знание. – 1981. – 64 с.
153. Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях. – М.: Наука. – 1985. – 221 с.
154. Тюрин Ю.Н. Анализ нечисловой информации / Ю.Н.Тюрин, Б.Г.Литвак, А.И.Орлов, Г.А.Сатаров, Д.С.Шмерлинг; – М.: Научный совет АН СССР по комплексной проблеме "Кибернетика" (Препринт). – 1981. – 80 с.
155. Тюрин Ю.Н. Заводская лаборатория / Ю.Н.Тюрин, Б.Г.Литвак, А.И.Орлов, Г.А.Сатаров, Д.С.Шмерлинг // – 1980. – Т.46, №10. – С. 931-935.
156. Кемени Дж.Г. Кибернетическое моделирование / Дж.Г.Кемени, Дж.Л.Снелл; – М.: Советское радио, 1972. – 192 с.
157. Orlov A.I. Design of Experiments and Data Analysis: New Trends and Results / Ed. by prof. E.K.Letzky; – Moscow: ANTAL, 1993. – P. 52-90.
158. Загоруйко Н.Г. Доверие к информации и ее источнику в экспертных системах / Н.Г.Загоруйко // Эксперт, системы и распознавание образов. – 1988. – Вып.126. – С. 3-23.
159. Любченко В.В. Исследование значимости учета коэффициентов компетентности

- в групповой экспертной оценке [Електронний ресурс] / В.В.Любченко // Труды Одесского политехнического университета. – 2005. – вып.1(23). – Режим доступу: [http://storage.library.opu.ua/online/periodic/opu_2005_1\(23\)/5/5_2.pdf](http://storage.library.opu.ua/online/periodic/opu_2005_1(23)/5/5_2.pdf)
160. Соболь И.М. Метод Монте-Карло / И.М.Соболь; – М.: Наука, 1968. – 64 с.
161. Metropolis N. The Monte Carlo method / Nicholas Metropolis & Stanislaw Ulam // Journal of the American Statistical Association. – 1949. – 44(247). – P. 335-341.
162. Kemeny J.G. Mathematical Models in the Social Sciences / J.G.Kemeny, J.L.Snell // Cambridge, MA: MIT Press, 1973.
163. Циганок В.В. Врахування компетентності експертів при визначенні групового ранжування / В.В.Циганок, О.В.Андрійчук // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2011. – т.13, №1. – С. 94-105.
164. Saati T. Принятие Решений – Метод анализа иерархий / Т.Саати; М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
165. Тоценко В.Г. Генерация алгоритмов парных сравнений для моделирования предпочтений эксперта при поддержке принятия решений, часть 1 / В.Г.Тоценко; Электронное моделирование. – 2000. – №3. – С. 11-24.
166. Тоценко В.Г. Генерация алгоритмов парных сравнений для моделирования предпочтений эксперта при поддержке принятия решений, часть 2 / В.Г.Тоценко; Электронное моделирование. – 2000. – №4. – С. 16-24.
167. Тоценко В.Г. Об одном подходе к поддержке принятия решений при планировании исследований и развития. Часть 2. Метод целевого динамического оценивания альтернатив / В.Г.Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2001. – №2. – С. 127-139.
168. Totsenko V.G. One Approach to the Decision Making Support in R&D Planning. Part 2. The Method of Goal Dynamic Estimating of Alternatives / V.G.Totsenko // Journal of Automation and Information Sciences. – 2001. – vol. 33, #4. – P. 82-90.
169. Arbel A. Preference simulation and preference programming: Robustness issues in priority derivation / A.Arbel, L.G.Vargas // European Journal of Operational Research. – 1993. – 69(2) . – P. 200-209.
170. Stam A. The stability of AHP rankings in the presence of stochastic paired

