

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Післядипломної освіти _____
(повна назва)

Кафедра _____ Програмної інженерії _____
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

_____ другий (магістерський) _____
(рівень вищої освіти)

Дослідження алгоритмів вибору рішень на основі нечіткого оцінювання
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи ППЗмзд-17-1
спеціальності 121- Інженерія програмного
забезпечення

(код і повна назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інженерія
програмного забезпечення

(повна назва освітньої програми)

_____ Євсюкова М.О. _____
(прізвище, ініціали)

Керівник _____ проф. Шубін І.Ю. _____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри, проф. _____

З.В.Дудар

2019 р.

. Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Центр післядипломної освіти

Кафедра програмної інженерії

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 121– Інженерія програмного забезпечення

(код і повна назва)

Освітньо-професійна програма Інженерія програмного забезпечення

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Євсюковій Марії Олександрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження алгоритмів вибору рішень на основі нечіткого оцінювання

затверджена наказом по університету від «___» квітня 2019 р № ___ Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії «15» червня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи методи верифікації ПЗ, методи оцінювання надійності програмного забезпечення, алгоритми побудови навчальних систем та віртуального університету, пояснювальна записка. Використовувати ОС Windows, середовище об'єктно-орієнтованого проектування.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі мета роботи, аналіз проблемної галузі і постановка задачі, опис об'єктних моделей, використовувані методи та алгоритми, опис розробленої програмної системи, аналіз можливих застосувань

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів,

комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Титульний аркуш, мета завдання, обґрунтування доцільності розроблення, постановка задачі, об'єктна модель системи, базові моделі, методи й алгоритми, структура даних, структурно-логічна схема взаємодії даних, інтерфейс програмної системи, результати функціонування програмної системи, демонстраційні матеріали

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посаду, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Спецчастина	проф. Шубін І.Ю.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної галузі	19 квітня 2019 р.	
2	Огляд існуючих рішень	27 квітня 2019 р.	
3	Вибір найбільш придатних аналогів	05 травня 2019 р.	
4	Створення специфікації	15 травня 2019 р.	
5	Затвердження специфікації ПЗ керівником випускної роботи	20 травня 2019 р.	
6	Проектування та розробка ПЗ	22 травня 2019 р.	
7	Підготовка пояснювальної записки.	25 травня 2019 р.	
8	Спецчастина	01 червня 2019 р.	
9	Підготовка презентації та доповіді	06 червня 2019 р.	
10	Рецензування	10 червня 2019 р.	
11	Попередній захист	11 червня 2019 р.	
12	Занесення диплома в електронний архів	11 червня 2019 р.	
13	Допуск до захисту у зав. кафедри	12 червня 2019 р.	

Дата видачі завдання «__»_____2019 р.

Студент _____ Євсюкова М.О.

Керівник роботи _____ проф. Шубін І.Ю.

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Пояснювальна записка до атестаційної роботи: 98 стор., 38 рис., 26 джерел, 4 додатки.

ПІДТРИМКА РІШЕНЬ, АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА, НЕЧІТКА ЛОГІКА, НЕЧІТКЕ ОЦІНЮВАННЯ.

Об'єктом дослідження є математичні методи підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання.

Метою роботи є методи й моделі програмних засобів підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання.

У результаті роботи створено алгоритм підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання та розроблено програмний засіб підтримки вибору рішень.

SUPPORTING SOLUTIONS, ATTESTATION WORK, FALSE LOGIC, NON-EXTRA EVALUATION.

The object of research is the mathematical methods of supporting decision-making on the basis of direct and inverse fuzzy evaluation.

The purpose of the work is the methods and models of software support for choosing solutions based on direct and inverse fuzzy evaluation.

As a result, an algorithm for choosing solutions based on direct and inverse fuzzy evaluation is created and a software tool for supporting decision-making is developed.

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Аналіз стану розв'язання проблеми та обґрунтування цілей дослідження	8
1.1 Аналіз завдань і методів оцінки й вибору альтернатив рішень	8
1.2 Аналіз мов опису завдань вибору	10
1.3 Багатокритеріальне оцінювання альтернатив	14
1.4 Постановка задач дослідження	18
2 Опис проведених теоретичних досліджень	21
2.1 Аналіз методів до агрегування результатів	21
2.2 Використання моделей і методів зворотного нечіткого оцінювання	25
2.3 Створення програмних засобів підтримки вибору рішень	30
3 Аналіз результатів досліджень.....	35
3.1 Розробка нечітких оцінок моделі для підтримки вибору рішень	35
3.2 Аналіз методів прямого і зворотного нечіткого оцінювання	37
3.3 Оцінка якості запропонованих алгоритмів	40
3.4 Алгоритм зворотного нечіткого оцінювання	50
4. Розробка програмних засобів підтримки вибору рішень.....	54
4.1 Розробка програмного засобу підтримки вибору рішень	54
4.2 Опис розроблених модулів програмного засобу	59
4.3 Використання алгоритмів підтримки вибору рішень	66
4.4 Реалізація порівняльної оцінки альтернатив рішень	68
5 Опис можливості використання отриманих результатів.....	74
Висновки	77
Перелік джерел посилання	79
Додаток А Програмний код	82
Додаток Б Слайди презентації	88
Додаток В Апробація результатів роботи.....	96
Додаток Г Електронні матеріали (CD)	

ВСТУП

Наразі активно розвиваються програмні системи підтримки вибору рішень. Серед факторів, які стимулюють розвиток цього класу програмних систем, можна відзначити підвищення ролі їх використання для вирішення завдань, що слабо структуровані та важко формалізуються, в умовах невизначеності, неточності, неповноти й неузгодженості вихідних даних, необхідності обліку різноякісних параметрів, що динамічно змінюються. Ці особливості суттєво ускладнюють процес підтримки вибору рішень із використанням існуючих методів і програмних засобів.

У таких умовах важливе значення набуває розробка методів багатокритеріального оцінювання складних об'єктів і альтернатив рішень. Розвитку теорії і методів багатокритеріальних систем підтримки вибору рішень присвячені роботи багатьох авторів, необхідність обліку невизначеності при рішенні завдань багатокритеріального оцінювання й підтримки вибору альтернатив є обґрунтування для використання методів і моделей теорії нечітких множин і нечіткої логіки.

В процесі оцінки та обґрунтованого вибору рішень, як правило, вирішуються прямі завдання оцінювання. При вирішенні прямих завдань оцінювання за заданими значеннями приватних показників потрібно визначити значення узагальнених показників. Прямі завдання виникають при оцінці різних альтернатив прийнятих рішень, для їхнього рішення потрібно створювати оцінювальні моделі. Разом з тим, потреби більш обґрунтованого вибору рішення призводять до необхідності розробки нових підходів для вирішення завдань зворотного оцінювання.

Клас зворотних завдань оцінювання містить у собі ті завдання, у яких необхідно знайти значення приватних показників, які приводять до отримання заданих значень узагальнених показників. Зворотні завдання оцінювання

виникають при плануванні, діагностуванні, керуванні ресурсами, генерації рішень, і відіграють більшу роль у процесах обґрунтування вибору рішень.

Загальними обмеженнями існуючих методів багатокритеріального нечіткого оцінювання альтернатив є: складність формування багаторівневої структури оцінювання; відсутність обліку сумісності нерівнозначних показників; відсутність можливості спільного виконання прямого і зворотнього завдань оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень.

Методи багатокритеріальної оцінки й вибору альтернатив знайшли своє втілення в програмних засобах підтримки вибору рішень. Однак аналіз існуючих програмних засобів і систем підтримки вибору рішень показав, що вони не задовольняють комплексу вимог, що висуваються з боку завдань прямого й зворотного нечіткого оцінювання, а саме:

- можливість формування узагальненого показника оцінки й вибору рішень на основі наборів приватних показників, що змінюються, з урахуванням складної багаторівневої структури оцінювання;
- можливість агрегування різнорідних показників (як кількісних, так і якісних), що різняться по вимірювальних шкалах, діапазонах значень;
- облік сумісності й різної значимості показників в узагальненій оцінці рішень;
- облік різних стратегій оцінювання;
- гнучке налаштування (адаптація) оцінних моделей при додаванні або виключенні показників і зміні параметрів (сумісності й значущості показників);
- забезпечення можливості реалізації прямого завдання оцінювання (сортки) узагальненого показника на основі приватних показників, зворотної задачі оцінювання (розгорнення) приватних показників при заданому значенні узагальненого показника, а також спільного виконання прямих і зворотніх завдань оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень. Вищесказане обумовлює актуальність розв'язуваного в даній роботі наукового завдання

розробки методів і програмних засобів підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання.

Метою роботи є аналіз та розробка алгоритмів для підвищення ефективності процесів опрацювання інформації в комп'ютерних системах за рахунок методів і програмних засобів підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання.

Об'єктом дослідження є програмні засоби підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання. Метою дослідження є методи й моделі програмних засобів підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання.

Для досягнення поставленої мети й рішення наукового завдання дослідження необхідно виконати наступні завдання:

- аналіз завдань і методів оцінки й вибору альтернатив рішень;
- аналіз підходів і методів до рішення прямих і зворотних завдань багатокритеріального нечіткого оцінювання для створення програмних засобів підтримки вибору рішень;
- аналіз підходів до створення програмних засобів підтримки вибору рішень на основі нечіткого оцінювання;
- розробка нечітких оцінних моделей з урахуванням ієрархічності, сумісності, значимості показників і різних стратегій оцінювання;
- розробка методів рішення прямих і зворотних завдань нечіткого оцінювання на основі пропонованих моделей;
- створення алгоритмів підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання;
- розробка програмних засобів підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання;
- оцінювання ефективності використання розроблених програмних засобів підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання.

1 АНАЛІЗ СТАНУ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЦІЛЕЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз завдань і методів оцінки й вибору альтернатив рішень

Процес прийняття рішень складається з ряду стадій (етапів). На початковій стадії необхідно виявити проблему, проблемну ситуацію або визначити предметну область, у яких потрібне прийняття рішень.

Термін «рішення» має багато значеннєвих значень. Це можуть бути дії за рішенням проблем, що приводять до якогось результату, наслідки яких необхідно оцінити. Під рішенням розуміють також деякі об'єкти, системи, що вимагають оцінювання. Рішення це також різні варіанти, альтернативи, можливості щодо дій і об'єктів. Рішенням називають і процес пошуку кращого в якомсь змісті варіанта, і сам цей варіант [1].

На наступному етапі необхідно змістовно описати предметну область, виявити мети прийняття рішень і обмеження.

Далі потрібно здійснити збір і аналіз детальної інформації про предметну область. У ряді випадків необхідно побудувати модель, визначити область альтернатив (варіантів) рішень, виконати генерацію рішень, сформулювати завдання прийняття рішень.

На наступному етапі здійснюється прийняття рішень на основі винайдених (розроблених) методів. Виконується оцінка варіантів рішення, їх порівняння, класифікація, ранжирування, вибір найбільш кращого. В теорії прийняття рішень виділяють суб'єкти, що впливають на різні етапи прийняття рішень. Насамперед, це особа, що ухвалює рішення, та людина або група осіб, яка й робить остаточний вибір.

Можуть бути виділені власник проблеми, експерт, а також консультант по прийняттю рішень. Властивості предметної області, умови функціонування систем підтримки прийняття рішень можуть бути різними. В залежності від

повноти й вихідних даних завдання вибору рішень можуть бути добре структурованими, слабо структурованими й неструктурованими [2]. Для добре структурованих завдань дані формулюються в кількісному виді, для слабо структурованих завдань вони містять кількісні описи з домінуванням якісних і непевних факторів, для неструктурованих завдань дані представляються у вигляді якісного опису вихідних факторів і взаємозалежностей між ними. Вибір рішень може здійснюватися в умовах визначеності, ризику або невизначеності [3]. В умовах визначеності відомі вихідні дані й наслідки кожної альтернативи рішень.

Умови ризику мають місце, якщо відомі ймовірності альтернатив рішень або відомий закон розподілу їх ймовірностей. Тоді завдання зводиться до вибору статистичних рішень. У свою чергу, умови ризику можна визначити як умови стохастичної невизначеності, породжені випадковими факторами, які при їхній масовій появі мають властивість статистичної стійкості й описуються яким-небудь законом розподілу ймовірності.

Умови невизначеності, при яких закон розподілу ймовірностей для невизначених факторів невідомий, визначаються як умови статистичної невизначеності. Умови статистичної невизначеності, у свою чергу, діляться на два види: по-перше, з відомими параметрами перерозподілу (математичне очікування, дисперсія й інші характеристики випадкової величини); по-друге, з невідомими параметрами розподілу.

Якщо невизначені фактори відносяться до невинуватливих, не мають статистичну стійкість і не описуються яким-небудь законом розподілу ймовірності, то по цих невизначених факторів неможливо оцінити достовірність інформації. А ймовірність рішень, пов'язаних із впливом цих факторів, визначити неможливо. У цьому випадку говорять про умови нестохастичної невизначеності [4].

Слід виділити наступні причини виникнення нестохастичної невизначеності при виборі рішень:

- неповнота й недостатність інформації про всіх факторів завдання вибору рішень;
- нечіткість, неоднозначність або суперечливість виділення й опису факторів завдань вибору рішень.

Крім того, число факторів, змінних, ознак, показчиків і критеріїв, що визначають предметну область, може суттєво різнитися. Інформація про цих факторів може бути повної або часткової. Фактори можуть бути незалежними друг від друга або залежними. Залежність може бути погодженої або суперечливої. Показчики можуть бути кількісними або якісними, оцінюватися в різних шкалах.

Визначальними для вибору рішень є моделі оцінки показчиків і вибору альтернатив цих рішень. Структури моделей оцінки й вибору рішень можуть бути різними, відрізнятися «зв'язністю» між факторами, ієрархічністю оцінювання. Структура моделі багато в чому обумовлена цілями вибору й критерієм ефективності рішень.

1.2 Аналіз мов опису завдань вибору

Існують різні мови опису завдань вибору у вигляді: критеріїв якості, функцій вибору, бінарних відносин, систем аксіом.

Мова бінарних відносин або систем аксіом доцільно використовувати, якщо вибір рішень не може бути зроблений однозначно й представляється векторами критеріїв і обмежень, залежить від системи переваг, а також від умов і актуальної інформації, якої він має.

Найбільш широко розповсюдженими для опису завдань вибору є мови критеріїв якості (ефективності) і функцій вибору. Ці мови опису орієнтовані на те, що вихідна множина альтернатив рішень однозначно визначене. А для

здійснення вибору рішень використовуються критерії ефективності рішень або сукупність правил [6].

В умовах одного або невеликого числа критеріїв, повної визначеності предметної області методи теорії прийняття рішень добре розвинені.

Однак в умовах великого числа не повністю певних, якісних і кількісних взаємодіючих показників, що визначають предметну область, складності об'єктів, що вимагають оцінки для вибору рішень, класичні методи й моделі теорії прийняття рішень часто не застосовні.

У таких умовах важливе значення набуває побудова моделі предметної області, розробка методів оцінювання складних багатокритеріальних об'єктів, що може суттєво полегшити наступний вибір варіанта.

До основних завдань оцінки й вибору альтернатив рішень можна віднести наступні:

- оцінка альтернатив рішень;
- порівняльна оцінка й ранжирування множин і альтернатив рішень;
- визначення стратегій оцінювання альтернатив рішень;
- визначення значень приватних показників рішень за заданими значеннями узагальненого показника;
- пошук значень приватних показників, що забезпечують необхідні значення узагальненого показника;
- пошук найкращих рішень (значень приватних показників), що забезпечують необхідні значення узагальненого показника.

Можна виділити одно- і багатокритеріальні методи оцінки й вибору альтернатив рішень.

В однокритеріальному випадку вважаються відомими:

- множина альтернатив рішень (об'єктів, варіантів дій):

$$A = \{a_j\}, j=1, \dots, m;$$

- оцінки альтернатив за обраним критерієм (показнику): $p(a_j)$;

– правило вибору найкращого варіанта, наприклад $\max(p(a_j))$ або $\min(p(a_j))$.

У процесі рішення завдання вибору найкращого варіанта альтернатива a^* , для якої $p(a^*) = \max(p(a_j))$ або $p(a^*) = \min(p(a_j))$ визначається $p(a_j)$.

Іншим випадком завдання вибору є ранжирування варіантів рішень відповідно до множини оцінок альтернатив.

Більш значимим для практичного використання є випадок оцінки й вибору альтернатив за багатьма критеріями.

У багатокритеріальному випадку кожному варіанту a_j можна поставити у відповідність вектор виду: $(p_1(a_j), p_2(a_j), \dots, p_n(a_j))$, що представляє оцінки варіанта за критеріями (показниками): $p_1, p_2, \dots, p_n$. Далі підходи до порівняння й вибору варіантів рішень можуть бути розділені на дві більші групи: відомість і не відомість багатьох критеріїв до одному.

Методи, засновані на невідомості багатокритеріальних завдань оцінки й вибору варіантів рішень по одному критерію, ставлять своїм завданням порівняння варіантів на основі векторів оцінки за всіма критеріями. Серед важливих факторів, що враховуються при рішенні цього завдання, можна вказати вага (важливість) критеріїв, а також інформацію про переваги ЛПР. Часто ці методи використовуються в іншій постановці: пошук оптимальних рішень на множині параметрів, що визначають умови прийняття рішень.

Застосування цих методів обумовлене, як правило, незалежністю критеріїв, їх повною визначеністю. У випадку використання методів, заснованих на відомості багатокритеріальних завдань оцінки й вибору варіантів рішень по одному критерію, завдання вибору зважується на основі побудови інтегрального (узагальненого) критерію. Для цього використовуються різноманітні способи агрегування, «згортки» показників, тобто побудови різних узагальнюючих показників, насамперед, адитивних і мультиплікативних.

Аддитивний узагальнюючий критерій (показчик) виходить як зважена сума оцінок за приватними критеріями (показниками):

$$p_{об}(a_j) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot p_i(a_j), \quad j=1, \dots, m, \text{ де } p_i(a_j)$$

оцінка альтернативи a_j по критерію p_i , ω_i – вага (важливість) критерію p_i .

Мультиплікативний критерій визначається у вигляді:

$$p_{об}(a_j) = \prod_{i=1}^n p_i(a_j) \omega_i, \quad i=1, \dots, m.$$

Однак наведені вирази не завжди адекватно відбивають особливості завдань оцінки й вибору, зокрема, взаємозалежність, суперечливість окремих показників.

Підхід, заснований на згортці багатьох критеріїв в один, використовується в багатьох методах теорії прийняття рішень, серед яких можна виділити наступні: методи, засновані на теорії цінності, корисності [5], методи аналізу ієрархій, методи нелінійної згортки [6], методи теорії нечітких множин [7] і інші.

Підхід до багатокритеріального оцінювання складних об'єктів, заснований на відомості багатьох критеріїв по одному, привабливий тим, що він знижує трудомісткість таких процедур теорії прийняття рішень, як порівняння, ранжирування, класифікація й вибір варіантів (альтернатив). Разом з тим, суттєво зростає вимога пошуку ефективних методів оцінювання, що відбивають особливості предметної області й переваги ЛПР або знання експерта.

Аналіз існуючих методів дозволяє зробити висновок про те, що вони не повною мірою відбивають особливості предметної області, що полягають у невизначеності, розвитій системи сильно взаємодіючих різноякісних показників, складності оцінюваних об'єктів.

1.3 Багатокритеріальне оцінювання альтернатив

Необхідність обліку невизначеності при рішенні завдань багатокритеріального оцінювання й підтримки вибору альтернатив є обґрунтуванням використання методів і моделей теорії нечітких множин і нечіткої логіки [8]. У [9] запропонована постановка й підхід до виконання завдань прямого нечіткого оцінювання, при яким узагальнені й приватні показники представляються нечіткими множинами (причому, у термінах теорії нечітких множин вони можуть виступати рівноправно). А завдання оцінки реалізується на основі згортки показників з використанням нечіткого логічного висновку на основі комбінування нечітких множин за допомогою операцій над ними.

Процедура прямого багатокритеріального нечіткого оцінювання альтернатив реалізується на основі прямого нечіткого висновку (fuzzy forward-chaining reasoning) і базується на правилі висновку нечіткий модус поненс (fuzzy modus ponens), узагальнена процедура якого містить у собі наступні етапи [10].

Етап 1. Завдання нечіткої імплікації $A \rightarrow B$, що відповідає нечіткому причинно-наслідковому відношенню R між передумовою A і висновком B , яке можна розглядати як нечітку підмножину декартового добутку $R \subseteq X \times Y$ повної множини передумов X і висновків Y з функцією приналежності $\mu_P(x, y) \in [0, 1]$. Нечітка імплікація представляється у вигляді нечіткої продукції в такий спосіб:

$$\text{ЯКЩО } x \in A, \text{ ТО } y \in B,$$

де x – вхідна змінна, $x \in X$, X – область визначення вхідних змінених;

A – нечітка змінна, завдана на X , з функцією приналежності $A(x) \in [0, 1]$;

y – вихідна змінна, $y \in Y$, Y – область визначення вихідної змінної;

B – нечітка множина, завдана на Y , з функцією приналежності $\mu_B(y) \in [0, 1]$.