- comparisons / A.Stam, A.P.Duarte Silva // Lecture notes in economics and mathematical systems. – 1998. – vol. 465. – P.96-105.
171. Tsyganok V. AHP/ANP stability measurement and its applications [Електронний ресурс]: Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process. Multi-criteria Decision Making. Pittsburgh, PA, USA. 29/07 – 1/08/2009 / Vitaliy Tsyganok // ISSN 1556-8296. – Режим доступу: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/88_Tsyganok_Stability_Measurement_REV_FIN.pdf
172. Tsyganok V. About one approach to AHP/ANP stability measurement [Електронний ресурс] / Vitaliy Tsyganok // International Journal of the Analytic Hierarchy Process. – 2011. – Vol. 3, Issue 1. – P. 46-55. // ISSN 1936-6744. – Режим доступу: <http://ijahp.org/index.php/IJAHP/article/download/50/56>
173. Свідоцтво про державну реєстрацію авторського права на твір №8669. Міністерство освіти і науки України державний департамент інтелектуальної власності. Комп'ютерна програма "Система підтримки прийняття рішень СОЛОН-3" (СППР СОЛОН-3) / В.Г.Тоценко, П.Т.Качанов, В.В.Циганок // зареєстровано 31.10.2003.
174. Totsenko V.G. Experimental Research of Methods for Getting Cardinal Expert Estimates of Alternatives. Part 1. Methods without Expert Feedback / V.G.Totsenko, V.V.Tsyganok, P.T.Kachanov, E.V.Kachanova, A.A.Deev, L.T.Torba // Journal of Automation and Information Sciences. – 2003. – vol. 35, issue 1. – P. 26-37.
175. Totsenko V.G. Experimental Research of Methods for Getting Cardinal Expert Estimates of Alternatives. Part 2. Methods with Expert Feedback / V.G.Totsenko, V.V.Tsyganok, P.T.Kachanov, E.V.Kachanova, A.A.Deev, L.T.Torba // Journal of Automation and Information Sciences. – 2003. – vol. 35, issue 4. – P. 28-38.
176. Циганок В.В. Оцінка стійкості рішень, отримуваних цільовим методом / В.В.Циганок // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. Збірник доповідей науково-практичної конференції з міжнародною участю. – НАН України, Інститут проблем математичних машин і систем. – 2008. – С. 27-31.
177. Циганок В.В. Методика досліджень стійкості рішень, отримуваних цільовим

- методом / В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2007. – т.9, №4. – С. 140-151.
178. Цыганок В.В. Повышение устойчивости баз знаний систем поддержки принятия решений к погрешностям экспертного оценивания / В.В.Цыганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2010. – т.12, №4. – С. 90-96.
179. Keeney R.L. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs / R. L. Keeney, H. Raiffa; – New York: Cambridge University Press. – 1993.
180. Edwards W. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement / W.Edwards & F.H.Barron // Organizational Behavior and Human Decision Processes. – 1994. – #60. – P. 306-325.
181. Koksalan M.M. An Approach for Finding the Most Preferred Alternative in the Presence of Multiple Criteria / M.M.Koksalan, O.V.Taner // European Journal of Operational Research. – 1992. – #60. – P. 52-60.
182. Roy B. ELECTRE III: Un Algorithme de Classement fonde sur une Representation Floue des Preferences en Presence de Criteres Multiple / B.Roy // Cahiers du Centre Etudes Recherche Operationelle. – 1978. – #20. – P. 3-24.
183. Brans J.P. How to Select and How to Rank Projects: The PROMETHEE Method / J.P.Brans, P.Vincle, B.Mareschal // European Journal of Operational Research. – 1986. – #24. P. 228-238.
184. Brans J.P. PROMETHEE V: MCDM Problems with Segmentation Constraints / J.P.Brans & B.Mareschal // Information Systems and Operations Research. – 1992. – v.30, #2. – P. 85-96.
185. Ларичев О.И. Метод ЗАПРОС (ЗАмкнутые ПРоцедуры у Опорных Ситуаций) решения слабоструктурированных проблем выбора при многих критериях. / О.И.Ларичев, Ю.А.Зуев, Л.С.Гнеденко; М.: ВНИИСИ (Препринт), – 1979. –75 с.
186. Lotfi V. An Aspiration-Level Interactive Model for Multiple Criteria Decision Making / V.Lotfi, T.J.Stewart and S.Zionts // Computers and Operations Research. – 1992. – v.19, #7. – P. 671-681.
187. Korhonen P. A Visual Reference Direction Approach to Solving Discrete Multiple Criteria Problems / P.Korhonen // European Journal of Operation Research. – 1988. –

v.34, #2. P. 152-159.