Етап 2. Завдання нечіткої умови (факту): « $x' \in A'$ »,

де x' – фактичне значення змінної x ;

A' – нечітка множина, характеризує значення x' , завданої на X , з функцією приналежності $A(x) \in [0, 1]$.

Етап 3. Формування висновку: « $y' \in B'$ »,

де y' – отримане значення змінної y ;

B' – нечітка, що відбиває результуюче значення y' , певне на Y , з функцією приналежності $\mu_{B'}(y) \in [0, 1]$.

Тому що нечітка умова містить нечітку множину A' , яка є «близькою», у певному змісті, до нечіткої множини A , то в результаті формується висновок у вигляді функції приналежності нечіткої множини B' , що характеризує ступінь її «близькості» до нечіткої множини B .

Таким чином, процес одержання результату прямого нечіткого висновку B' з використанням нечіткої імплікації $A \rightarrow Y$ и нечіткої умови « $x' \in A'$ » можна представити у вигляді:

$$B' = A' \bullet R = A' \bullet (A \rightarrow B),$$

де « $\bullet$ » – операція композиції (згортки).

При цьому функцію приналежності нечіткої множини B' можна представити в наступному виді:

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in X} (\mu_{A'}(x) \text{ T } \mu_P(x, y)),$$

де T – операція t -норми [11].

Компоненти нечітких продукційних моделей (схема нечіткого висновку; база нечітких продукційних правил; процедури: введення нечіткості, агрегування ступенів істинності передумов правил, активізації висновків правил, акумулювання активізованих висновків правил, приведення до чіткості) можуть бути реалізовані по-різному. Причому, вибір різних реалізацій одного або декількох компонентів моделі найчастіше обґрунтовує й вибір усіх інших.

Сукупність окремих реалізацій компонентів нечіткої продукційної моделі багато в чому визначає відповідний метод нечіткого продукційного висновку [14].

Розглянуто й виконано аналіз наступних основних методів прямого нечіткого продукційного висновку для реалізації процедур прямого нечіткого оцінювання: Мамдані (Mamdani), Ларсена (Larsen), Цукамото (Tsukamoto), Сугено (Sugeno) 0-го порядку, Такагі–Сугено (Takagi–Sugeno) довільного порядку, нечіткого логічного оцінювання з урахуванням сумісності узагальненого й часткового показників.

Метод нечіткого висновку Мамдані.

При виконанні методу нечіткого висновку Мамдані:

- база правил формується на основі правил наступного типу:

P_i : **ЯКЩО** $x_1 \in A_{i1}$ **И** ... **И** $x_m \in A_{im}$, **ТО** $y \in B_i$, $i = 1, \dots, n$;

Декартовий добуток нечітких множин $A_{i1} \times \dots \times A_{im}$, $i = 1, \dots, n$ завдається виразом:

$$\mu_{A_{i1} \times \dots \times A_{im}}(x_1, \dots, x_m) = \min(\mu_{A_{i1}}(x_1), \dots, \mu_{A_{im}}(x_m)), \quad \forall x_1 \in X_1, \dots, \forall x_m \in X_m;$$

- нечітка імплікація – правило min-активізації: $\min(\alpha_i, \mu_{B_i}(y))$, $\forall \psi \in \Psi$;
- *t-норма* – min- кон'юнкція;
- акумулювання активізованих висновків правил – max-диз'юнкція;
- метод дефазифікації – «центр ваги»:

Для заданих умов нечітку продукційну модель і відповідний їй метод нечіткого висновку Мамдані можна описати наступним виразом:

$$\begin{aligned} \forall y \in Y, \quad \mu_{B'}(y) &= \max_{i=1, \dots, n} (\sup_{x \in X} (\min(\mu_{A_i}(x'), \mu_{A_i \rightarrow B_i}(x, y)))) = \\ &= \max_{i=1, \dots, n} (\sup_{x \in X} (\min(\mu_{A_i}(x'), \mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y)))). \end{aligned}$$

$$X = X_1 \times \dots \times X_m, y \in Y.$$

При виконанні методу нечіткого висновку Ларсена: база правил формується на основі правил наступного типу:

$$П_i: \text{ЯКЩО } x_1 \in A_{i1} \text{ И } \dots \text{ И } x_m \in A_{im}, \text{ ТО } y \in B_i, i = 1, \dots, n$$

декартовий добуток нечітких множин $A_{i1} \times \dots \times A_{im}, i = 1, \dots, n$ завдається виразом:

$$\mu_{A_{i1} \times \dots \times A_{im}}(x_1, \dots, x_m) = \min(\mu_{A_{i1}}(x_1), \dots, \mu_{A_{im}}(x_m)), \quad \forall x_1 \in X_1, \dots, \forall x_m \in X_m;$$

Найбільш часто використовується метод нечіткого висновку Такагі–Сугено 1-го порядку з відповідними лінійними функціями:

$$П_i: \text{ЯКЩО } x_1 \in A_{i1} \text{ И } \dots \text{ И } x_j \in A_{ij} \text{ И } \dots \text{ И } x_m \in A_{im},$$

$$\text{ТО } y = c_{i1} x_1 + \dots + c_{ij} x_j + \dots + c_{im} x_m + c_{i0}, i = 1, \dots, n,$$

де $c_{ij} (j = 1, \dots, m)$ – коефіцієнти аргументів функції,

c_{i0} – зсув;

Метод нечіткого логічного оцінювання з урахуванням сумісності узагальненого й приватних показників.

Формування кожного правила містить у собі процедуру ідентифікації операцій згортки для значень терм-множин загального й приватних показників, а також операцію комбінування результатів цих згорток, щодо нижнього рівня їх сумісності:

$$П_1: \text{ЯКЩО } x_1 \in H_1 \text{ И } \dots \text{ И } x_q \in H_q, \text{ ТО } y \in (H_1 \theta^{11} H_{об}) \vartheta^1_l, \dots, \vartheta^1_l (H_q \theta^1_q H_{об}),$$

$$П_2: \text{ЯКЩО } x_1 \in H_1 \text{ И } \dots \text{ И } x_q \in M_q, \text{ ТО } y \in (H_1 \theta_{12} H_{об}) \vartheta^2_l, \dots, \vartheta^2_l (M_q \theta^2_q H_{об}),$$

...

$$П_i: \text{ЯКЩО } x_1 \in M_1 \text{ И } \dots \text{ И } x_q \in L_q, \text{ ТО } y \in (M_1 \theta_1^i M_{об}) \vartheta^{\lambda_1}, \dots, \vartheta^{\lambda_1} (L_q \theta_{iq} M_{об}),$$

...

$$П_n: \text{ЯКЩО } x_1 \in L_1 \text{ И } \dots \text{ И } x_q \in L_q, \text{ ТО } y \in (L_1 \theta_1^n L_{об}) \vartheta^{\lambda_n}, \dots, \vartheta^{\lambda_n} (L_q \theta_{qn} L_{об}),$$

де $x_1, \dots, x_q$ – вхідні змінні для цієї моделі; y – вихідна змінна;

$\{L_j, M_j, H_j\}$ – нечіткі множини, що характеризують приватний показник p_j ,

$j = 1, \dots, q;$

$\{L_{об}, M_{об}, H_{об}\}$ – нечіткі множина, що характеризують узагальнений показник $P_{об}$;

$\theta^{11}, \dots, \theta^1_q, \dots, \theta_1^n, \dots, \theta^{nq}$ – операції над нечіткими множинами, що характеризують узагальнений і приватні показники, обрані в залежності від рівня їх сумісності;

θ_{il} – операція комбінування результатів згорток узагальненого показника із приватними показниками в i -му правилі ($i = 1, \dots, n$), обрана з відповідної сукупності операцій парних згорток $\theta_1^i, \dots, \theta^{iq}$, що й характеризує нижній рівень їх сумісності.

Обмеженням методу є те, що в процесі прямої непарного оцінювання результуюча нечітка множина, що характеризує значення узагальненого показника, ураховує нечіткі множини часток показників. Це, зокрема, приводить до складності оцінювання у випадку, якщо який-небудь із приватних показників несумісний з узагальненим показником.

Загальним обмеженням використання розглянутих методів прямого нечіткого висновку для багатокритеріального оцінювання альтернатив є складність формування багаторівневої структури оцінювання, а також вибору й настроювання операцій згортки показників.

1.4 Постановка задач дослідження

Завданням роботи є дослідження й розробка методів і програмних засобів підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання. Для створення програмних засобів підтримки вибору рішень вимагається розробити моделі й методи прямого й зворотного нечіткого оцінювання, що задовольняють наступному комплексу вимог:

- можливість формування узагальненого показчика оцінки й вибору рішень на основі мінливих наборів приватних показчиків з обліком складної багаторівневої структури оцінювання;
- можливість агрегування різнорідних показчиків (як кількісних, так і якісних) оцінки й вибору рішень, що різняться по вимірювальних шкалах, діапазонах значень;
- гнучке настроювання (адаптація) оцінних моделей при додаванні або виключенні показчиків і зміні їх параметрів (сумісності й значимості показчиків);
- забезпечення можливості реалізації в рамках єдиної моделі: по-перше, прямого завдання оцінювання (згортки) узагальненого показчика на основі приватних показчиків; по-друге, зворотного завдання оцінювання (розгорнення) приватних показчиків при заданому значенні узагальненого показчика; по-третє, спільного виконання прямій і зворотної завдань оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень.

Необхідно розробити алгоритми підтримки вибору рішень на основі пропонованих моделей і методів прямого й зворотного нечіткого оцінювання для рішення наступних завдань: оцінки альтернатив рішень; ранжування й порівняльної оцінки множини рішень; обґрунтування стратегій оцінювання обраних рішень; визначення значень (діапазонів значень) приватних показчиків рішень за заданими значенням (діапазоном значень) узагальненого показчика; пошуку рішень (значень або діапазонів значень) приватних показчиків, що забезпечують необхідні значення або діапазони значень узагальненого показчика (з фіксацією і без фіксації значень або діапазонів значень підмножини приватних показчиків); пошуку найкращих рішень (значень або діапазонів значень) приватних показчиків, забезпечують необхідні значення або діапазони значень узагальненого показчика (з фіксацією й без фіксації значень або діапазонів значень підмножини приватних показчиків).

Необхідно розробити методику оцінки якості програмного забезпечення на основі нечітких оцінних моделей і методів прямого й зворотного нечіткого оцінювання.

Повинні бути розроблені програмні засоби підтримки вибору рішень на основі пропонованих моделей, методів і алгоритмів, а також виконана оцінка ефективності їх використання.

Здійснений аналіз завдань і методів оцінки й вибору альтернатив рішень в умовах визначеності, ризику й невизначеності. Визначені основне завдання й охарактеризовано одне- і багатокритеріальні методи оцінки й вибору альтернатив рішень.

Проведений аналіз підходів до агрегування показників багатокритеріального нечіткого оцінювання складних об'єктів і альтернатив рішень: за умови рівно- і нерівнозначності показників; на основі рекурсивного агрегування показників; з використанням нечітких квантифікаторів. Зроблені висновки про те, що відомі підходи не враховують: по-перше, сполучність часток нерівнозначних показників при виборі операцій їх згортки; по-друге, складну багаторівневу структуру оцінювання; по-третє, можливість рішення завдання зворотного оцінювання, а також спільного виконання прямих і зворотних завдань оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень.

2 ОПИС ПРОВЕДЕНИХ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Аналіз методів агрегування результатів

Оцінні моделі можуть мати складну структуру й представлятися у вигляді ієрархічно зв'язаних показників. Вимога обліку багаторівневої структури оцінювання обґрунтовує необхідність аналізу підходів до агрегування результатів багатокритеріальної нечіткої оцінки альтернатив рішень.

Розглянуто як приклад дворівневу систему показників. Нехай показники p_i , $i = 1, \dots, n$ є приватними показниками нижнього рівня ієрархії. І нехай заданий узагальнений показник $p_{об}$. При нечіткому підході значення показників можуть задаватися як нечіткими множинами, так і числами в діапазоні $[0, 1]$ і характеризувати ступінь виконання відповідного критерію. Тоді значення цього узагальненого показника для кожного з оцінюваних об'єктів можна одержати шляхом згортки значень приватних показників:

$$\forall a_j \in A, \quad p_{об}(a_j) = h(p_1(a_j), \dots, p_n(a_j)).$$

де h – деяке відображення, що задовольняє розглянутим нижче аксіомам.

A1 $h(0, \dots, 0) = 0$, $h(1, \dots, 1) = 1$ – граничні умови.

A2 Для будь-яких пар $(p_i(a_j), p_{i\in}(a_j)) \in [0, 1]^2$,

якщо $\forall i, \pi_i(\alpha \varphi) \geq \pi_i'(\alpha \varphi)$, то

$h(p_1(a_j), \dots, p_n(a_j)) \geq h(p_1'(a_j), \dots, p_{n\in}(a_j))$ – аксіома неубування.

A3 h – симетрична функція своїх аргументів.

A4 h – безперервна функція [14].

Існують наступні основні підходи до агрегування показників багатокритеріального оцінювання складних об'єктів і альтернатив рішень:

– узагальнений показник формується за умови рівнозначності приватних показників;

- узагальнений показчик формується на основі рекурсивного агрегування часток показчиків;
- узагальнений показчик формується за умови нерівнозначності приватних показчиків;
- узагальнений показчик формується на основі використання нечітких квантіфікаторів при згортку приватних показчиків.

Узагальнений показчик формується за умови рівнозначності приватних показчиків. У рамках цього підходу можливі наступні варіанти оцінювання:

- значення узагальненого показчика визначається найгіршим значенням приватних показчиків;
- значення узагальненого показчика визначається найкращим значенням приватних показчиків;
- компромісні стратегії [15].

Для першого варіанта, на додаток до A1–A4, повинна виконуватися аксіома:

$$A5 \quad \forall \pi_1(\alpha \varphi), \eta(\pi_1(\alpha \varphi), \dots, \pi_n(\alpha \varphi)) \leq \min(\pi_1(\alpha \varphi),$$

тобто, значення узагальненого показчика повинне бути не більше мінімального значення будь-якого із приватних показчиків.

Для другого варіанта, на додаток до аксіом A1–A4, повинна виконуватись наступна аксіома:

$$A6 \quad \forall \pi_1(a_j), h(p_1(a_j), \dots, p_n(a_j)) \geq \max(p_1(a_j), \dots, p_n(a_j)),$$

тобто значення узагальненого показчика повинне бути не менше максимального значення будь-якого із приватних показчиків.

Для компромісних стратегій (третій варіант), на додаток до аксіом A1–A4, повинна виконуватися наступна аксіома:

$$A7 \quad \forall \pi_1(a_j), \quad \min(p_1(a_j), \dots, p_n(a_j)) < h(p_1(a_j), \dots, p_n(a_j)) < \max(p_1(a_j), \dots, p_n(a_j)).$$

Значення узагальненого показника може бути отримане з використанням згортки значень приватних показників на основі, наприклад, двомісної операції параметризованої медіани:

$$h(pk(a_j), pl(a_j)) = \text{med}(pk(a_j), pl(a_j); \alpha), k, l \in \{1, \dots, n\}, \alpha \in [0, 1],$$

де α – параметр, що характеризує ступінь компромісності показників. Асоціативні симетричні суми (крім медіани) являють собою інші різновиди таких згорток. Ці операції дозволяють урахувати ступінь компромісності (сумісності) приватних показників і ідентифікувати адекватні операції для їхні згортки.

Знаходження (ідентифікація) адекватних операцій згортки часток показників, «покриваючих» усю множину компромісних стратегій між першим і другим «протилежними» варіантами, забезпечує також параметризоване сімейство операцій згорток типу:

$$h(pk(a_j), pl(a_j)) = I(pk(a_j), pl(a_j))^\alpha \cdot U(pk(a_j), pl(a_j))^{(1-\alpha)},$$

$$k, l \in \{1, \dots, n\}, \alpha \in [0, 1],$$

де I, U – деякі операції перетинання й об'єднання, відповідно;

α – параметр, що характеризує ступінь компромісності показників.

Узагальнений показник формується на основі рекурсивного агрегування часток показників – часто виконати оцінювання з використанням відразу всіх часток складно через розмірність завдання. Крім того, більшість двомісних асоціативних симетричних сум не задовольняє аксіомі A_3 при збільшенні числа аргументів. У цьому випадку для числа приватних показників $n > 2$ узагальнену оцінку можна одержати рекурсивно:

$$h(p_1(a_j), \dots, p_n(a_j)) = h(h(\dots(h(p_1(a_j), p_2(a_j)), \dots), p_{n-1}(a_j)),$$

$$p_n(a_j)).$$

Узагальнений показник формується за умови нерівнозначності приватних показників. В рамках цього підходу можливі наступні варіанти оцінювання:

- установлення граничних значень для приватних показників;

- зважування приватних показників;
- асиметричне завдання узагальненого показника.

У випадку встановлення граничних значень для приватних показників (перший варіант) для всіх приватних показників задаються граничні значення, досягнення яких визначає прийнятність узагальненої оцінки об'єкта.

У випадку зважування приватних показників (другий варіант) кожному приватному показнику призначається вага w_i з наступним агрегуванням зважених часток показників з використанням операції згортки. Найпоширенішим є вираз зваженого підсумовування приватних показників:

$$p_{об}(a_j) = \sum_{i=1}^n w_i p_i(a_j), \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Однак завдання ваг w_i може викликати складності у випадку різноякісних показників. Для рішення цієї проблеми приватні показники можуть бути замінені на їхні однорідні характеристики, наприклад, на ступені задоволеності (приналежності) відповідному до властивості об'єкта:

$$\mu_{p_{об}}(a_j) = \sum_{i=1}^n w_i \mu_{p_i}(a_j), \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad \mu_{p_{об}}(a_j) \in [0, 1], \quad \mu_{p_i}(a_j) \in [0, 1].$$

Процедуру зважування приватних показників можна поширити й на інші типи операцій згортки. Варіант асиметричного завдання узагальненого показника обумовлюється його складною структурою й необхідністю агрегування часток показників на нижньому рівні ієрархії з використанням, наприклад, «И–АБО»-дерева. Узагальнений показник формується на основі використання нечітких квантіфікаторів при згортку приватних показників – ці квантіфікатори задають оцінку досягнення прийнятих результатів, наприклад, таких як «більшість», «мале», «щонайменше, половина».

Нечіткі квантіфікатори можуть задавати, у тому числі, оцінку того, наскільки досягнуті граничні значення приватних показників (або більшості цих показників), що визначають прийнятність узагальненої оцінки складного об'єкта

або альтернативи рішення. У цьому випадку крім нечіткого квантіфікатора задається й розподіл ваг цих приватних показників [15].

У дійсності, важливість вибору найкращого підходу до агрегування показників стає більш очевидною, коли деяку узагальнену оцінку, у свою чергу, комбінують із іншими узагальненими оцінками [16].

Незважаючи на різноманітність існуючих підходів до агрегування показників багатокритеріального оцінювання складних об'єктів і альтернатив рішень, проте, ці підходи не враховують сумісність приватних нерівнозначних показників при виборі операцій їх згортки, а також складну багаторівневу структуру оцінювання.

Крім того, у представлених підходах не враховується можливість рішення завдання зворотного оцінювання, а також спільного виконання пручи-мій і зворотної завдань оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень.

2.2 Використання моделей і методів зворотного нечіткого оцінювання

На відмінність від методів прямого оцінювання, що відповідають на запитання: «Що буде, якщо ...?», методи зворотного оцінювання дозволяє відповісти на запитання: «Що потрібно зробити, щоб ...?». Тобто, при зворотному нечіткому оцінюванні визначаються такі значення приватних показників, які приводять (у результаті застосування процедури прямого нечіткого оцінювання) до необхідних значень узагальненого показника.

Така постановка завдання для зворотного нечіткого оцінювання зводиться, по суті, до двом підзадачам:

- підзадача 1 – знайти значення приватних показників по заданому значенню узагальненого показника;

– підзадача 2 – обґрунтувати, що отримані значення приватних показників дають необхідне значення узагальненого показника.

Зворотне нечітке оцінювання на основі зворотного нечіткого висновку використовує правило висновку «нечіткий модус толленс». Процедура зворотного нечіткого висновку починається із завдання значень функції приналежності висновків нечітких продукційних правил. Після їхньої активізації визначаються функції приналежності в передумовах цих правил [17].

Для окремого i -го нечіткого правила результат зворотного висновку виходить у вигляді нечіткої множини передумови A'_i на основі операції композиції над нечітким відношенням R_i (нечіткою імплікацією $A_i \rightarrow B_i$) і нечіткою множиною висновку B'_i :

$$A'_i = R_i \bullet B'_i = (A_i \rightarrow B_i) \bullet B'_i = ((\times_{j=1}^m A_{ij}) \rightarrow B_i) \bullet B'_i.$$

с функцією приналежності:

$$\mu_{A_i}(x) = \sup(\mu_{R_i}(x, y) \text{ T } \mu_{B'_i}(y)),$$

де $A'_i = A'_{i1} \times \dots \times A'_{im}$ – визначене на $X = X_1 \times \dots \times X_m$ з функцією приналежності $\mu_A(x) = \mu_{A' \times A'}(x_1, \dots, x_m)$;

B'_i – визначене на Y з функцією приналежності $\mu_{B'_i}(y)$; $R_i: A_i \rightarrow B_i$ –

визначене на $X_1 \times \dots \times X_m \times Y$ з функцією приналежності

$$\mu_{R_i}(x, y) = \mu_{A_i \rightarrow B_i}(x, y) = \mu_{A_{i1} \times \dots \times A_{im} \rightarrow B_i}(x_1, \dots, x_m, y).$$

Аналіз цих виразів дозволяє зробити наступні зауваження: по-перше, підзадача 1 може не мати єдиного рішення, а приводити до деякого сімейству (області) рішень; по-друге, підзадача 2 може не мати точного рішення. Уводиться показник ступеня близькості функції приналежності вихідний змінної до необхідного значення. Уводиться граничне значення цього показника. Задається значення функції приналежності вихідний змінної. Потрібно знайти такі значення вхідних змінних, які призводять (підзадача 2) до функції приналежності вихідної

змінної, ступінь близькості якої до заданого значення менше порога. Очевидно, що значення вхідних змінних повинні належати області рішень, отриманої з використанням виражень, наведених вище (підзадача 1).

Для вирішення завдання зворотного нечіткого висновку в такій постановці може бути використана переборна процедура. Якщо перебір усіх припустимих рішень не призводить до результату, то можна збільшити граничне значення ступеня близькості.

Альтернативна постановка завдання полягає в пошуку не будь-якого рішення, для якого значення ступеня близькості менше порога, а того, яке приводить до його найменшого значення. Подібна постановка зводиться до класичної оптимізації завдання з обмеженнями, що накладаються на множину рішень і із цільовою функцією, що завдає ступінь близькості функцій приналежності.

Класичний варіант постановки зворотного завдання для нечітких реляційних моделей запропонував Е. Санчес [18]. Нехай задане множина передумов $X = \{x_1, \dots, x_m\}$ і висновків $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$. Між множинами X і Y існує нечітке причинно-наслідкове відношення

$$R = \{(\mu_R(x_i, y_j) / (x_i, y_j)) \mid \mu_P(x_i, y_j) \in [0,1], x_i \in X, y_j \in Y\},$$

яке можна представити у вигляді матриці $R_{(m \times n)}$ з елементами $r_{ij} \in [0, 1]$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$. Передумови й висновку можна розглядати як нечіткі множини A і B на базових множинах X і Y , тоді:

$$B = A \bullet R,$$

де « $\bullet$ » – операція композиції, наприклад, $\max$ - $\min$ -композиція.

Необхідно знайти такі значення функції приналежності нечіткої множини (ступені істинності передумов) $A\{(\mu_A(x_1') / x_1'), \dots, (\mu_A(x_m) / x_m)\}$, які б відповідали отриманим значенням функції приналежності нечіткої множини (ступеням істинності висновків):

$$B' = \{(\mu_B(y'_1)/y'_1), ..., (\mu_B(y'_n)/y'_n)\}.$$

По суті, дана постановка задає нечіткі рівняння. У роботах [19] запропоновані різні алгоритми рішення нечітких рівнянь. Однак слід зазначити, що в даній постановці завдання можливі ситуації, коли рішення рівнянь не існує.

Наприклад, якщо нечіткі рівняння задані з використанням трикутних функцій приналежності, а необхідна вихідна функція приналежності є гаусовою (див. рис 2.1), то шуканої вхідної функції приналежності не існує.

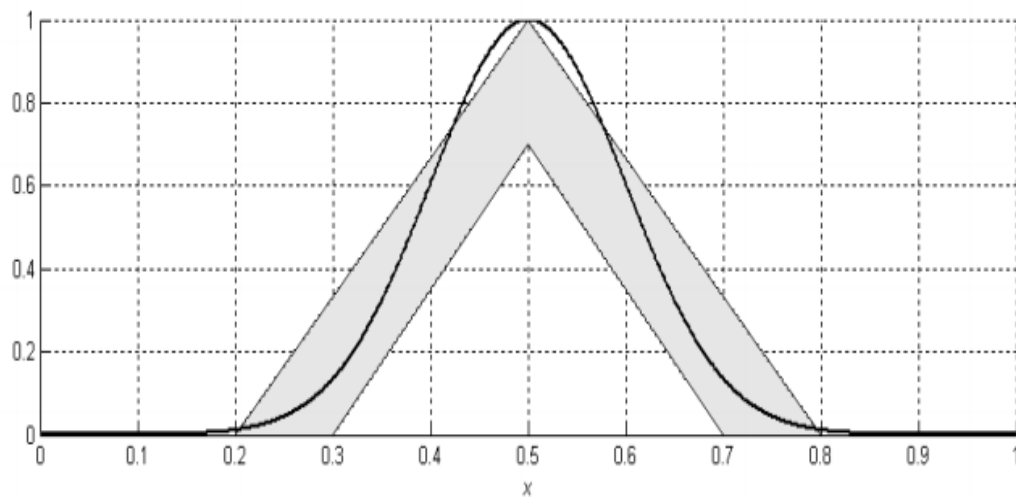


Рисунок 2.1– Приклади завдання функцій приналежності в нечіткому рівнянні

Згодом постановка подібних задач була розширена шляхом завдання нижньої і верхньої границь для результуючої функції приналежності [20]. Однак і тут виникає та ж проблема: якщо всі можливі результуючі функції приналежності нечіткого рівняння при деякому значенні вихідної змінної хоча б незначно виходять за задані границі, то рішення зворотного завдання не існує (див. рис. 2.2).

Тобто, основна проблема розглянутих постановок зворотного завдання полягає в тому, що необхідна функція приналежності задається «жорстко».

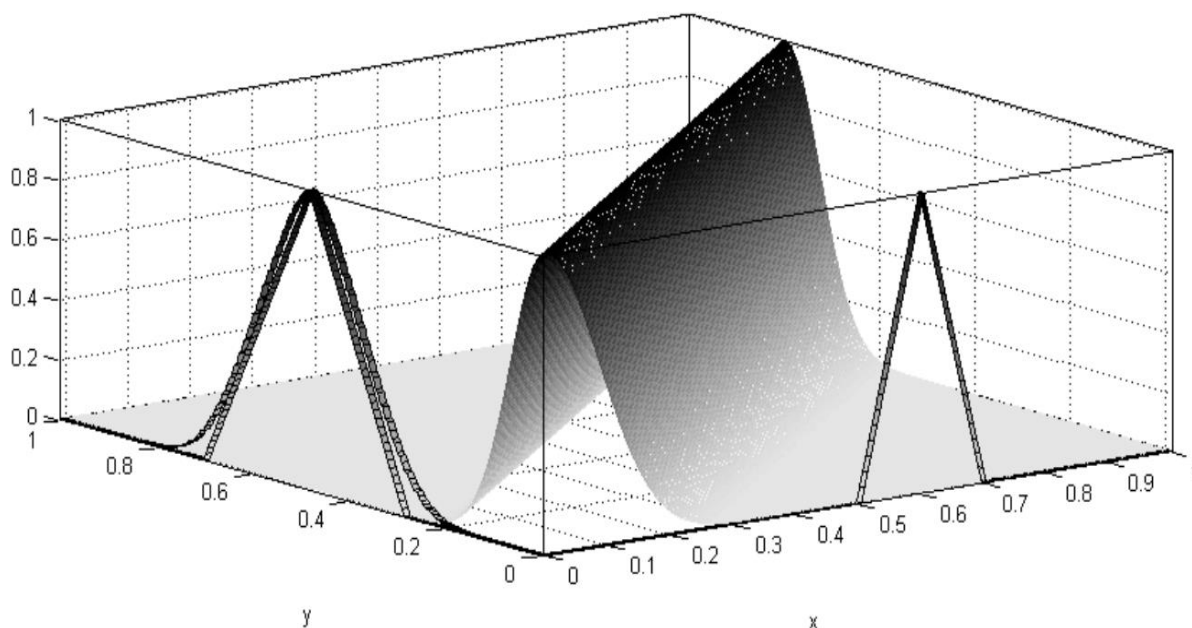


Рисунок 2.2 – Ілюстрація виходу результуючої функції приналежності за задані границі

Виходячи із проведеного аналізу, можна вивести, що потрібно розробити моделі й методи прямого й зворотного нечіткого оцінювання для створення алгоритмів і програмних засобів підтримки вибору рішень, задовольняють наступному комплексу вимог:

- можливість формування узагальненого показника оцінки й вибору рішень на основі мінливих наборів приватних показників з обліком складної багаторівневої структури оцінювання;
- можливість агрегування різномірних показників (як кількісних, так і якісних) оцінки й вибору рішень, що різняться по вимірювальних шкалах, діапазонах значень;
- облік сумісності й різної значимості приватних показників в узагальненій оцінці рішень;
- облік різних (у тому числі, і нечітких) стратегій оцінювання рішень;
- гнучке настроювання (адаптація) оцінних моделей при додаванні або виключенні показників і зміні їх параметрів (сумісності й значимості);

– забезпечення можливості реалізації в рамках єдиної моделі: по-перше, прямого завдання оцінювання (згортки) узагальненого показника на основі приватних показників; по-друге, зворотного завдання оцінювання (розгорнення) приватних показників при заданім значенні узагальненого показника; по-третє, спільного виконання прямій і зворотної завдань оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень.

2.3 Створення програмних засобів підтримки вибору рішень

У цей час запропонований цілий ряд програмних засобів і систем, споконвічно орієнтованих на виконання завдань оцінки й підтримку вибору рішень, включаючи завдання побудови й використання моделей і процедур оцінки рішень, їх порівняння й ранжирування, а також пошуку найкращих рішень. До таких програмних засобів можна, наприклад, віднести системи: «Analitica» компанії Lumina Decision Systems , «Style Intelligence» компанії Inetsoft, OpenClinical і ряд інших, структурні й функціональні особливості яких обумовлені специфікою виконуваних завдань структурування проблем, генерації/ побудови набору альтернатив, завдання значимості й інших характеристик для оцінки, ранжирування, вибору рішень, аналізу їх результатів.

При цьому незалежно від специфіки цих завдань, можна виділити наступні підходи й відповідні їм класи інструментальних засобів, використовувані при створенні програмних засобів для нечіткого оцінювання й підтримки вибору рішень:

- по-перше, програмні платформи для швидкого прототипування й модульного проектування програмних засобів підтримки вибору рішень;
- по-друге, системи комп'ютерної математики, у яких різними засобами, у тому числі, з використанням власних мов програмування, можна реалізувати

окремі завдання побудови нечітких оцінних моделей і процедур нечіткого оцінювання й вибору рішень;

- по-третє, спеціалізовані середовища графічного програмування;
- по-четверте, програмні інструментальні засоби загального призначення, що дозволяють розробляти програмні засоби підтримки вибору рішень на основі нечіткого оцінювання.

До типових представників інструментальних засобів першого класу можна віднести аналітичну платформу «Deductor» і Інтернет-платформу швидкої розробки засобів підтримки вибору рішень.

Аналітична платформа «Deductor» може бути основою для створення готових прикладних програмних засобів підтримки вибору рішень [12]. Вона надає розширені можливості рішення різноманітних аналітичних завдань із використанням таких підходів, як OLAP, Knowledge Discovery in Databases і Data Mining. Реалізовані в «Deductor» технології дозволяють на базі єдиної архітектури здійснювати всі етапи програмної реалізації оцінних моделей від створення сховища даних до візуалізації отриманих результатів.

Інтернет-платформа швидкої розробки засобів підтримки вибору рішень забезпечує оперативне прототипування й модульне проектування програмних засобів підтримки вибору рішень на основі вилученого використання базових інструментів і технологій такого проектування. Платформа дозволяє розробляти нечіткі моделі для оцінки, ранжирування й вибору альтернатив рішень при стратегічному керуванні організаціями різного рівня або галузі [20].

Системи комп'ютерної математики ставляться до другого класу розглянутих програмних систем і, у загальному випадку, являють собою сукупності програмно реалізованих методів і засобів, що забезпечують максимально швидко й зручно для математично підготовленого користувача реалізацію моделей і алгоритмів для рішення математичних завдань різної складності, з високим ступенем візуалізації всіх етапів розробки й використанням. Системи комп'ютерної математики умовно можна розділити на:

системи для чисельних розрахунків, табличні процесори, матричні системи, системи для статистичних розрахунків, системи для спеціальних розрахунків, системи для аналітичних розрахунків (комп'ютерної алгебри) і універсальні системи

В основі більшості сучасних систем комп'ютерної математики лежить типова структура, що полягає з: ядра; пакетів і бібліотек розширення; довідкової системи; інтерфейсу. Ядро системи являє собою заздалегідь відкомпільовані вбудовані функції й процедури, які виконуються найбільше швидко. І тому «обсяг» ядра обмежують найбільше часто використовуваними функціями й процедурами. Збільшення можливостей систем комп'ютерної математики і їх адаптація до розв'язуваних завдань досягаються за рахунок пакетів і бібліотек розширення. Вони створюються з використанням власної мови програмування, наближеного до математичних формалізмів. Інтерфейс надає можливість інтерактивного взаємодії користувача з ядром, пакетами й бібліотеками розширення, довідковою системою. До недоліків систем комп'ютерної математики можна віднести те, що вони не підтримують кросплатформеності, а також досить тверді апаратні вимоги [21].

Типовим представником третього класу є середовище графічного програмування Labview, яка виконує роль як середовища розробки, так і платформи для виконання програм, створених графічною мовою програмування G фірми National Instruments [12]. Розвинені можливості графічної мови програмування G і численні бібліотеки компонентів дозволяють створювати навіть не підготовленому користувачеві програмування додатка різного ступеня складності, у тому числі для підтримки вибору рішень. А спеціальний компонент Application Builder дозволяє виконувати Labview-програми без установки середовища розробки.

К четвертому класу ставляться програмні інструментальні засоби загального призначення, що дозволяють розробляти, у тому числі, програмні

засоби підтримки вибору рішень на основі нечіткого оцінювання. До цих засобів ставляться, наприклад, платформи «.NET Framework» і «J2EE».

Призначення й особливості платформи «.NET Framework»:

- створення цілісного об'єктно-орієнтованого середовища програмування, що допускає різні варіанти локального й вилученого створення, зберігання й виконання додатків;
- мінімізація конфліктних ситуацій при розгортанні й керуванні версіями програмного забезпечення;
- уніфікація роботи розроблювачів як з додатками Windows, так і з веб-додатками;
- використання промислових стандартів при обміні даними й убезпечення сумісності з іншими платформами.

Відмінністю «.NET Framework» у порівнянні з іншими платформами є наявність потужної графічної підсистеми Windows Presentation Foundation (WPF), яка дозволяє створювати 2d- і 3d-інтерфейси. Підсистема WPF є альтернативою Adobe Flash і Java-Апплетам для розробки веб-додатків.

Платформа «J2EE» являє собою набір погоджених специфікацій і технологій для розробки, використання й керування багаторівневими серверорієнтованими додатками. Основні можливості платформи забезпечуються за рахунок використання JavaТехнологій, реалізуючи об'єктно-орієнтоване, платформонезалежне, багатопоточне середовище програмування.

За результатами проведеного аналізу підходів до створення програмних засобів підтримки вибору рішень на основі нечіткого оцінювання сформовані наступні вимоги до розроблювальних програмних засобів:

- модульний підхід до побудови програмних засобів, що забезпечує можливість незалежної розробки, налагодження, розширення й додавання окремих модулів для гнучкого налаштування програмних засобів до мінливих умов розв'язуваних завдань;

- реалізація ядра розроблювальних програмних засобів, що містить основні, найбільше часто виконувані процедури й функції, оптимізація з метою скорочення витрат на їхнє виконання;
- розробка бібліотеки функцій для рішення завдань підтримки вибору рішень у різних предметних областях і забезпечення можливості, у міру потреби, гнучкого їхнього вбудовування в існуючі й перспективні системи підтримки прийняття рішень і автоматизовані інформаційні системи;
- реалізація завдань обробки експертних даних і побудови нечітких оцінних моделей, що забезпечують можливість формування узагальненого показника на основі мінливих наборів часток показників, (як кількісних, так і якісних), що різняться по вимірювальним шкалам, діапазонам значень, з обліком їх сумісності й різної значимості;
- можливість гнучкої адаптації оцінних моделей при зміні структури параметрів оцінювання;
- забезпечення можливості програмної реалізації прямій, зворотної, а також спільного виконання прямій і зворотної завдань нечіткого оцінювання за підтримки вибору рішень.

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розробка нечітких оцінок моделі для підтримки вибору рішень

У загальному виді завдання побудови пропонованих нечітких оцінних моделей для підтримки вибору рішень ставиться в такий спосіб. Нехай є множина показників, значення яких відображають результати виміру/оцінки відповідних властивостей множини складних об'єктів або альтернатив рішень. Потрібно побудувати нечітку оцінну модель із врахуванням багаторівневої структури оцінювання, різної значимості показників, а також нечітких відносин сумісності між показниками на кожному рівні ієрархії моделі.

З урахуванням даної постановки, а також сформованих вимог підхід до побудови нечіткої оцінної моделі полягає в наступному. Уся множина показників розбивається по рівнях ієрархії. На кожному рівні ієрархії показники утворюють підмножини, кожне з яких відповідає показнику суміжного з ним більш високого рівня ієрархії. На кожному рівні ієрархії, починаючи із другого, можуть існувати показники, що не утворюють підмножин на більш низькому рівні («листи»). На першому рівні ієрархії перебуває підмножина з одного (узагальненого) показника. Кожному показнику приписується вага. Показники, що належать одній підмножині, утворюють нечітке відношення сумісності.

Пропоновані нечіткі оцінні моделі у формалізованому виді можуть бути представлені в такий спосіб:

$$\begin{cases} P^{(j)} = \{P_1^{(j)}, \dots, P_q^{(j)}, \dots, P_Q^{(j)}\}, j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q; \\ P_q^{(j)} = \{p_{q,1}^{(j)}, \dots, p_{q,i}^{(j)}, \dots, p_{q,n_q}^{(j)}\}, i = 1, \dots, n_q; \\ p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow P_s^{(j+1)} = \{p_{s,1}^{(j+1)}, \dots, p_{s,m}^{(j+1)}, \dots, p_{s,n_s}^{(j+1)}\}, j = 1, \dots, J-1; s = 1, \dots, S; m = 1, \dots, n_s; \\ p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow w_{q,i}^{(j)}, j = 1, \dots, J; \\ \tilde{R}_q^{(j)} = \{((p_{q,k}^{(j)} / p_{q,l}^{(j)}) / c_{q,kl}^{(j)})\}, j = 1, \dots, J; k, l \in \{1, \dots, n_q\}, \end{cases}$$

де J – число рівнів ієрархії моделі;

Q – число підмножин показчиків на j -м рівні ієрархії;

S – число підмножин показчиків на $(j+1)$ -му рівні ієрархії;

nq – число показчиків з підмножини $Pq^{(j)}$ ієрархії;

ns – число показчиків з підмножини $Ps^{(j)}$;

$Rq^{(j)}$ – нечітке відношення сумісності між показниками підмножини $Pq^{(j)}$;

$cq_{kl}^{(j)}$ – ступінь сумісності показників $pq^{(jk)}$ і $pq^{(jl)}$ з підмножини $Pq^{(j)}$.

На рис. 3.1 показаний фрагмент нечіткої оцінної моделі запропонованого типу.