188. Saaty T.L. The Logic of Priorities: Applications of the Analytic Hierarchy Process in Business, Energy, Health & Transportation / T.L.Saaty and L.G.Vargas; Pittsburgh: RWS Publications. – 1991.
189. Тоценко В.Г. Система підтримки рішень при проведенні великомасштабних конкурсів проектів / В.Г.Тоценко, Л.К.Ларін // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 1999. – т.1, №2. – С. 69-78.
190. Тоценко В.Г. Система підтримки кадрових рішень / В.Г.Тоценко, А.О.Деев, А.М.Кудін // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2000. – т.2, №4. – С.105-111.
191. Тоценко В.Г. Метод підтримки прийняття рішень на основі цільового динамічного оцінювання альтернатив з урахуванням імовірностей їх реалізації / В.Г.Тоценко // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2001. – т.3, №4. – С. 102-110.
192. Тоценко В.Г. Определение относительной компетентности членов группы в обсуждаемом вопросе при принятии групповых решений / В.Г.Тоценко // Проблемы управления и информатики. – 2002. – №2. – С. 91-102.
193. Тоценко В.Г. Спектральный метод определения согласованности множества экспертных оценок / В.Г.Тоценко // Электронное моделирование. – 1999. – 21, №5. – С. 82-92.
194. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №45894 Державної служби інтелектуальної власності України. Комп'ютерна програма „Система розподіленого збору та обробки експертної інформації для систем підтримки прийняття рішень – «Консенсус»” / В.В.Циганок, П.Т.Качанов, О.В.Андрійчук, С.В.Каденко // від 03/10/2012.
195. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №23927 Державного департаменту інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України. Комп'ютерна програма „Система оцінки персоналу за кількісними критеріями «Нагляд»” / В.Г.Тоценко, В.В.Циганок, П.Т.Качанов, О.В.Александров // від 11/03/2008.

- 196.Берж К. Теория графов и ее применения / К.Берж; – М.: Иностранныя литература, 1962. – 319 с.
- 197.Зыков А.А. Теория конечных графов / А.А.Зыков; – Новосибирск: Наука, 1969. – 543 с.
- 198.Каденко С.В. Про один підхід до прийняття кадрових рішень / С.В.Каденко, В.В.Циганок // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2009. – т.11, №3. – С. 66-74.
- 199.Каденко С.В. Удосконалення методу визначення коефіцієнтів відносної вагомості критеріїв на основі ординальних оцінок / С.В.Каденко // Реєстрація зберігання і обробка даних. – 2008. – т.10, №1. – С. 137-149.
- 200.Kadenko S.V. Experience-based Decision Support Methods Using Ordinal Expert Estimates / S.V.Kadenko // Proceedings of the Tenth International Symposium for the AHP/ANP (ISAHP 2009). – режим доступу: <http://isahp.org>.
- 201.Каденко С.В. Определение параметров иерархии критериев типа "дерево" на основе ординальных оценок / С.В.Каденко // Проблемы управления и информатики. – 2008. – №4. – С. 84-92.
- 202.Цыганок В.В. Об одном подходе к принятию решений в конфликтных ситуациях // В.В.Цыганок, Е.А.Егорова / Электронное моделирование. – 2009. – Т.31, №1. – С.67-78.
- 203.Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение / О.Моргенштерн, Дж.Фон-Нейман; – М.: Наука, 1970. – 708 с.
- 204.Inohara T. Relational Nash equilibrium and interrelationships among relational and rational equilibrium concepts / Takehiro Inohara // Applied Mathematics and Computation. – 2008. – Vol.199, Is.2. – P. 704-715.
- 205.Rowat C. Non-linear strategies in a linear quadratic differential game / Colin Rowat // Journal of Economic Dynamics and Control. – 2007. – Vol.31, Is.10. – P. 3179-3202.
- 206.Пшеничный Б.Н. Теория оптимальных решений: Сб. науч. тр. НАН Украины / Б.Н.Пшеничный; – К.: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова, 1999. – 92 с.
- 207.Шеллинг Т. Стратегия конфликта. Серия: Международные отношения / Томас Шеллинг; Издательство ИРИСЭН. – 2007. – 376 с.

208. Aumann R. Markets with a Continuum of Traders / R.Aumann // *Econometrica*. – 1964. – Vol. 32. – P. 39–50.
209. Сігал Т.Г. Алгоритм розподілу ресурсів між проектами при пороговій функції ступеню виконання проекту // Т.Г.Сігал / Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2008. –т.10, №2. – С. 128-133.
210. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №44521 Державної служби інтелектуальної власності України. Комп'ютерна програма „Комплекс програмних засобів для експертного оцінювання шляхом парних порівнянь «Рівень»” / В.В.Циганок, О.В.Андрійчук, П.Т.Качанов, С.В.Каденко // від 03/07/2012.
211. Тоценко В.Г. Исследование методов группового экспернского оценивания экспертами, работающими в INTERNET / В.Г.Тоценко, В.В.Цыганок, Н.В. Ивашкевич // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2004. – т.6, №2. – С.81-87.
212. Тоценко В.Г. Методы реализации систем поддержки принятия решений для оценивания персонала по количественным критериям / В.Г.Тоценко, В.В.Цыганок, П.Т.Качанов, А.В.Александров // Электронное моделирование. – 2008. – Т.30. – №6. – С.89-98.
213. Tsyganok V.V. Simulation of Expert Judgements for Testing the Methods of Information Processing in Decision-Making Support Systems / V.V.Tsyganok., S.V.Kadenko, O.V.Andriichuk // Journal of Automation and Information Sciences. – 2011. – v.43, issue 12. – P.21-32.
214. Каденко С.В. Метод повышения согласованности индивидуальных экспертных ранжирований при их агрегации / С.В.Каденко, В.В.Цыганок // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». – 2012. – №2. – С.31-38.
215. Kadenko S.V. A Method for Improving the Consistency of Individual Expert Rankings during Their Aggregation / S.V.Kadenko, V.V.Tsyganok // Journal of Automation and Information Sciences. – 2012. – v.44, issue 4. – P.23-31.
216. Циганок В.В. Експериментальний аналіз технології експертного оцінювання / В.В.Циганок, П.Т.Качанов, С.В.Каденко, О.В.Андрійчук, Г.А.Гоменюк //

Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2012. – т.14. – №1.– С.91-100.

217. Andriichuk O.V. An Approach to Decision Support System Usage for Data Storage Configuration Variant Selection / O.V.Andriichuk, S.V.Kadenko, V.V.Tsyganok // Qualitative and Quantitative Methods in Libraries. – 2012. – vol.1, issue 3. –P.327-333.

ДОДАТКИ



УКРАЇНА
Міністерство освіти і науки України
Державний департамент інтелектуальної власності

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 8669

**Ком'ютерна програма "Система підтримки прийняття рішень СОЛОН-З"
 ССПР СОЛОН-З")**

(вид, назва твору)

Автор(и) **Тоценко Віталій Георгійович, Качанов Петро Тимофійович, Циганок
 Віталій Володимирович**

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Дата реєстрації

31.10.2003

Голова Державного департаменту
 інтелектуальної власності

М.В.Паладій





УКРАЇНА
Міністерство освіти і науки України
Державний департамент інтелектуальної власності