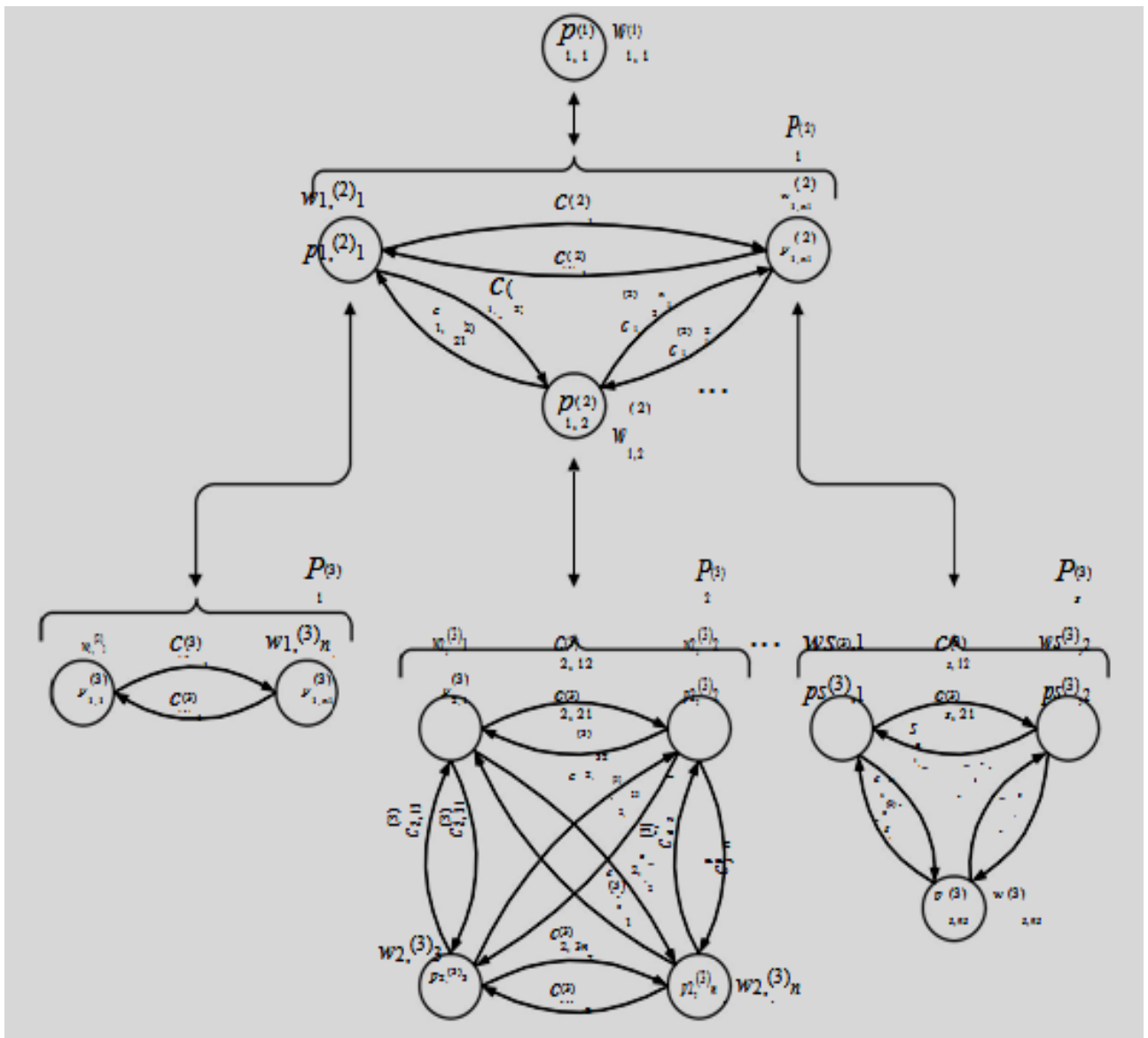


Рисунок 3.1 – Фрагмент нечіткої оцінної моделі

Пропоновані нечіткі оцінні моделі дозволяють урахувати всі сформовані вимоги, пропоновані до тем умовам оцінки й вибору рішень, які визначають предмет дослідження даної атестаційної роботи, і характеризуються наступними властивостями:

- мають гнучку ієрархічну структуру показників, що дозволяє звести завдання багатокритеріального оцінювання альтернатив до одного критерію або використовувати для вибору вектор показників;
- забезпечують можливість нечіткої вистави показників і відносин сумісності між ними, які можуть реалізувати різноособистий характер залежностей;
- дозволяють реалізувати методи прямого й зворотного нечіткого оцінювання;
- враховують різну значимість окремих показників за рахунок використання ваги показника;
- містять необхідний набір засобів формалізації для забезпечення програмної реалізації.

3.2 Аналіз методів прямого і зворотного нечіткого оцінювання

Пропонований метод прямого нечіткого оцінювання складається з таких основних етапів.

Розглянуто докладно етапи пропонованого методу прямого нечіткого оцінювання.

Етап 1. Побудова нечіткої оцінної моделі – для побудови нечіткої оцінної моделі пропонується наступний спосіб, що включає в себе:

- по-перше, завдання ієрархічної структури показників оцінки;
- по-друге, визначення ваг показників на кожному рівні ієрархії моделі;

– по-третє, завдання нечітких відносин сумісності між показниками на кожному рівні ієрархії моделі.

Для завдання ієрархічної структури показників оцінки вирішуються наступним чином:

- показники кожного рівня ієрархії групуються по підмножинах:

$$P^{(j)} = \{P_1^{(j)}, \dots, P_q^{(j)}, \dots, P_Q^{(j)}\}, \quad j = 1, \dots, J; \quad q = 1, \dots, Q,$$

де $P_q^{(j)}$ – q -та підмножина показників на j -м рівні ієрархії моделі;

J – число рівнів ієрархії моделі;

Q – число підмножин показників на j -м рівні ієрархії;

– для кожного показника $p_{q,i}^{(j)}$ на j -му рівні ієрархії моделі встановлюється відповідність із підмножиною показників $P_s^{(j+1)}$ $(j + 1)$ -го рівня ієрархії:

$$p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow P_s^{(j+1)} = \{p_{s,1}^{(j+1)}, \dots, p_{s,m}^{(j+1)}, \dots, p_{s,n_s}^{(j+1)}\}, \quad j = 1, \dots, J-1; \quad s = 1, \dots, S; \quad q = 1, \dots, Q; \quad m = 1, \dots, n_s,$$

Для завдання ієрархічної структури показників можуть бути використані відомі підходи й методи аналізу складних систем, включаючи методи експертного оцінювання. Варто відзначити, що відомі підходи також можуть бути використані й для визначення значимості (ваг) усіх показників на кожному рівні ієрархії моделі:

$$p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow w_{q,i}^{(j)}, \quad j = 1, \dots, J; \quad q = 1, \dots, Q;$$

$$i = 1, \dots, n_q, \quad w_{q,i}^{(j)} - \text{вага показника } p_{q,i}^{(j)}.$$

Особливий інтерес представляє завдання нечітких відносин сумісності між показниками, тому що надалі саме ці нечіткі відносини визначають операції згортки показників у нечіткій оцінній моделі. Ці нечіткі відносини задаються між показниками з підмножин $P_q^{(j)}$ на кожному рівні ієрархії моделі:

$$\tilde{R}_q^{(j)} = \{((p_{q,k}^{(j)}, p_{q,l}^{(j)}) / c_{q,kl}^{(j)})\}, \quad j = 1, \dots, J; \quad q = 1, \dots, Q; \quad k, l \in \{1, \dots, n_q\},$$

де $Rq(j)$ – нечітке відношення сумісності між показчиками підмножини $Pq(j)$;

$cq_{(jkl)}$ – ступінь сумісності показчиків $pq_{(jk)}$ і $pq_{(jl)}$.

В залежності від особливостей розв'язуваного завдання оцінки, сумісність може трактуватися як кореляція, взаємовплив приватних показчиків, одне-часова досяжність значень, що зіставляються приватних показчиків.

Етап 2. Визначення ступенів сумісності агрегуємих показчиків – для визначення ступенів сумісності приватних показчиків можуть використовуватися як прямі, так і непрямі способи. При використанні прямих способів значення ступенів сумісності $cq_{(jkl)} \in [0, 1]$ показчиків $pq_{(jk)}$ і $pq_{(jl)}$ ($k, l = 1, \dots, n$, де n – число показчиків) у нечіткім відношенні сумісності $Rq(j) = \{(pq_{(jk)}, pq_{(jl)}) / cq_{(jkl)}\}$ можуть бути задані безпосередньо самими експертами або отримані в результаті експериментів. Непрямі способи використовуються якщо складно безпосередньо оцінити ступені сумісності показчиків.

Крім того, значення $cq_{(jkl)}$ можуть бути зіп'явлені із критеріальними рівнями сумісності, упорядкованими в порядку зростання ступені сумісності, наприклад, у відповідності зі шкалою Харрінгтона, $C = \{NC - \text{«Низький рівень»}, LC - \text{«Рівень нижче середнього»}, MC - \text{«Середній рівень»}, HC - \text{«Рівень вище за середній»}, FC - \text{«Високий рівень»}\}$:

$$c_{k,l} \leftrightarrow c_u \in C = \{NC, LC, MC, HC, FC\}, \quad k, l = 1, \dots, n,$$

де u – індекс елемента множини C .

Нечіткі відносини сумісності між показчиками з підмножин $Pq(j)$ зручно представити у вигляді нечітких орієнтованих графів $Gq(j)$ з нечіткими вершинами й нечіткими дугами:

$$Gq(j) = (Pq(j), Rq(j)).$$

При цьому, тому що для всіх підмножин показчиків нечіткі відносини сумісності задаються аналогічним шляхом, то перейдемо надалі до наступного більш наочного позначення й опису нечіткого графа сумісності показчиків:

$$G = (P, R),$$

де $P = \{ (p_i / \mu_P(p_i)) \}$ – нечітка множина показників (вершин) $p_i \in P$,

$i \in \{1, \dots, n\}$;

$\mu_P(p_i) \in [0, 1]$ – ступінь приналежності до базової множини для показника p_i ;

$R = \{ (p_k, p_l) / c_{kl} \}$, $k, l = 1, \dots, n$, – нечітка множина орієнтованих дуг, причому, кожна дуга (p_k, p_l) зпівставлена відповідному до рівня сумісності $c_{kl} \in [0, 1]$ показників p_k і p_l .

Нечітке представлення показників дозволяє використовувати для них оцінки розвитий апарат теорії нечітких множин і чисел. Представлення ж ступеню сумісності між показниками на основі нечітких відносин сумісності дозволяє застосовувати для їхнього аналізу підходи й методи теорії нечітких відносин.

Для випадку, коли складно безпосередньо оцінити ступені сумісності показників, пропонується спосіб, заснований на попарнім порівнянні всіх показників оцінки й заповненні, так званих, таблиць сполучуваності між лінгвістичними значеннями цих показників.

3.3 Оцінка якості запропонованих алгоритмів

Розглянуто основні етапи на прикладі оцінки якості виробу з використанням сукупності показників $\{p_1$ – вартість, p_2 – функціональність, p_3 – ергономічність $\}$.

Число рядків і стовпців у таблицях сполучуваності для кожної пари показників відповідають лінгвістичним градаціям їх оцінок. На перетинанні рядка й стовпця ставиться символ «+», якщо можливо відповідна комбінація значень для показників, сумісних із зазначеним ступенем. У протилежному випадку

ставиться символ «–». Частка символів «+» у таблиці визначає ступінь сумісності одного показника з іншим.

У випадку великої кількості показників для більш точного виявлення ступені їх сумісності, слід збільшити число градацій на лінгвістичних шкалах.

На рис. 3.2 ступеням сумісності між показниками «Стоимость» і «Ергономічність» і між показниками «Ергономічність» і «Стоимость» зіставлені критеріальні рівні сумісності *МС* – «Середній рівень» і *НС* – «Рівень вище за середнє», відповідно.

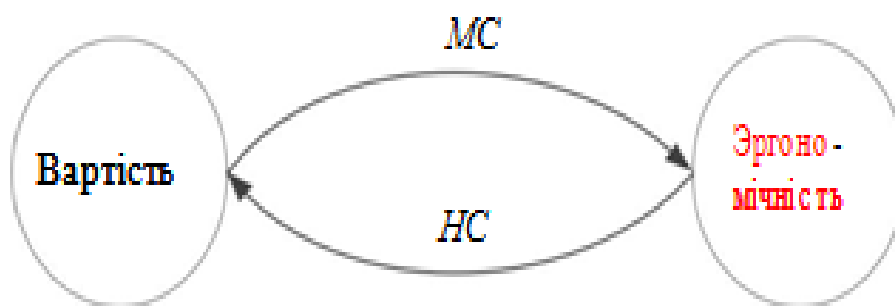


Рисунок 3.2 – Результат оцінки сумісності двох показників

Для оцінки сумісності n показників експертом заповнюються $n! / (n-2)!$ таблиць сполучуваності.

На рис. 3.3 показаний приклад побудованої нечіткої моделі оцінки якості виробу.

Етап 3. Обґрунтування набору операцій для агрегування показників – якщо сформульовані вимоги до розроблювальних нечітких оцінних моделей, а також до методів прямого й зворотного нечіткого оцінювання на їхній основі для підтримки вибору рішень. Ці вимоги багато в чому обумовлені вибором операцій згортки й способом їх зіставлення зі ступенем сумісності агрегуємих показників.

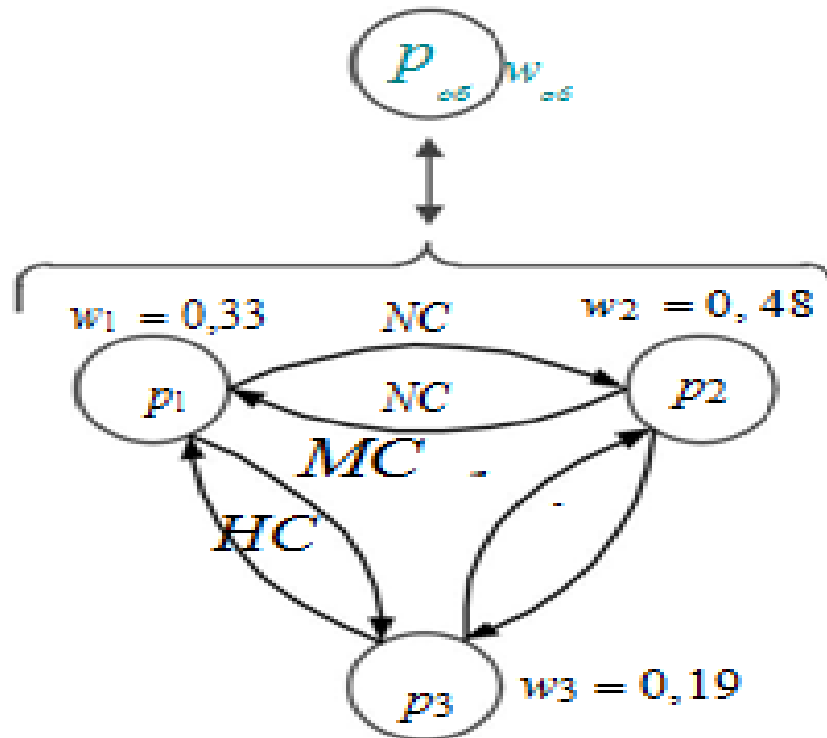


Рисунок 3.3– Приклад нечіткої моделі оцінки якості виробу

Також, виходячи зі сформованих вимог до мінімізації витрат ресурсів і часу для підготовки до проведення оцінки передбачається застосування нечітких аналітичних згорток замість Fise-Моделей. Це обумовлено, у тому числі, складністю налаштування й використання Fise-Моделей як при прямому, так і при зворотному нечіткому оцінюванні альтернатив.

При оцінці й виборі альтернатив рішень ЛПР може керуватися різними стратегіями, екстремальними варіантами яких є: досягнення найнижчого значення із усіх показників або досягнення максимального значення хоча б по одному з показників. Для двомісного випадку цим екстремальним стратегіям відповідають наступні операції згортки показників pk і pl : $\min(pk, pl)$ і $\max(pk, pl)$.

Виходячи із проведеного аналізу підходів до агрегування результатів багатокритеріального нечіткого оцінювання альтернатив рішень, операції згортки повинні задовольняти аксіомам, що були наведені вище.

Для визначення ступеня компромісності двомісних операцій згортки пропонується використовувати параметр $\theta \in [0, 1]$. При цьому, чим менше значення параметра θ , тем менше ступінь компромісності показників p_l і p_k .

Значення параметра θ обчислюється відповідно до виразу:

$$\theta = \frac{v - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}},$$

де v – значення «обсягу» під поверхнею функції, утвореної в результаті застосування відповідної до операції згортки;

$v_{\min}$ і $v_{\max}$ – результати операцій $\min(p_k, p_l)$ і $\max(p_k, p_l)$, відповідно.

Виконаний аналіз найпоширеніших двомісних операцій згортки, що володіють зазначеними вище властивостями [22], і для цих операцій визначені значення параметра θ . У таблиці 3.1 представлені операції згортки, що задовольняють аксіомам A1–A6 у порядку зростання значення параметра θ .

Таблиця 3.1 – Обґрунтований набір операцій згортки

№ п/п	Операция свертки показателей p_k и p_l	Значение параметра θ
1	$\min(p_k, p_l)$	0,0
2	$\text{med}(p_k, p_l; 0,25)$	0,16
3	$\text{med}(p_k, p_l; 0,5)$	0,5
4	$\text{med}(p_k, p_l; 0,75)$	0,84
5	$\max(p_k, p_l)$	1,0

Для екстремальних стратегій оцінювання значення параметра $\theta = 0$ відповідає операції згортки $\min(p_k, p_l)$, $\theta = 1$ – операції згортки $\max(p_k, p_l)$. Іншим операціям згортки відповідають значення параметра $0 < \theta < 1$.

На рис. 3.4 показаний приклад поверхні, утвореної в результаті застосування операції згортки $p_k + p_l$ для розрахунку значення параметра θ .

При побудові моделей оцінки можуть зустрічатися ситуації, коли для декількох (більш двох) показників ступеня їх сумісності (або критеріальні рівні їх сумісності) збігаються. Для одержання узагальненої оцінки потрібно послідовно попарно згорнути ці показники з використанням однієї й тієї ж операції. У цьому випадку на результат оцінки впливає наявність властивості асоціативності застосовуваної операції. Відповідно необхідно врахувати вимогу властивості асоціативності для операцій згортки.

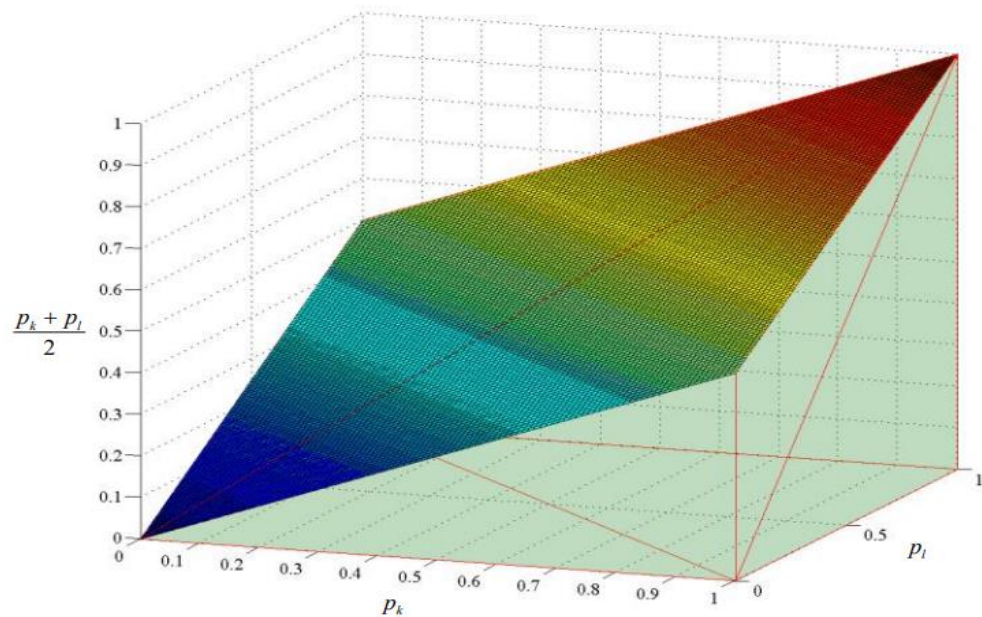


Рисунок 3.4 – Поверхня, утворена в результаті застосування згортки

Подальший аналіз використання асоціативних операцій згортки дозволяє зробити висновок про недоцільність використання операції $p_k \ p_l$ для пропонованих моделей через істотне збільшення $1 - p_k - p_l + 2 p_k p_l$ невизначеності при зворотному нечіткому оцінюванні згортки, операції, що залишилися, задовольняють усім пред'явленим вимогам і становлять набір операцій для зіставлення зі ступенями сумісності показників. На рис. 3.5 показані поверхні, утворені в результаті застосування цих згорток.