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 23927

Комп'ютерна програма "Система оцінки персоналу за кількісними критеріями
"Нагляд" ("СОП" "Нагляд")

(вид. назва твору)

Автор(и) **Тоценко Віталій Георгійович, Циганок Віталій Володимирович,**
Качанов Петро Тимофійович, Александров Олександр Володимирович

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Дата реєстрації

11.03.2008

Голова Державного департаменту
 інтелектуальної власності



М.В.Паладій





„ЗАТВЕРДЖУЮ”



А К Т

з використання результатів дисертаційної роботи Циганка В.В. на тему: «**Інструментарій підтримки прийняття рішень в слабко структурованих неформалізованих складних системах різноманітної природи**» в навчальному процесі Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

Комісія у складі: голови – д.т.н., проф., директора Навчально наукового інституту Телекомунікацій та Інформатизації, зав. каф. Телекомунікаційних Систем Беркман Л.Н. членів: к.т.н., доц. каф. Інформаційних технологій Гніденка М.П. к.т.н., доц. зав. каф. Комп’ютерних систем та мереж Браїловського М.М. к.т.н., доц. каф. Інфокомунікацій Жураковського Б.Ю. к.т.н., доц. каф. Обчислювальної техніки Качанова П.Т. ст.викладача каф. Інфокомунікацій Чумак Н.С.

в період з 05 вересня 2012 року по 28 вересня 2012 року провела роботу з встановлення фактичного використання в навчальному процесі ДУІКТ результатів дисертаційної роботи.

Комісія розглянула наступні матеріали:

- 1) Підсистему для тестування технології експертного оцінювання на основі парних порівнянь, виконаних у різних за докладністю шкалах;
- 2) Систему підтримки прийняття рішень „Солон-3”, що застосовується для побудови моделей слабко структурованих предметних областей та оцінки ефективності варіантів рішень.

3) Систему розподіленого збору та обробки експертної інформації для систем підтримки прийняття рішень „Консенсус”, що застосовується для проведення оцінювання розподіленими групами експертів з подальшим використанням зібраної та обробленої інформації в системах підтримки прийняття рішень.

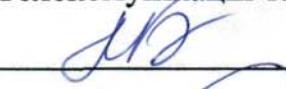
На основі аналізу представлених матеріалів комісія установила, що отримані наукові результати дисертаційної роботи здобувача Циганка В.В. використовуються в навчальному процесі ДУІКТ при викладанні навчальних дисциплін:

„Комп’ютерні системи штучного інтелекту”, „Дослідження комп’ютерних систем штучного інтелекту”, „Телекомунікаційні і інформаційні мережі”, "Глобальна інфраструктура", "Проектування інфокомунікаційних мереж" та інші.

Голова комісії

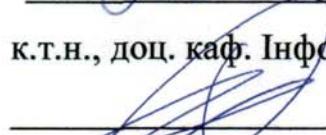
д.т.н., проф., директор Навчально наукового інституту

Телекомунікацій та Інформатизації,


Беркман Л.Н

Члени комісії:

к.т.н., доц. каф. Інформаційних технологій


Гніденко М.П.

к.т.н., доц. зав. каф. Комп’ютерних систем та
мереж


Браїловський М.М.

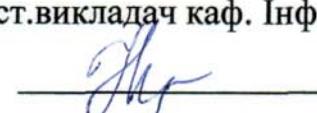
к.т.н., доц. каф. Інфокомунікацій


Жураковський Б.Ю.

к.т.н. доц. каф. Обчислювальної техніки


Качанов П.Т.

ст.викладач каф. Інфокомунікацій


Чумак Н.С.

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор
ЗАО «НИЦ НИНСИСТ»

4 Скляр А.Г.

2012 г.

АКТ
внедрения системы оценки персонала по количественным критериям
«Надзор»

Комиссия Закрытого акционерного общества «Научно-исследовательский центр "Новые интеллектуальные системы" (ЗАО «НИЦ НИНСИСТ») в составе:

Председателя комиссии

– доктора технических наук, профессора Парамонова Н.Б.

Членов комиссии

- заместителя генерального директора ЗАО «НИЦ НИНСИСТ», к.т.н., с.н.с. Александрова А.В.;
 - ведущего научного сотрудника ЗАО «НИЦ НИНСИСТ», к.т.н., с.н.с. Панова Ю.А.;
 - инженера ЗАО «НИЦ НИНСИСТ» Ромашовой Н.П.

23 марта 2012 г. составила этот акт о нижеследующем:

1. В ЗАО «НИЦ НИНСИСТ» внедрена Система оценки персонала по количественным критериям «Надзор» (Система оцінки персоналу за кількісними критеріями «Нагляд»), разработанная в 2008 году коллективом авторов Тоценко В.Г., Цыганок В.В., Качанов П.Т., Александров А.В.

2. Целью внедрения Системы «Надзор» является повышение эффективности работы инспекторов и подразделений Межтерриториального управления Ростехнадзора по ЦФО.

3. Эксплуатация системы за период с 2008 г. по настоящее время позволила руководству МТУ Ростехнадзора по ЦФО, более чем 4 раза повысить количество и на 40% качество проверок инспекторами поднадзорных объектов, вдвое увеличить сбор платы за негативное воздействие на окружающую среду.

4. Использование системы «Надзор» позволила руководству ЗАО «НИЦ НИНСИСТ» более эффективно вести кадровую политику в МТУ Ростехнадзора по ЦФО, более объективно осуществлять оплату труда

инспекторов, привязав ее к рассчитываемым с помощью системы показателям эффективности работы, и, тем самым значительно повысить производительность их труда, а за одно и эффективность работы подразделений в целом.

5. Внедрение системы позволило четко определить зависимости между качеством выполнения функциональных обязанностей сотрудниками и достижением сформулированной и заложенной в системе цели функционирования МТУ Ростехнадзора по ЦФО.

Председатель комиссии:

д.т.н., профессор

Н.Б. Парамонов

Члены комиссии:

к.т.н., с.н.с.

А.В. Александров

к.т.н., с.н.с.

Ю.А. Панов

Инженер

Н.П. Ромашова

Товариство з обмеженою відповідальністю
“МККУ - мережі”

03680, м. Київ, вул. Передславинська, 35, корп. 21, офіс 314

Тел. / факс (044) 536-02-28(багатоканальний)

E-mail: info@uiccnet.com.ua

Рег. № 28 від 04 березня 2013 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи Циганка В.В. на тему: „Моделі та методи експертної підтримки прийняття рішень в слабко структурованих складних системах” в ТОВ «МККУ-мережі». Дисертаційна робота подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.04 – Системний аналіз і теорія оптимальних рішень.

Комісія у складі:

Голови: канд. фіз.-мат. наук, доцента,
 директора ТОВ «МККУ-мережі» Волохова В.М.,
 членів: канд. фіз.-мат. наук, начальника відділу впровадження
 програмних систем ТОВ «МККУ-мережі» Назаренка А.В.,
 начальника відділу баз даних та систем захисту інформації
 ТОВ «МККУ-мережі» Руденка Г.В.

в період з 01 лютого 2013 року по 28 лютого 2013 року провела роботу зі встановлення фактичного використання результатів дисертаційної роботи Циганка В.В. при створенні аналітичної компоненти інформаційно-аналітичної системи «Кадри».

Інформаційно-аналітична система «Кадри» (далі – IAC «Кадри») розроблена ТОВ «МККУ- мережі», компанія отримала ряд авторських свідоцтв на підсистеми системи «Кадри». На сьогодні IAC «Кадри» є стандартом де-факто систем управління персоналом у державних органах України.

Комісія розглянула комп’ютерну Систему оцінки персоналу за кількісними критеріями „Нагляд”, одним із розробників якої є дисерант. Система призначена для обчислення підсумкових кількісних показників, що характеризують успішність роботи персоналу і є корисною для застосування поряд з IAC «Кадри» у органах державного управління. У дослідному варіанті Система оцінки персоналу отримувала від IAC «Кадри» через зовнішній інтерфейс первинні дані для подальшої обробки.