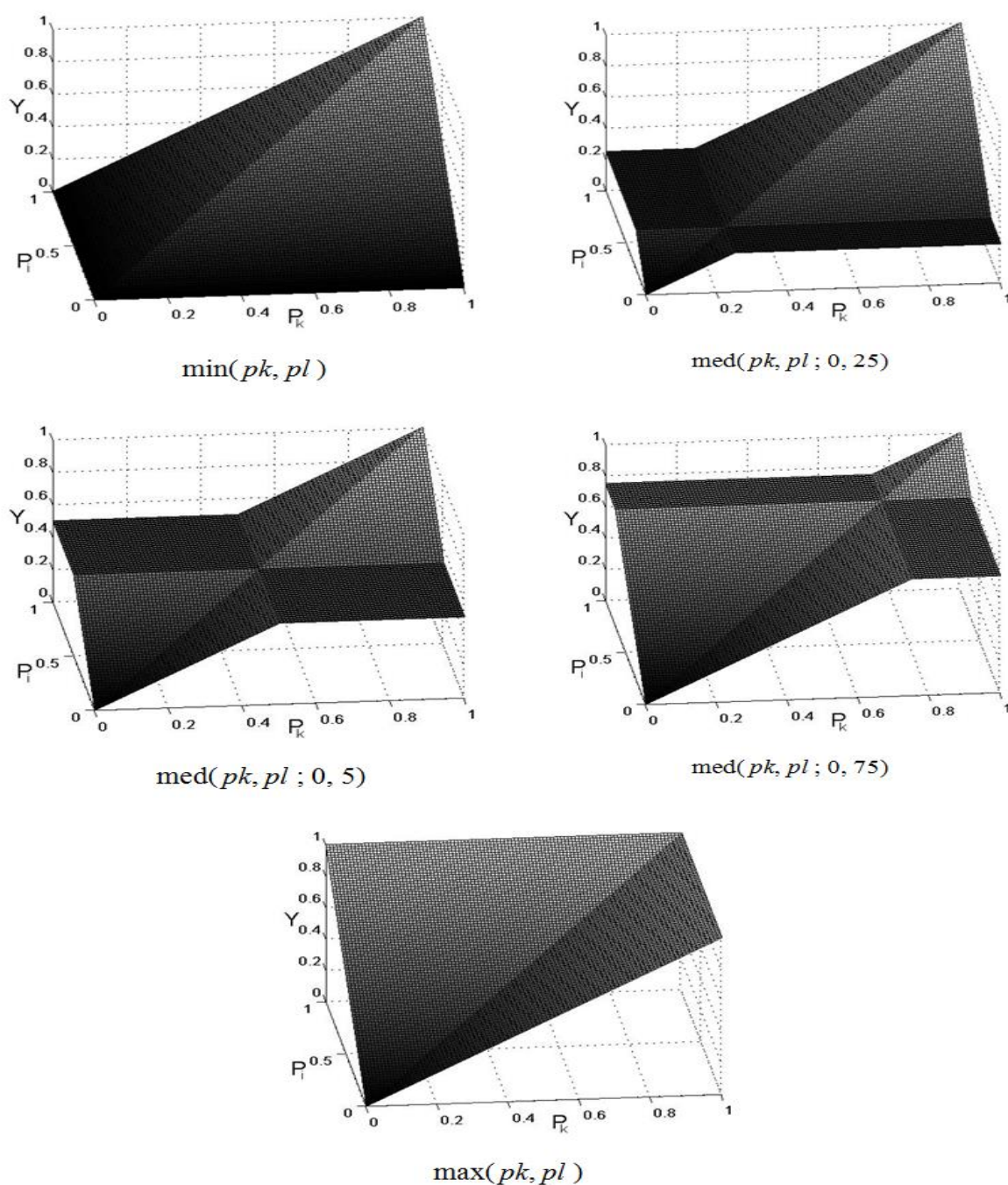


Рисунок 3.5 – Приклади обґрунтованих операцій згортки показників pl і pk

Етап 4. Співставлення ступенів сумісності агрегуємих показників з операціями їх згортки. Можна відзначити, що три операції з відібраних на попередньому етапі операцій згортки є, по суті, варіантами однієї й тієї ж параметризованої операції med з різними значеннями параметра. Ця особливість використовується для пропонуваного способу співставлення ступенів сумісності

показників з операціями їх згортки. Для співставлення ступенів сумісності агрегуюємих показників з операціями згортки, як правило, використовуються прямі способи безпосереднього встановлення такої відповідності.

Однак з обґрунтованого на попередньому етапі набору операцій можна зробити висновок, що вся множина компромісних стратегій забезпечує параметризоване сімейство операцій згорток типу:

$$\text{med}(pk, pl; \alpha), k, l \in \{1, \dots, n\}, \alpha \in [0, 1].$$

Значення параметра θ можуть використовуватися при визначенні значень параметра α цієї згортки й характеризувати ступені сумісності агрегуюємих показників pk і pl . Для ілюстрації цього на рис. 3.6 представлена залежність θ від α .

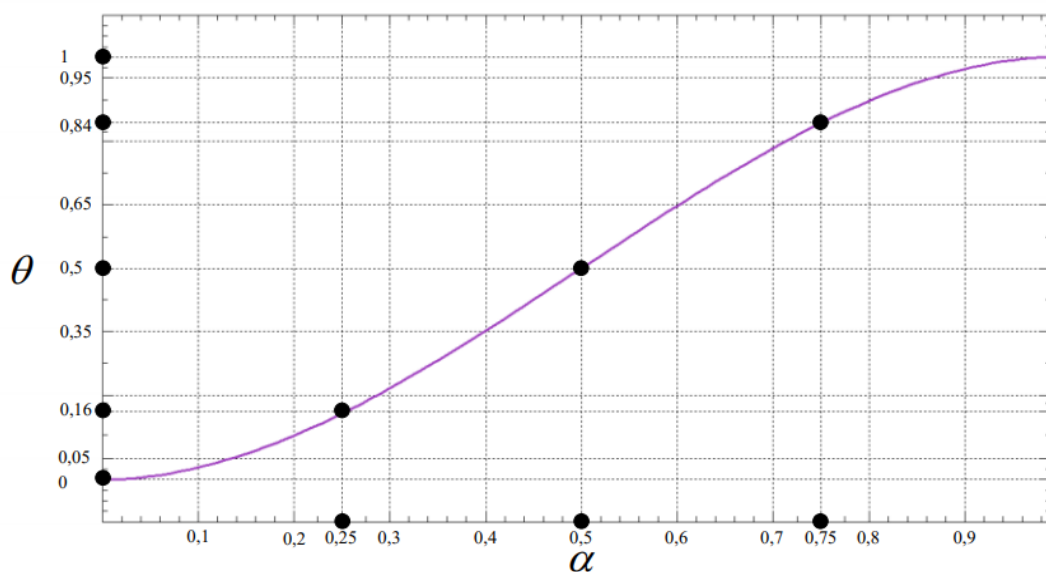


Рисунок 3.6 – Графік залежності θ від α для операції згортки $\text{med}(pk, pl; \alpha)$

Також значення параметра α операції згортки $\text{med}(pk, pl; \alpha)$ можуть бути зіставлені із критеріальними рівнями сумісності показників. На рис. 3.7 наведений приклад такого співставлення.

№ п/п	Операція згортки показників pk і pl	Критеріальні рівні сумісності показників pl і pk	
		Позначення	Опис
1	$\text{med}(pk, pl; 0, 0)$	NC	Низький рівень
2	$\text{med}(pk, pl; 0, 25)$	LC	Рівень нижче середнього
3	$\text{med}(pk, pl; 0, 5)$	MC	Середній рівень
4	$\text{med}(pk, pl; 0, 75)$	HC	Рівень вище за середнє
5	$\text{med}(pk, pl; 1, 0)$	FC	Високий рівень

Рисунок 3.7 – Зіставлення значень параметра α операції згортки $\text{med}(pk, pl; \alpha)$ із критеріальними рівнями сумісності показників

Етап 5. Завдання стратегії оцінювання – стратегія оцінювання визначається виходячи з переваг ЛПР, а також особливостей об'єктів оцінки й полягає в завданні: по-перше, порядку перегляду ступенів сумісності показників, що обумовлює порядок агрегування показників у моделі; по-друге, процедури перерахування ступенів сумісності показників при їхній послідовній згортці.

Можуть бути задані дві основні стратегії нечіткого оцінювання:

- від найменш сумісних показників до найбільш сумісних показників;
- від найбільш сумісних показників до найменш сумісних показників.

Причому, стратегія оцінювання може задаватися як для всієї моделі, так й окремо для кожного з підмножин показників.

Етап 6. Розбивка нечіткого відношення сумісності на класи сумісності й вибір відповідних їм операцій згортки – Нечітке відношення сумісності показників може бути розбите на так звані класи сумісності відносно критеріальних рівнів сумісності. На рис. 3.8 показане, що нечітке відношення

сумісності R відносно критеріального рівня NC – «Відсутність сумісності» може бути розділено два класи сумісності.

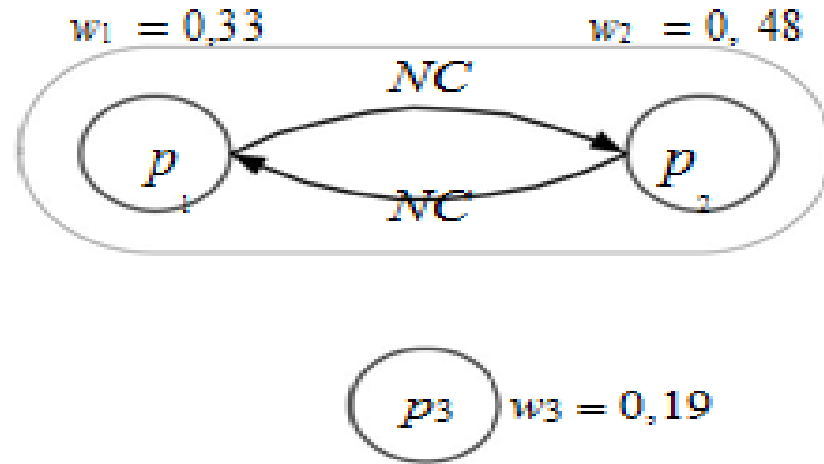


Рисунок 3.8– Класи сумісності нечіткого відношення сумісності

Для агрегування показників усередині одного класу сумісності показників використовується та сама операція, що відповідає заданому критеріальному рівню. І порядок згортки показників усередині одного класу не важливий.

Для розглянутого випадку показники p_1 і p_2 агрегуються з використанням операції $\text{med}(p_1, p_2; 0,0)$ або операції $\min(p_1, p_2)$.

Етап 7 – Модифікація нечіткого відношення сумісності – після згортки показників потрібно виконати модифікацію нечіткого відношення сумісності й зміна ступенів (рівнів) сумісності показників з обліком нового агрегованого показника $p_{1,2}$, вага якого буде дорівнювати сумі ваг агрегованих показників (див. рис. 3.9).

Етап 8. Формування структури згортки показників. Етапи 6 і 7 повторюються на всіх рівнях ієрархії нечіткої оцінної моделі, починаючи з нижнього, а на кожному рівні ієрархії – для всіх підмножин показників.

У підсумку формується структура згортки показників у наступному виді:

$$h(p_1, \dots, p_n) = hu(hy(\dots(ht(p_1, p_2), \dots), p_{n-1}), p_n).$$

де t, y, u – індекси операцій згортки, відповідні до різних рівнів погодженості показників.

Для розглянутого вище прикладу оцінки якості виробу згортка приватних показників прийме вид:

$$p_{об} = \text{med}((\min(p_1, p_2)), p_3; 0,75).$$

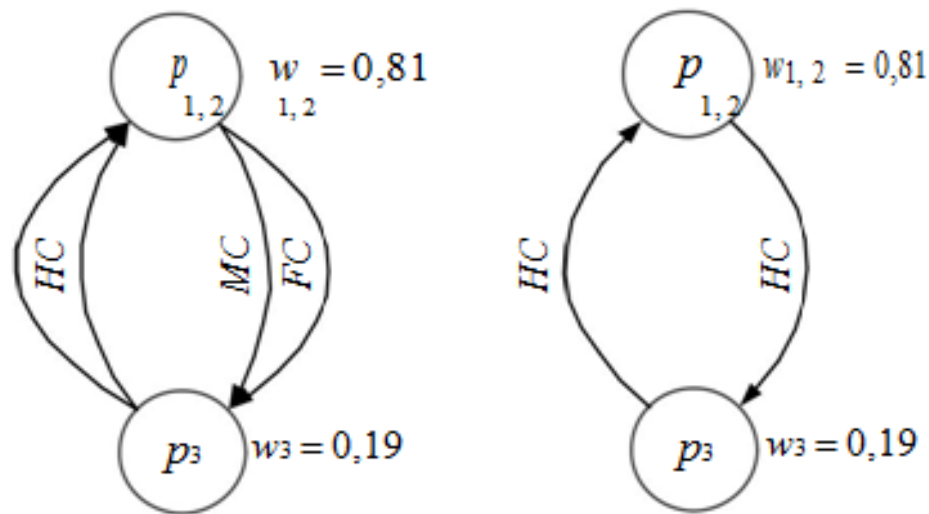


Рисунок 3.9 – Приклад модифікації нечіткого відношення сумісності

Етап 9. Завдання зважених значень показників і нечітке оцінювання альтернатив. На даному етапі $A = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_m\}$ для кожної з оцінюваних задаються значення всіх показників $\{\pi_1, \dots, \text{альтернатив } p_i, \dots, p_n\}$ ніж його рівня ієрархії моделі.

Нечітке значення показника p_i альтернативи a_j у загальному випадку може буде презентовано у вигляді нечіткої множини (числа) $p_i = \{(p_i / \mu_{\pi_i}(p_i))\}$, завданого на $p_i \in [0, 1]$ значеннями функції приналежності $\mu_{\pi_i}(p_i) \in [0, 1]$. В окремому випадку значення показника p_i альтернативи a_j може бути виставлено чітким значенням $p_i(a_j) \in [0, 1]$. Надалі, якщо не застережене інше, будемо використовувати чіткі значення показників.

Безпосередньо перед початком прямого нечіткого оцінювання потрібно врахувати різну важливість показників. Процедура обліку значимості показників виконується перед згорткою для кожної пари показників pk і pl у відповідності з наступними виразами:

$$\begin{cases} P^{(j)} = \{P_1^{(j)}, \dots, P_q^{(j)}, \dots, P_Q^{(j)}\}, j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q; \\ P_q^{(j)} = \{p_{q,1}^{(j)}, \dots, p_{q,i}^{(j)}, \dots, p_{q,n_q}^{(j)}\}, i = 1, \dots, n_q; \\ p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow P_s^{(j+1)} = \{p_{s,1}^{(j+1)}, \dots, p_{s,m}^{(j+1)}, \dots, p_{s,n_s}^{(j+1)}\}, j = 1, \dots, J-1; s = 1, \dots, S; m = 1, \dots, n_s; \\ p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow w_{q,i}^{(j)}, j = 1, \dots, J; \\ \tilde{R}_q^{(j)} = \{((p_{q,k}^{(j)}, p_{q,l}^{(j)}) / c_{q,kl}^{(j)})\}, j = 1, \dots, J; k, l \in \{1, \dots, n_q\}, \end{cases}$$

У випадку рівності ваг, оцінки за показниками не змінюються. Якщо вага одного показника менше ваги іншого, то відбувається коректування значення показника з меншою вагою, з урахуванням різниці між значеннями й вагами показників.

3.4 Алгоритм зворотного нечіткого оцінювання

Пропонований алгоритм зворотного оцінювання заснований на деревах рішень і дозволяє одержати інтервальну оцінку приватних показників при заданому значенні узагальненого показника. Метод являє собою «розгорнення» узагальненого показника на приватні показники. Основою методу є:

- побудована нечітка оцінна модель;
- задана стратегія оцінювання;
- структура згортки показників нечіткої оцінної моделі;
- значення узагальненого показника.

Якщо раніше не вирішувалося завдання прямого нечіткого оцінювання, то для реалізації методу зворотного нечіткого оцінювання попередньо потрібно виконати етапи 1–8 пропонованого алгоритму прямого нечіткого оцінювання. На додаток до цих етапів метод зворотного нечіткого оцінювання містить у собі наступні узагальнені етапи.

Побудова дерева рішень – дерево рішень будується по ярусах, починаючи з нульового. Нульовий ярус містить кореневу вершину дерева, що відповідає узагальненому показнику й позначеному значенню. Операція згортки, що використовує в якості вхідних значення показників p_k і p_l ($k, l = 1, \dots, n$) і що привела на етапі прямого оцінювання до одержання більш загального показника $p_{k, l}$, служить формою для продукування вершин наступного ярусу дерева рішень. Кожна вершина ярусу відповідає варіанту комбінації значень показників p_k і p_l (точних або інтервальних), що призводить до необхідного значення показника $p_{k, l}$. Число можливих комбінацій визначає число вершин ярусу й залежить, у тому числі, від властивостей операції згортки.

Правила побудови вузлів дерева для всіх операцій згортки показників з урахуванням умови, що нижня границя Lb оцінок шуканих значень часток показників $p_1', p_2', \dots, p_n'$ не повинна перевищувати значення $p_{об}$. А якщо ні, то зворотне завдання не буде мати рішень.

Процедура ітераційно повторюється до тих пір, поки всі листи дерева не будуть містити комбінації значень приватних показників.

Етап 2. Завдання значення узагальненого показника й обхід дерева рішень. Будь-який шлях від аркуша дерева до його кореня буде містити варіант поєднання значень (можливо інтервальних) часток показників, що приводить до заданому значенню узагальненого показника. Оскільки при згортку кожної пари показників у завданні прямого нечіткого оцінювання проводилася процедура обліку значимості цих показників по формулах, то слід провести зворотню операцію коректування.

Приклад дерева рішень, а також варіанти значень часток показників, що призводять до значення $p_{об} = 0,7$ представлено на рис. 3.9.

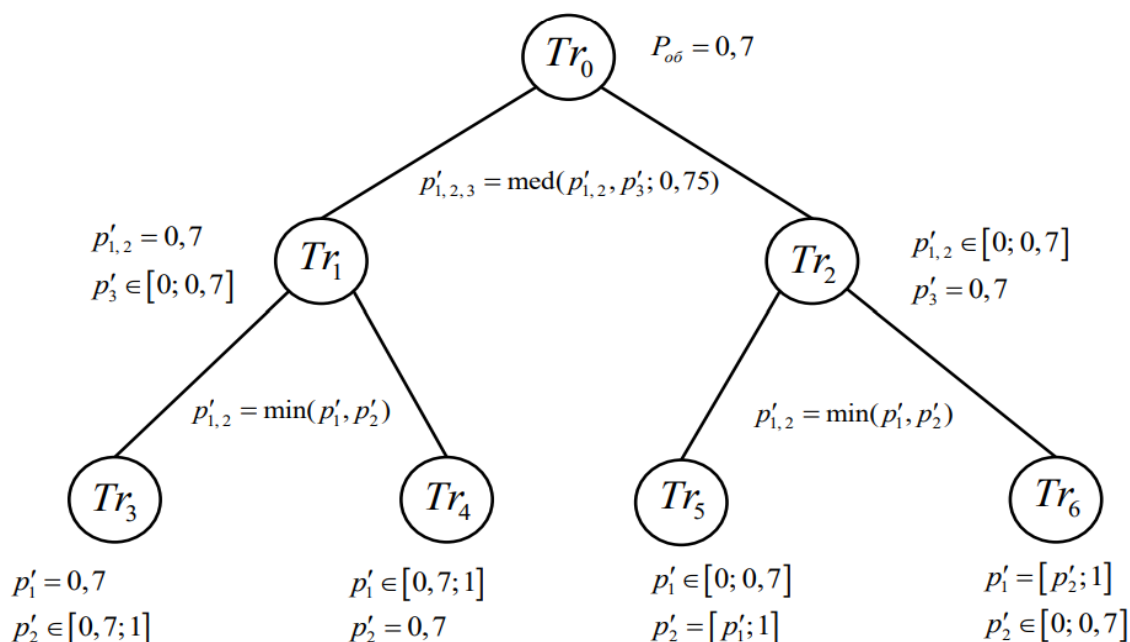


Рисунок 3.9– Приклад дерева рішень для зворотного нечіткого оцінювання

Спільне використання прямого й зворотного нечіткого оцінювання дозволяє розв'язати широкий спектр завдань оцінки й підтримки вибору рішень.

На основі сформованих вимог запропоновані нечіткі оцінні моделі для створення програмних засобів підтримки вибору рішень, що враховує ієрархічну структуру, сумісність і важливість оцінюваних показників.

Розроблені методи прямого й зворотного нечіткого оцінювання для програмної реалізації підтримки вибору рішень, орієнтовані на розширені можливості пропонованих нечітких оцінних моделей з урахуванням особистої сумісності й значимості оцінюваних показників, вибору операцій згортки й стратегій нечіткого оцінювання.

Запропонований метод прямого нечіткого оцінювання дозволяє для заданих значень вхідних показників одержувати підсумкову оцінку досліджуваного

об'єкта на основі побудованої оцінної моделі, залежно від обраної для даного об'єкта стратегії оцінювання.

Метод зворотного нечіткого оцінювання по запропонованій оцінній моделі складного досліджуваного об'єкта дозволяє за заданими значенням (діапазоном значень) вихідної оцінки моделі одержувати значення (діапазони значень) вхідних показників оцінки, керуючись обраної для даного об'єкту стратегії оцінювання.

Для реалізації створених методів прямого й зворотного нечіткого оцінювання запропонований спосіб побудови нечітких оцінних моделей; по-друге, розроблений спосіб визначення ступенів сумісності агрегування показників нечітких оцінних моделей; по-третє, виконане обґрунтування операцій згортки й запропонований спосіб їх зіставлення зі ступенями сумісності агрегованих показників для нечіткого оцінювання.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ПІДТРИМКИ ВИБОРУ РІШЕНЬ

4.1 Розробка програмного засобу підтримки вибору рішень

На основі аналізу підходів до створення програмних засобів підтримки вибору рішень із використанням нечіткого оцінювання, проведеного в першій главі, ухвалене рішення про використання інтегрованого середовища MS Visual Studio і об'єктно-орієнтованої мови програмування C# в якості засобів розробки програмного забезпечення підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання.

Життєвий цикл програмного забезпечення відповідно до етапів розробки на Visual Studio містить у собі стадії аналізу й планування вимог, проектування, реалізації й впровадження.

На стадії проектування, виходячи з особливостей розроблювальних програмних засобів, доцільно використовувати функціонально-модульний підхід. У його основу покладений принцип функціональної декомпозиції, відповідно до якого структура програмних засобів розбивається на функціональні підсистеми, які, в свою чергу, поділяються на підфункції, задачі й конкретні процедури.

Основним засобом моделювання функціональних вимог до проектованої системи в структурному підході є діаграми потоків даних (DFD – Data Flow Diagrams). Вони служать для побудови ієрархії функціональних компонентів (процесів), зв'язаних між собою потоками даних.

Модель програмних засобів у цьому випадку визначається як ієрархія діаграм потоків даних, що описують асинхронний процес перетворення інформації від її введення в систему до видачі користувачеві. Діаграми верхніх рівнів ієрархії (контекстні діаграми) визначають основні процеси або підсистеми із зовнішніми входами й виходами. Вони деталізуються за допомогою декомпозиції окремих функціональних підсистем доти, поки не буде досягнутий рівень, на якому процеси стають елементарними й деталізувати їх далі

неможливо. Контекстна діаграма, що відповідає даному (кінцевому) рівню декомпозиції називається повною.

На стадії формування вимог до програмного забезпечення будується контекстна діаграма верхнього рівня ієрархії, що визначає склад потоків даних. На рис. 4.1 представлена контекстна діаграма розроблювальних програмних засобів верхнього рівня, описані функціональні процеси, що реалізують інтерфейс взаємодії користувача із системою за допомогою визначення завдань оцінювання для вибору рішень, також задана підсистема, що реалізує пряме й зворотне нечітке оцінювання.

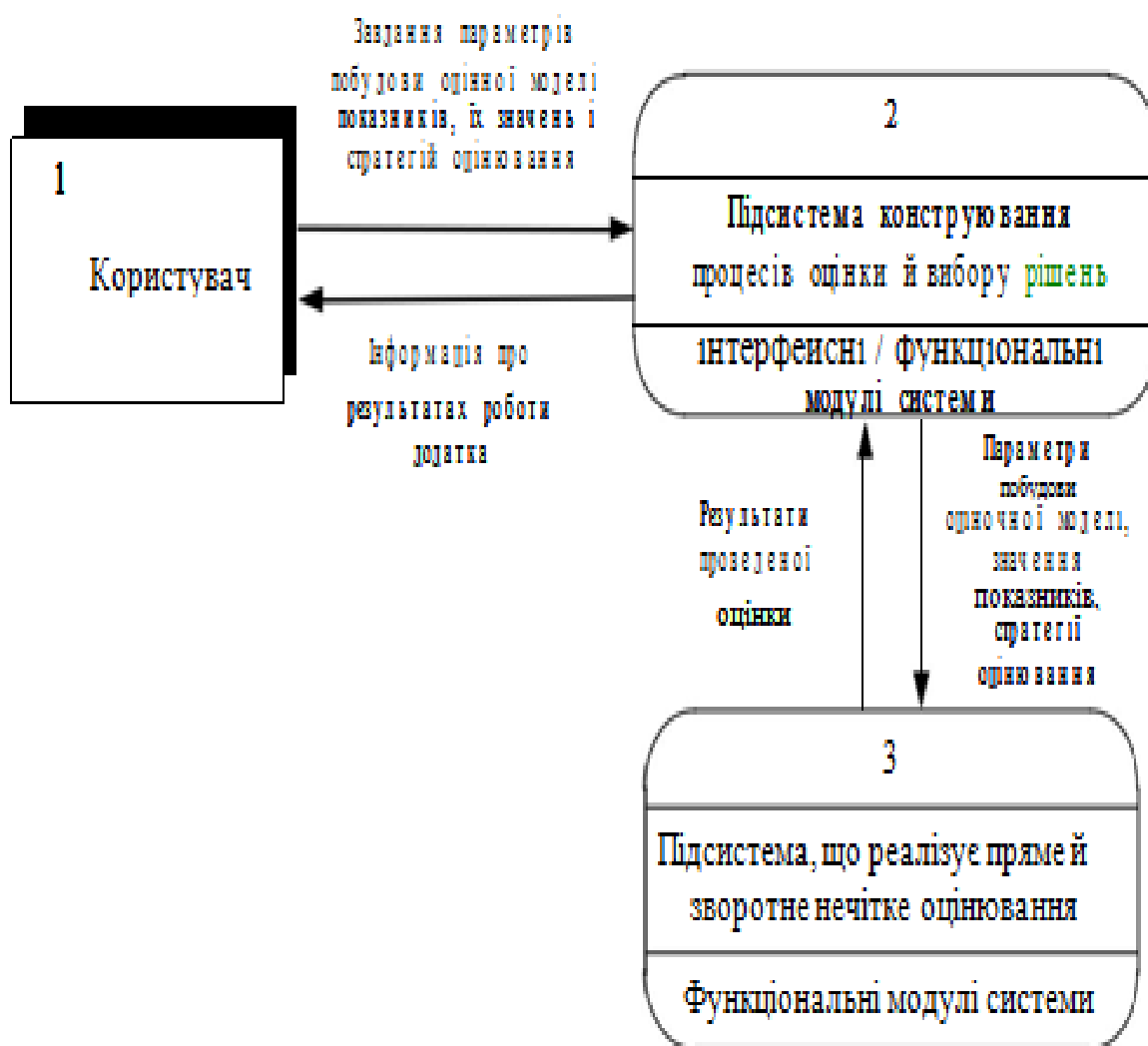


Рисунок 4.1 – Контекстна діаграма програмного засобу верхнього рівня

Повна контекстна діаграма розроблювальних програмних засобів представлена на рис. 4.2. Опис представлених на ній процесів приводиться далі.

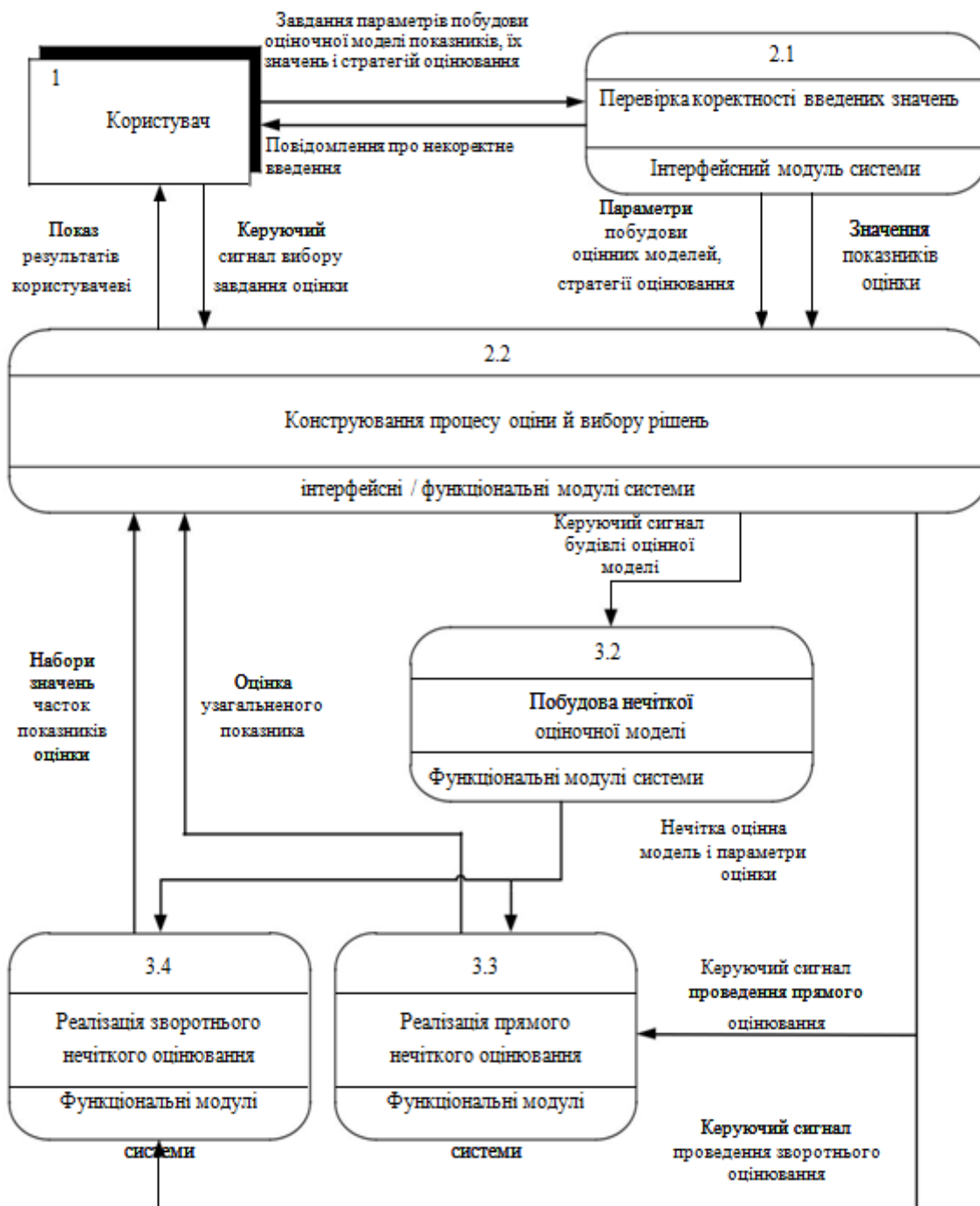


Рисунок 4.2 – Повна контекстна діаграма програмного засобу

Процес «Перевірка коректності введених значень» – вхідні параметри, що вводяться користувачем: ієрархічна структура зважених показників оцінки, параметри побудови нечіткої оцінної моделі, початкові значення оцінок за приватними показниками, а також значення оцінки узагальненого показника у випадку зворотного нечіткого оцінювання.

Вихідні параметри: повідомлення про некоректне введення або весь набір вхідних параметрів. Виконувані функції: перевірка правильності значень, що вводяться користувачем.

Процес «Конструювання процесу оцінки й вибору рішень» – вхідні параметри: коректно задані ієрархічна структура зважених показників оцінки, параметри побудови нечіткій оцінній моделі, значення оцінок за приватними показниками, значення оцінки узагальненого показника у випадку зворотного нечіткого оцінювання й керуючий сигнал вибору завдання оцінки.

Вихідні параметри: керуючий сигнал побудови непарної оцінної моделі, який ухвалює значення 1 якщо буде потреба побудови моделі оцінки із заданими параметрами або значення 0 у зворотному випадку, чи перебудовувати оцінну модель не потрібно. Сигнали до проведення прямого й зворотного нечіткого оцінювання й вихідні дані по оцінках.

Виконувані функції: керування процесом оцінки й вибору рішень за допомогою генерації відповідних керуючих сигналів.

Процес «Побудова нечіткої оцінної моделі складного об'єкта»: вхідні параметри: ієрархічна структура зв'язків зважених показників, параметри побудови оцінних моделей і сигнал будівлі нечіткої оцінної моделі. Вихідні параметри: нечітка оцінна модель, сукупність наборів параметрів.

Виконувані функції: побудова нечіткої оцінної моделі по введеним користувачем параметрам.

Процес «Реалізація прямого нечіткого оцінювання»: вхідні параметри: нечітка оцінна модель і параметри оцінки, початкові значення показників сигналу, що управляє, проведення прямого оцінювання. Вихідні параметри:

оцінка узагальненого показника. Виконувані функції: підстановка приватних значень показників оцінки в нечітку оцінну модель і обчислення оцінки узагальненого показника по заданим параметрах оцінювання.

Процес «Реалізація зворотного нечіткого оцінювання» – вхідні параметри: нечітка оцінна модель і параметри оцінки, узагальнена оцінка по показниках сигналу, що управляє, проведення зворотного оцінювання. Вихідні параметри: набори значень приватних показників оцінки. Виконувані функції: підстановка значення узагальненого показника оцінки в нечітку оцінну модель і обчислення наборів часток показників шляхом побудови дерев рішень по заданих параметрах оцінювання.

На рис. 4.3 представлена модульна структура розроблювальних програмних засобів підтримки вибору рішень. Розглянемо склад цих програмних засобів і призначення окремих модулів.

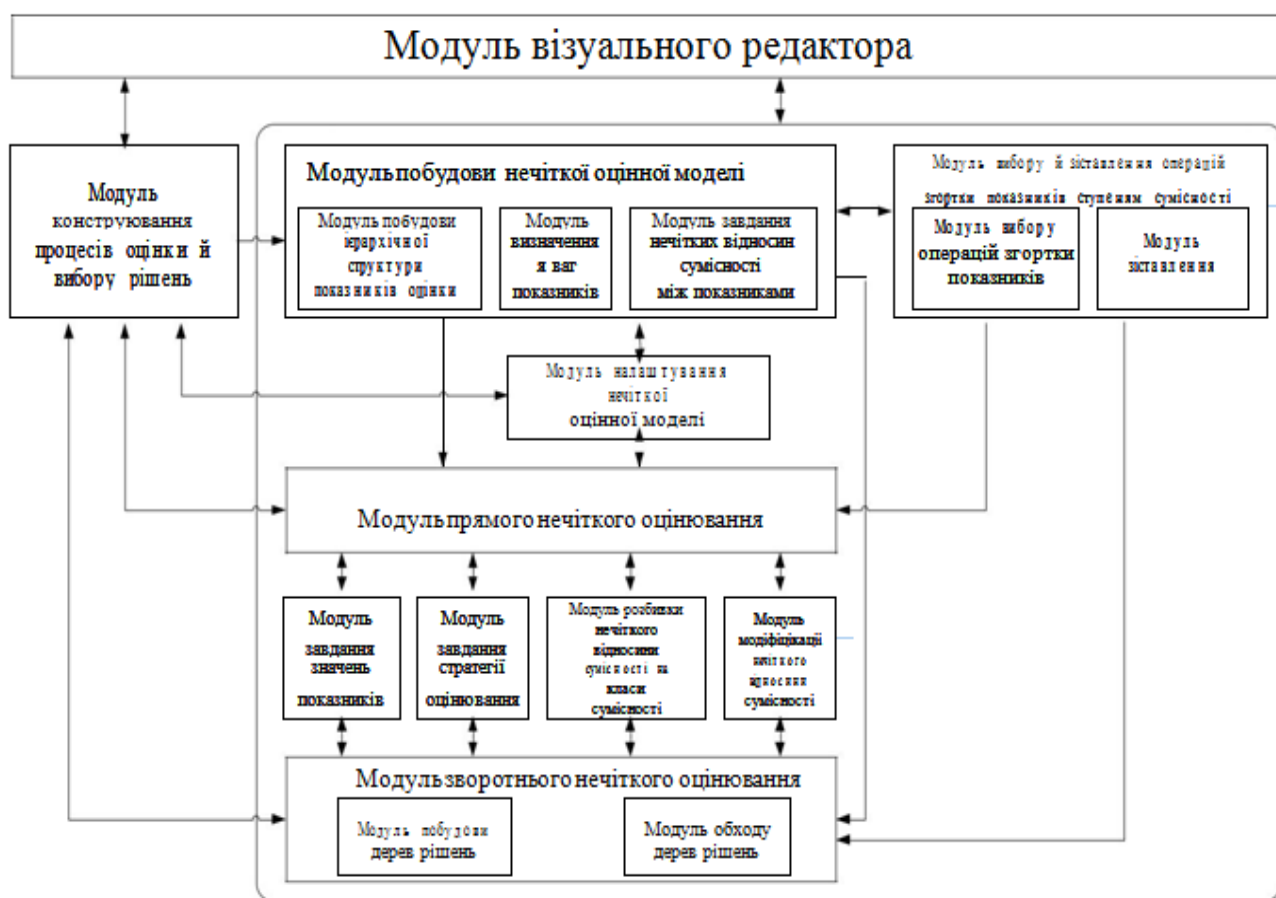


Рисунок 4.3 – Модульна структура розробленого програмного засобу

Таким чином, повна контекстна діаграма відбиває функціональну структуру процесів, що протікають у розроблювальних програмних засобах підтримки вибору рішень на основі розроблених раніше алгоритмів прямого й зворотного нечіткого оцінювання.

Для виконання стадій проектування й реалізації проводиться деталізація структури й призначення розглянутих модулів програмних засобів, виділення інтерфейсних й функціональних частин розроблювальної системи.

4.2 Опис розроблених модулів програмного засобу

Модуль візуального редактора містить класи й бібліотеки графічного інтерфейсу розроблювального додатка, відповідальні за коректність, що вводяться даних, запобігання введення невірної інформації, а також надання користувачеві інформації в зручному й доступному виді.

Модуль конструювання процесів оцінки й вибору рішень управляє роботою додатка. Залежно від введених користувачем даних і початкового завдання оцінювання, модуль виробляє керуючі сигнали по будівництву нечіткої оцінної моделі, проведення прямого й/або зворотного нечіткого оцінювання.

Модуль побудови нечіткої оцінної моделі безпосередньо відповідає за створення моделі оцінки за допомогою вхідних у нього модулів побудови ієрархічної структури показників оцінки, визначення ваг показників і модуля завдання нечітких відносин сумісності між показниками.

Модуль вибору й зіставлення операцій згортки показників ступеням сумісності містить модуль вибору операцій згортки, відповідальний за визначення набору операцій над нечіткими множинами, і модуль зіставлення, що співвідносить операції з обраного набору відповідним ступеням сумісності показників, що й обчислює при необхідності параметри даних операцій.

Модулі прямого й зворотного нечіткого оцінювання по побудованій оцінній моделі, відповідно, забезпечують пряме й зворотне нечітке оцінювання.

Модуль зворотного нечіткого оцінювання містить у собі модулі побудови дерев рішень і обходу дерев рішень. В процесах як прямого, так і зворотного нечіткого оцінювання бере участь також група допоміжних модулів: завдання значень показників; завдання стратегії оцінювання; розбивки нечіткого відношення сумісності на класи сумісності; модифікації нечіткого відношення сумісності.

Модуль налаштування нечіткої оцінної моделі реалізує процедури налаштування моделі на конкретну предметну область.

Розглянуті модулі, за винятком візуального редактора й модуля конструювання процесів оцінки й вибору рішень, утворюють модульну структуру розроблювальних програмних засобів. Реалізовані в якості бібліотек функцій, вони можуть бути вбудовані в спеціалізовані програмні середовища для рішення завдань підтримки вибору рішень.

Роль «Експерт» приділяється для користувачів, що є експертами в предметній області оцінюваного складного об'єкта. Експерт бере участь в визначенні і розподілі вагових коефіцієнтів показників об'єкта або прямо, або через виконання попарних порівнянь. Також експертом заповнюються таблиці сполучуваності для подальшого визначення ступенів сумісності. Експертові також дозволяється заповнювати матриці сумісності прямо.

Роль «Користувач» приділяється будь-якому користувачеві програмних засобів (у тому числі й експертові) і полягає безпосередньо в роботі із програмними засобами з метою підтримки вибору рішень.

Для зручності розробки програмних засобів процес взаємодії користувача із проектною програмою залежно від його ролі надається на рис. 4.4 у вигляді діаграми варіантів використання.



Рисунок 4.4– Діаграма варіантів використання

Користувацький інтерфейс здебільшого реалізується засобами модуля візуального редактора, однак, окремі інтерфейсні елементи реалізовані за допомогою інших модулів, так модуль побудови ієрархічної структури показників оцінки містить засобу побудови, зміни й проробки структури показників оцінки альтернатив рішень.

На рис. 4.5 представлена діаграма варіантів використання, описуюча процес взаємодії користувача з розроблювальними програмними засобами при завданні ієрархічної структури показників оцінювання.