У такому варіанті Система „Нагляд” придатна для оцінювання персоналу у різноманітних предметних галузях. Для забезпечення кожного конкретного її застосування, експертним шляхом будується ієрархія критеріїв, яка в

подальшому є наповненням відповідних довідників IAC «Кадри». Така ієрархія критеріїв використовується при визначені підсумкових відносних показників (рейтингів) кожного співробітника та підрозділів за кількісними об'єктивними оцінками, отриманими за результатами перевірок.

На основі аналізу наданого програмного продукту комісія установила, що наступні наукові результати дисертаційної роботи здобувача Циганка В.В. реалізовані та застосовуються у програмній системі:

- розроблений механізм побудови на основі експертної інформації моделі оцінювання, який реалізовано в підсистемі побудови ієрархії критеріїв;
- запропонована технологія експертного оцінювання на основі застосування шкал різного рівня інформативності, яка дозволяє уникнути спотворення інформації, отриманої від експертів;
- створені ефективні методи отримання, підвищення узгодженості, узагальнення кардинальних групових експертних оцінок, які знайшли своє застосування при визначені ступенів впливу критеріїв у побудованій ієрархії.

Голова комісії

канд. фіз.-мат. наук, доцент,
директор ТОВ «МККУ-мережі»

Волохов В.М.

Члени комісії:

канд. фіз.-мат. наук, начальник відділу
впровадження програмних систем

Назаренко А.В.

начальник відділу баз даних
та систем захисту інформації

Руденко Г.В.



АКТ

**впровадження результатів дисертаційного дослідження Циганка В.В. на тему:
„Моделі та методи експертної підтримки прийняття рішень в слабко
структурзованих складних системах”. Дисертаційна робота подається на
здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.04
– Системний аналіз і теорія оптимальних рішень.**

Цей Акт підтверджує, що результати дисертаційного дослідження Циганка Віталія Володимировича на тему: „Моделі та методи експертної підтримки прийняття рішень в слабко структурованих складних системах” використовуються в практичній роботі та в межах діючої моделі Ситуаційного центру Інституту проблем математичних машин і систем НАН України. (СЦ ПММС НАНУ)

В СЦ ПММС НАНУ розгорнуті наступні програмні системи:

- 1) Системи підтримки прийняття рішень „Солон-2” та „Солон-3”, що застосовуються для оцінки ефективності варіантів рішень в слабко структурованих неформалізованих складних системах різноманітної природи.
- 2) Система розподіленого збору та обробки експертної інформації „Консенсус”, що застосовується для побудови групами експертів моделей слабко структурованих предметних областей з подальшим використанням цих моделей в системі підтримки прийняття рішень „Солон-3”.

В цих програмних системах реалізовані наступні наукові результати дисертаційної роботи здобувача Циганка В.В.:

- розроблені методи обробки ординальних та кардинальних експертних оцінок реалізовані в СППР „Солон-2”, „Солон-3” та в системі „Консенсус”;
- запропонована технологія експертного оцінювання в різних шкалах з метою повного та адекватного подання знань експертів в досліджуваному питанні реалізована в системах „Солон-2”, „Солон-3” та „Консенсус”;
- розроблений в результаті дисертаційного дослідження метод узагальнення неповних індивідуальних парних порівнянь, заданих у різних шкалах реалізований та застосовується в програмній системі „Консенсус”;
- запропонована здобувачем технологія побудови баз знань СППР групами експертів, розподілених у комп’ютерній мережі реалізована у рамках системи „Консенсус”.

Заступник директора ПММС НАНУ
Д.Ф-м.н.

Пр.н.с. ПММС НАНУ
К.т.н., с.н.с.



Клименко В.П.

Вишневський В.В.

23.04.2013г.