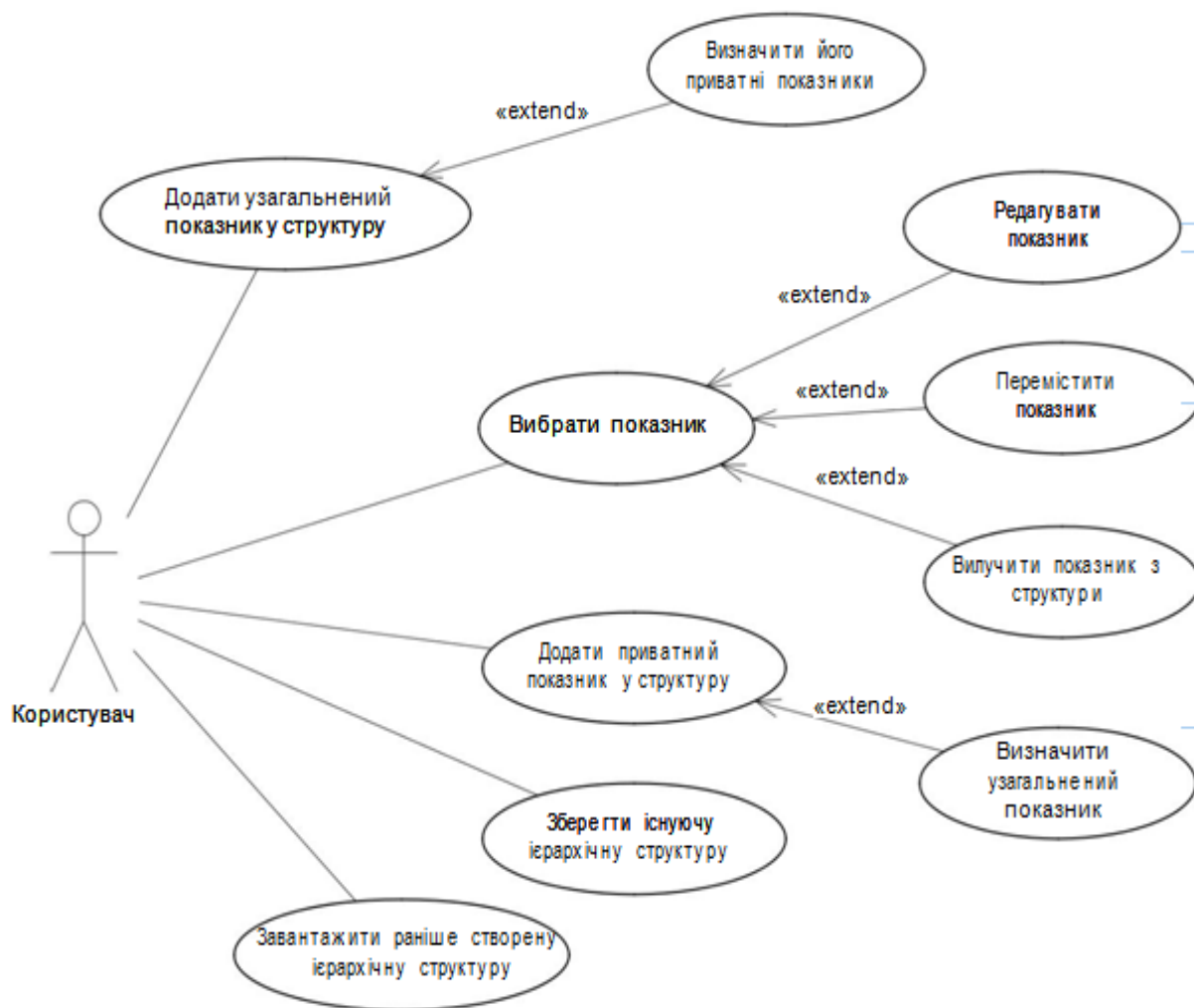


Рисунок 4.5— Діаграма варіантів використання модуля візуального редактора

При роботі з модулем побудови ієрархічної структури показників оцінки користувачеві повинні бути доступні функції вибору й додавання показників в ієрархічну структуру. Обраний показник може бути відредагований, переміщений або вилучений.

Крім редагування окремих показників, повинні бути доступні функції збереження ієрархічної структури показників нечіткої оцінної моделі й завантаження створеної раніше ієрархічної структури.

В проєктованих програмних засобах не використовуються бази даних для зберігання інформації про структуру й зв'язки показників оцінки, через недоцільність їх застосування, пов'язаної з унікальністю ієрархічної структури, ваг, ступенів сумісності, наборів операцій згортки, значень показників оцінки й

стратегій оцінювання розглянутих альтернатив рішень. Виходячи з даної особливості, ухвалені рішення зберігати дані про нечітку оціночної моделі і її ієрархічній структурі показників оцінки, у складно структурованих XML файлах.

Відповідно до етапів розробки програм засобами об'єктно-орієнтованої мови C#, на стадії реалізації доцільно згрупувати множина розроблювальних класів у компоненти більш високого рівня. В UML такий механізм угруповання носить назву пакетів (package) і відбивається в діаграмі пакетів (package diagram), що тримає угруповання класів по пакетах і залежності між пакетами.

Діаграма пакетів, що відбиває множину розроблювальних класів програмних засобів підтримки вибору рішень, наведено на рис. 4.6.

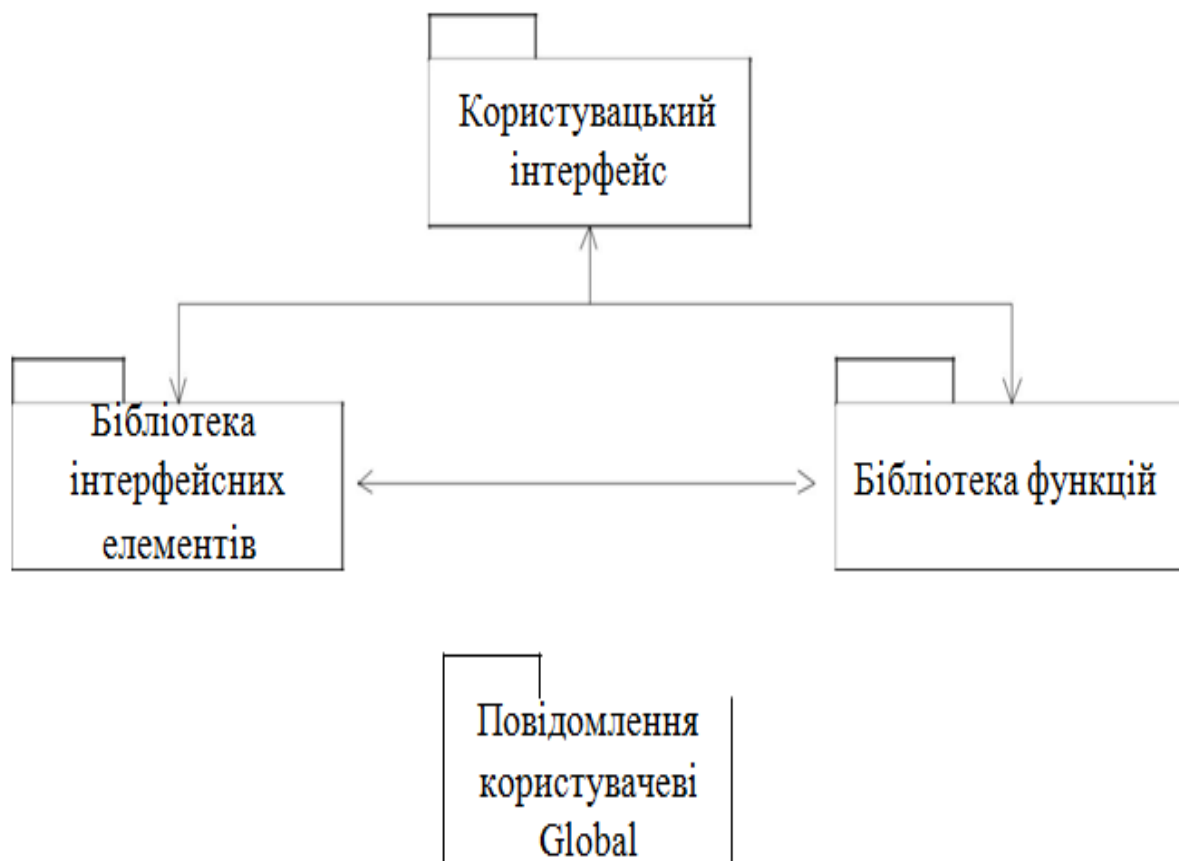


Рисунок 4.6– Діаграма пакетів

У таблиці 4.1 наведена структура кожного пакета.

Таблиця 4.1 – Структура пакетів

Назва пакета	Вміст
Користувачський інтерфейс	Mainform.cs – основний (батьківський) клас, що викликає об'єкти керування, містить структуру класів користувачького інтерфейсу.
Бібліотека інтерфейсних елементів	Mydatagridview – користувачський елемент керування, клас що представляє таблицю. Mysplitcontainer – користувачський елемент керування, клас роздільник, що представляє, вікна на 2 під-вікна. Addcolumnform.cs – клас представляє діалог (форму) додавання нового показчика. Hierarchicalstructure.cs – клас містить множина процедур обробки, внесення змін у вікно ієрархії набору показчиків. Filltablesfromds.cs – клас, що містить процедури обробки елемента керування вкладок, заповнення таблиць даними. Fuzzyoperations.cs – клас, що містить набори операцій згорток і процедури роботи з ними при прямому й зворотному нечіткому оцінюванні, реалізує процедури зіставлення наборів операцій сумісності. Fuzzymodel.cs – клас, що містить процедуру побудови оцінної моделі.

Продовження табл. 4.1

Бібліотека функцій	Fuzzydirect.cs – клас, що містить процедуру прямого нечіткого оцінювання. Fuzzyback.cs – клас, що містить процедуру зворотного нечіткого оцінювання. Graphworker.cs – клас, що містить процедури обробки непарних графів сумісностей показників оцінки (у тому реалізуються процедури виділення підграфів і модифікація нечіткого відношення сумісності). Expertsdata.cs – клас, що містить процедури обробки експертних даних (заповнення таблиць сполучуваності, визначення ваг і оцінок показників) і узгодження експертних думок. Fuzzymanager.cs – клас, що містить процедури конструювання процесу оцінки й вибору рішень.
Повідомлення користувачеві Global	Usermessages.cs – клас містить користувацькі повідомлення, повідомлення про помилки.

Пакет «Користувацький інтерфейс» містить класи, що описують структуру користувацького інтерфейсу. У пакеті «Бібліотека інтерфейсних елементів» утримуються класи, що описують елементи інтерфейсу. У пакеті «Бібліотека функцій» утримується набір класів, що здійснюють керування даними, і класи, що описують окремі структурні частини.

Усі основні функції даного набору класів додатково реалізовані у вигляді динамічних бібліотек, що підключаються, з метою рішення завдань підтримки вибору рішень у різних предметних областях і забезпечення можливості гнучкого

їхнього вбудовування в існуючі й перспективні системи підтримки вибору рішень і автоматизовані інформаційні системи.

Пакет «Повідомлення користувача Global» зв'язаний з усіма іншими пакетами й визначає можливі повідомлення, повідомлення, обробку винятків у випадку помилки.

4.3 Використання алгоритмів підтримки вибору рішень

Розроблені наступні алгоритми підтримки вибору рішень, що ґрунтуються на запропонованих методах прямого й зворотного нечіткого оцінювання, а також на їхній комбінації для:

- оцінювання альтернатив рішень;
- порівняльної оцінки альтернатив рішень;
- визначення стратегій нечіткого оцінювання альтернатив рішень;
- визначення варіантів рішень (значень або діапазонів значень приватних показників) за заданим значенням (діапазону значень) узагальненого показника;
- пошуку найкращих рішень (значень або діапазонів значень приватних показників), що забезпечують необхідне значення або діапазон значень узагальненого показника;
- по-перше, з фіксацією значень або діапазонів значень підмножини часток показників;
- по-друге, без фіксації значень або діапазонів значень підмножини часток показників.

Алгоритм оцінки альтернатив рішень – алгоритм призначений для оцінки складних об'єктів і альтернатив рішень. Алгоритм представлено на рис. 4.7 у вигляді діаграми діяльності.

Кроки виконання алгоритму відповідають основним етапам запропонованого методу прямого нечіткого оцінювання, на рис. 4.7 вони співвіднесені з відповідними модулями розроблених програмних засобів підтримки вибору рішень.

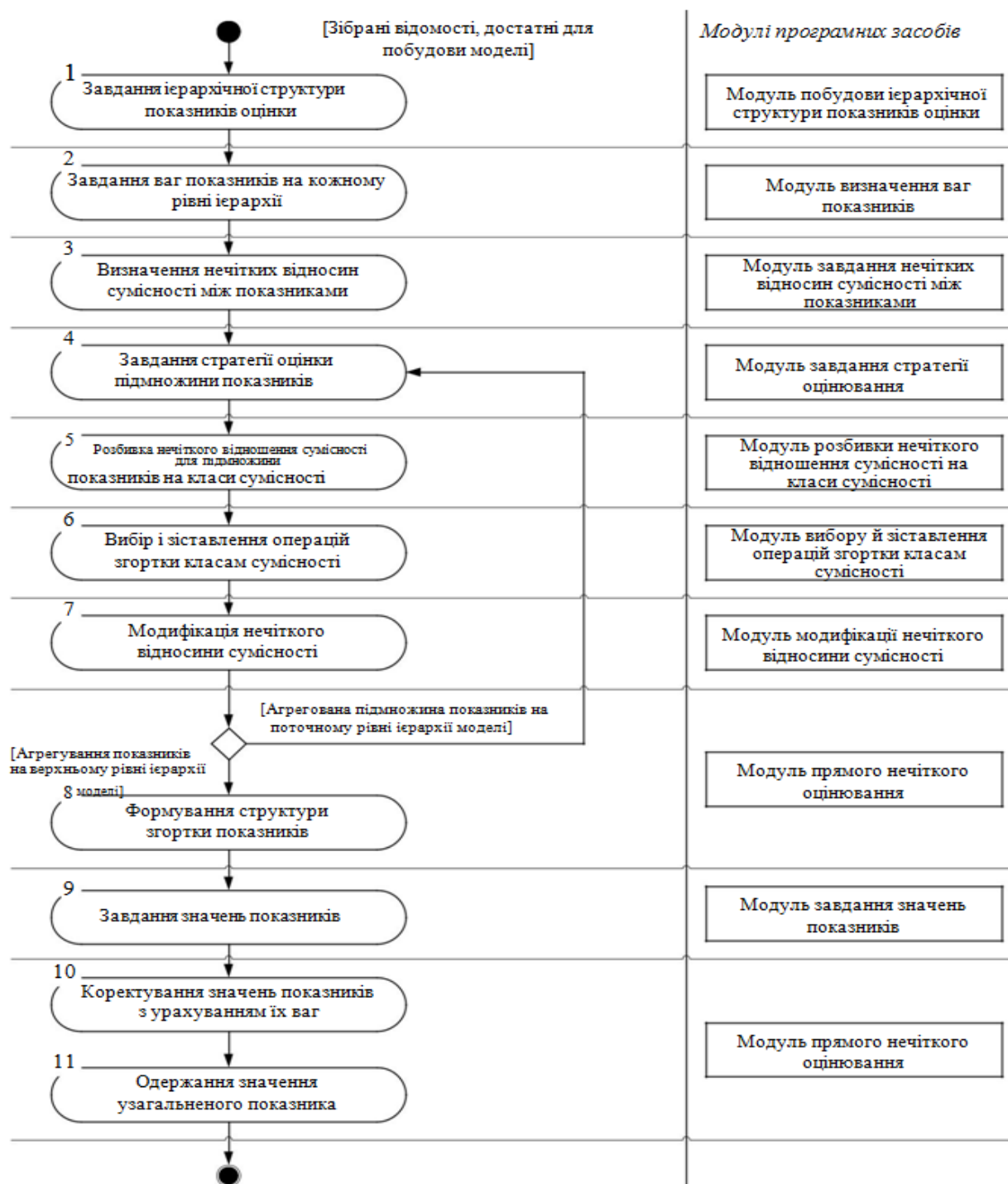


Рисунок 4.7 – Алгоритм оцінки альтернатив рішень

На кроках 1–3 алгоритму виконується побудова нечіткої оцінної моделі. Потім відповідно до методу прямого нечіткого оцінювання на кроках 4–7 для всіх підмножин показників кожного рівня ієрархії моделі вирішуються наступні завдання:

- завдання стратегії оцінювання підмножини показників;
- розбивка нечіткого відношення сумісності на класи сумісності;
- вибір і зіставлення операцій згортки класам сумісності;
- модифікація нечіткого відношення сумісності.

Після того як буде побудована структура згортки показників (крок 8) задаються значення приватних показників (крок 9). У відповідності зі структурою та обраною стратегією оцінювання здійснюється послідовне (від нижнього рівня до верхнього рівня ієрархії моделі) агрегування показників з корекцією їх значень (крок 10). У результаті виконання алгоритму на кроці 11 формується значення узагальненого показника.

4.4 Реалізація порівняльної оцінки альтернатив рішень

Даний алгоритм призначено для порівняльної оцінки декількох альтернатив рішень. Алгоритм представлено на рис. 4.7 у вигляді діаграми діяльності. Кроки 1–8 даного алгоритму виконуються аналогічно крокам алгоритму оцінки альтернатив рішень. Потім для кожної оцінюваної альтернативи виконується завдання, коректування значень показників, а також отримання значення узагальненого показника (кроки 9–11 алгоритму).

Після одержання значень узагальненого показника для всіх альтернатив (у модулі конструювання процесів оцінки й вибору рішень) виконується їхня порівняльна оцінка.

Алгоритм визначення стратегій нечіткого оцінювання альтернатив рішень (див. рис. 4.8, 4.9) призначений для визначення комбінації стратегій нечіткого оцінювання альтернатив рішень при наявності фіксованого значення узагальненого показника й відповідних йому значень приватних показників оцінки. Завдання визначення стратегії вирішується для вже сформованої структури оцінювання в припущенні, що стратегія може бути як загальною для всієї моделі, так і бути індивідуально заданою для кожного з підмножин показників на кожному рівні ієрархії моделі.

На кроці 1 алгоритму задаються фіксовані значення часток і узагальнених показників. Потім на кроці 2 задається поточна комбінація стратегій нечіткого оцінювання для всіх підмножин показників на кожному рівні ієрархії моделі оцінки. На кроках 3–5 виконується формування структур згортки для поточного комбінації стратегій нечіткого оцінювання, коректування значень показників з обліком їх ваг і обчислення поточного значення узагальненого показника.

На кроках 6 і 7 за результатами порівняння поточного й фіксованого значення узагальненого показника здійснюється фіксація комбінації стратегій нечіткого оцінювання, у випадку якщо ступінь відмінності між цими значеннями не перевищує встановленого порога.

В підсумку із усіх комбінацій стратегій нечіткого оцінювання, що були запам'ятовано, вибирається те, яке характеризується мінімальною відмінністю відповідного йому й фіксованого значення узагальненого показника.

На етапі 2 методики для кожної пари показників з окремих підмножин побудовані таблиці сполучуваності, за результатами аналізу яких певні рівні сумісності показників $C = \{1, 2, \dots, 6\}$.

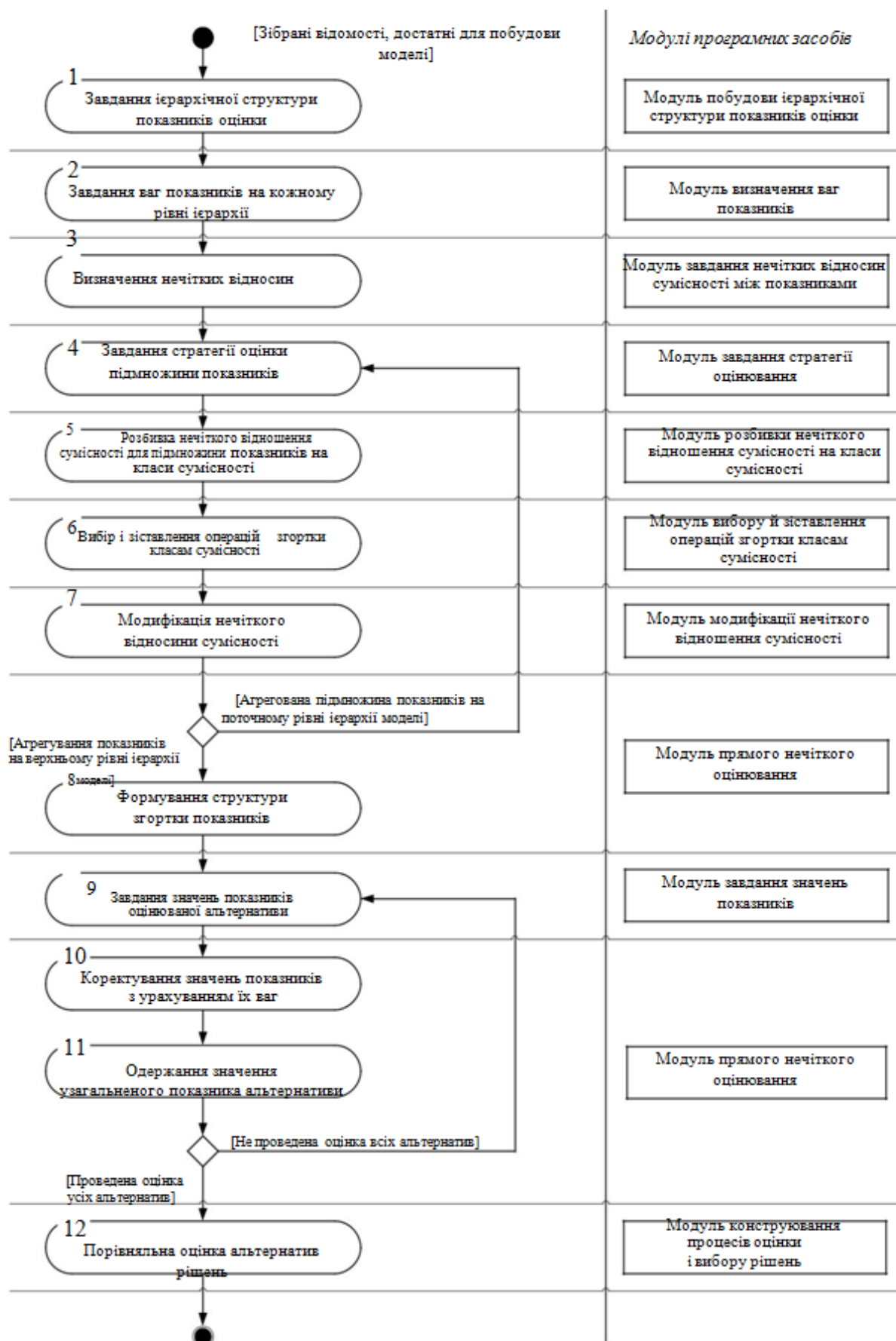


Рисунок 4.8— Алгоритм порівняльної оцінки альтернатив рішень

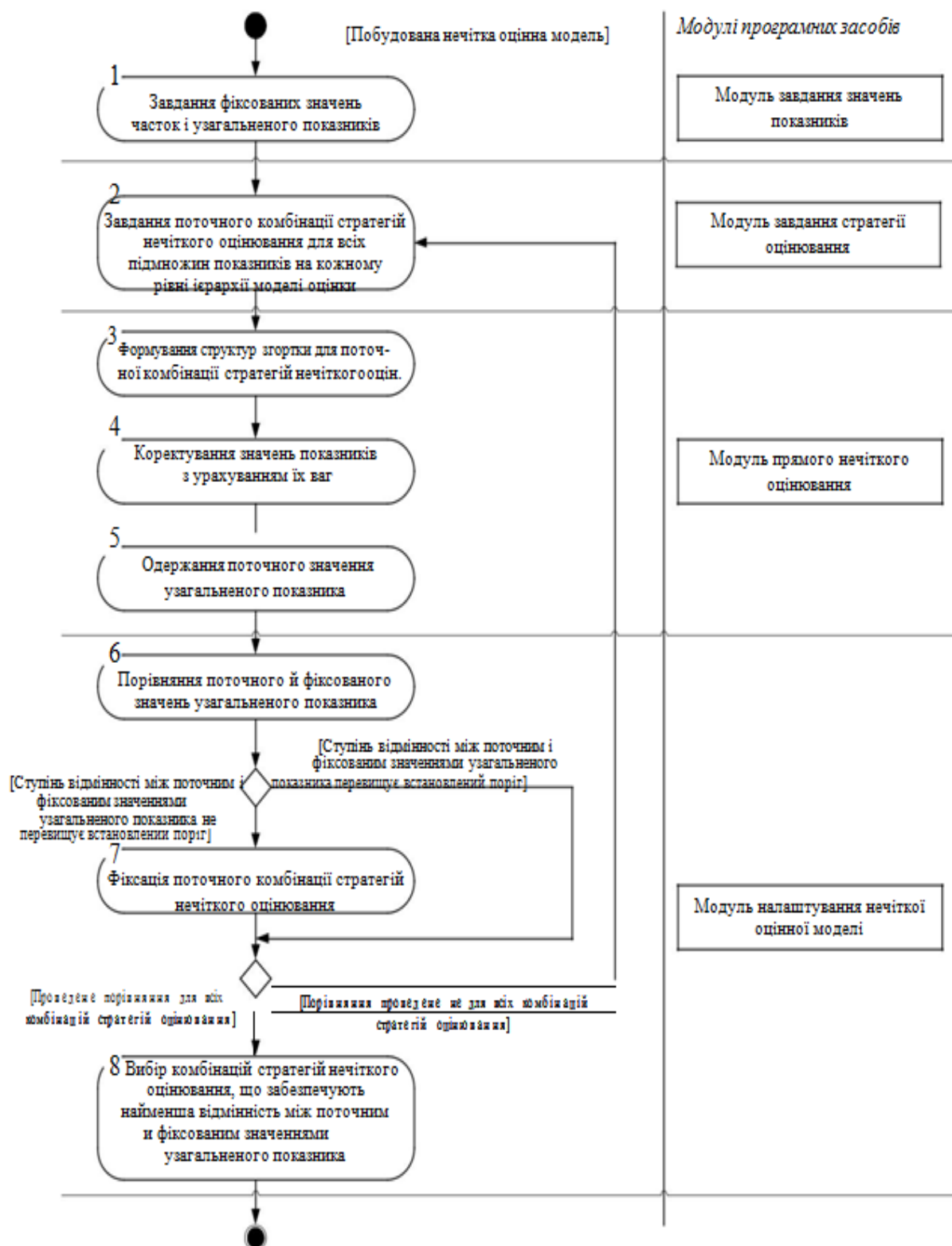


Рисунок 4.9 – Алгоритм визначення стратегій нечіткого оцінювання альтернатив

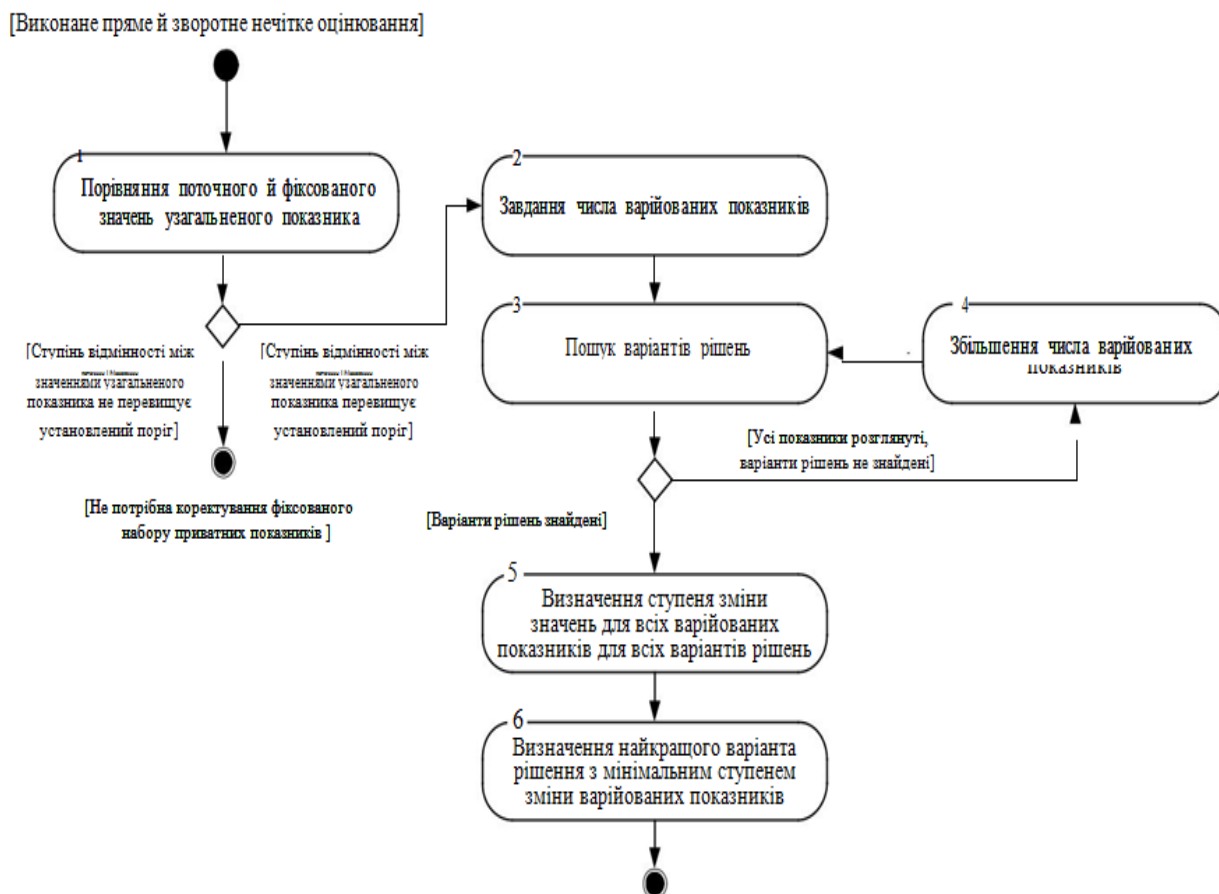


Рисунок 4.10 – Алгоритм визначення найкращих рішень без фіксації підмножини

Цим рівням сумісності показників співставлені наступні операції згортки:

$$h_1 (pk, pl) = \min(pk, pl),$$

$$h_4 (pk, pl) = \text{med}(pk, pl; 0,56),$$

$$h_2 (pk, pl) = \text{med}(pk, pl; 0,29),$$

$$h_5 (pk, pl) = \text{med}(pk, pl; 0,71),$$

$$h_3 (pk, pl) = \text{med}(pk, pl; 0,43),$$

$$h_6 (pk, pl) = \max(pk, pl).$$

Спосіб визначення параметра α в операціях згортки виду

$$h(pk, pl) = \text{med}(pk, pl; \alpha),$$

для відповідних ступенів сумісності. На рис. 4.11 проілюстрований вибір значень параметра для операції згортки $h(pk, pl) = \text{med}(pk, pl; \alpha)$.

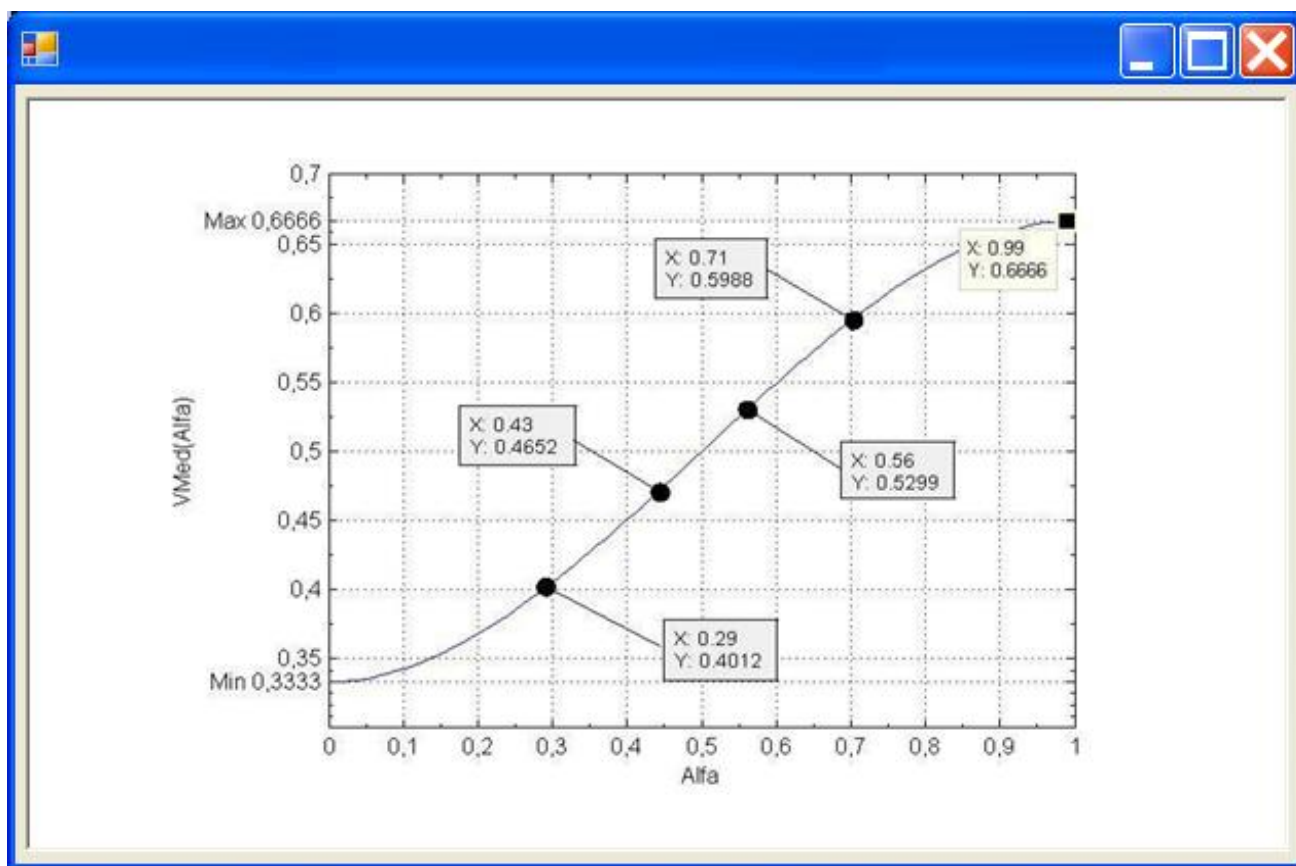


Рисунок 4.11 – Ілюстрація вибору значень параметра α для операції згортки $h(pk, pl) = \text{med}(pk, pl; \alpha)$

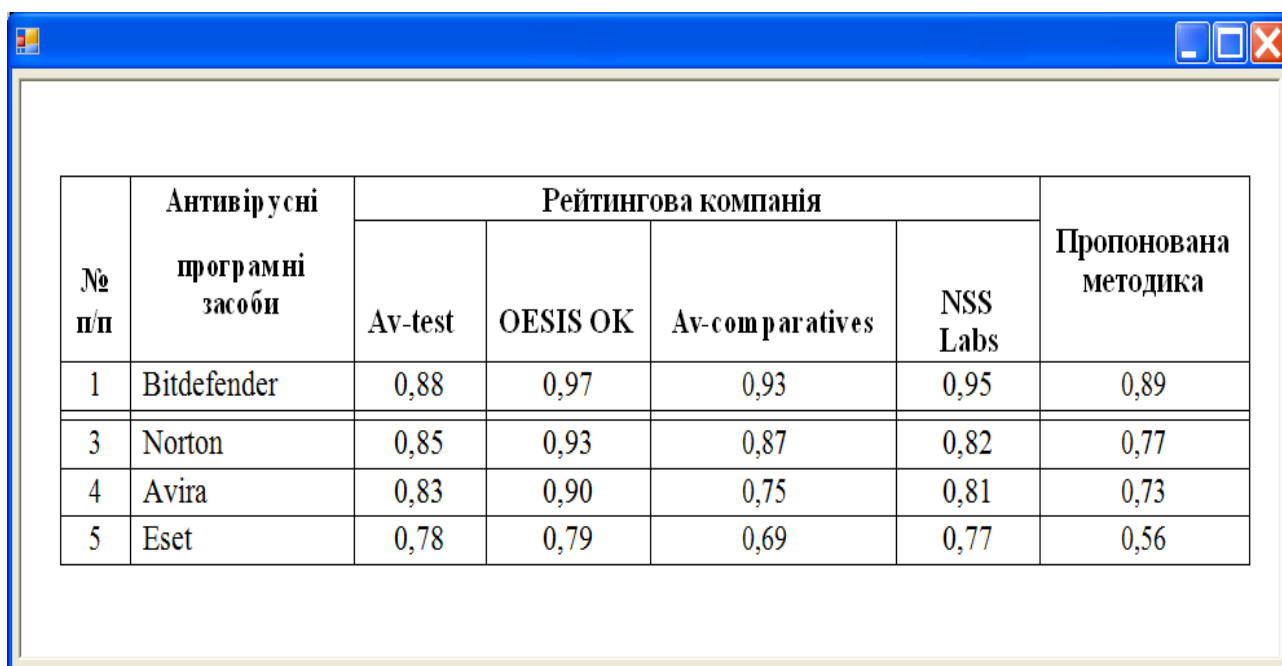
Незважаючи на обмежений набір показників оцінки, а також відсутність обліку яких-небудь взаємовпливів між показниками, досвід тривалих досліджень у предметній області антивірусного захисту інформації, а також регулярні результати різноспрямованих тестувань якості розглянутих програмних засобів дозволяють у більшості випадків уважати отримані рейтинговими компаніями оцінки, що заслуговують уваги. Однак не варто упускати з виду той факт, що компанії, що розробляють антивірусні програмні продукти, потребують високих рейтингів авторитетних агентств для гарної реалізації виробленого програмного забезпечення.

5 ОПИС МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Пропонована в даній роботі методика оцінки якості програмних засобів містить набір показчиків, використовуваних усіма рейтинговими компаніями, а також розширений спектр інших не менш важливих характеристик оцінки якості. Методика дозволяє враховувати сумісність різнозначних показчиків оцінки й задавати стратегію оцінки для кожної групи показчиків.

Виконаний порівняльний аналіз популярних антивірусних програмних засобів за результатами оцінки з використанням пропонованої методики, а також відомих рейтингових компаній. На рис. 5.1 представлені нормовані результати оцінки якості цих програмних засобів.

Отримані з використанням запропонованої методики результати оцінки антивірусних програмних засобів у великому ступені відповідають результатам цих рейтингових компаній. Аналіз отриманих оцінок дозволяє зробити висновок, що продукт Eset сильно відстає в рейтингу від інших (див. рис. 5.1).



№ п/п	Антивірусні програмні засоби	Рейтингова компанія				Пропонована методика
		Av-test	OESIS OK	Av-comparatives	NSS Labs	
1	Bitdefender	0,88	0,97	0,93	0,95	0,89
3	Norton	0,85	0,93	0,87	0,82	0,77
4	Avira	0,83	0,90	0,75	0,81	0,73
5	Eset	0,78	0,79	0,69	0,77	0,56

Рисунок 5.1 – Результати порівняльного аналізу антивірусних програм

Фізичний розмір розроблених програмних засобів підтримки вибору рішень становить 12,5 Мб, а разом з бібліотекою функцій – 23 Мб. За результатами розробки програмних засобів підтримки вибору рішень, а також бібліотеки функцій було здійснено їхнє тестування. Тестування розроблених програмних засобів було засновано на використанні управляючих потоків, а саме за допомогою функцій відладчика засобів розробки Visual Studio були пройдені всі можливі керуючі шляхи розроблених програмних засобів.

Аналіз результатів тестування підтвердив працездатність програмних засобів і відповідність виконуваних ними функцій виробленим вимогам. Протестовані алгоритми показали їхню повну працездатність, коректність і несуперечність.

Розроблювальні програмні засоби призначені для використання на персональних ЕОМ, що працюють під керуванням ОС Windows. Обов'язковою вимогою є наявність середовища виконання програм CLR, яка встановлюється разом з пакетом .Net Framework, який у свою чергу входить у стандартний набір компонентів установки для всіх операційних систем Microsoft. Якщо потрібно запустити додаток на операційній системі іншого виробника, то установка цього пакета обов'язкова.

Розроблені програмні засоби підтримки вибору рішень на основі запропонованих методів і моделей модулі, що включають у себе: візуального редактора; конструювання процесів оцінки й вибору рішень; побудови нечіткої оцінної моделі (формування ієрархічної структури показників оцінки, завдання ваг і нечітких відносин сумісності між показниками); настроювання нечіткої оцінної моделі; вибору й зіставлення операцій згортки показників ступеням сумісності показників; прямого й зворотного нечіткого оцінювання (завдання значень показників, завдання стратегії оцінювання, розбивки нечіткого відношення сумісності на класи сумісності, модифікації нечіткого відношення сумісності, побудови й обходу дерев рішень).

Створена бібліотека програмних функцій, що реалізує запропоновані моделі, методи й алгоритми можливість, що забезпечує, модульного вбудовування в

існуючі й перспективні системи підтримки прийняття рішень і автоматизовані інформаційні системи.

Розроблені алгоритми побудови програмних засобів підтримки вибору рішень на основі нечітких оцінних моделей і методів прямого й нечіткого оцінювання, а саме, алгоритми: оцінки альтернатив рішень; порівняльної оцінки альтернатив рішень; визначення стратегій нечіткого оцінювання альтернатив рішень; визначення варіантів рішень (значень або діапазонів значень приватних показників) за завданням значенням (діапазону значень) узагальненого показника; пошуку найкращих рішень (значень або діапазонів значень приватних показників), що забезпечують необхідне значення або діапазон значень узагальненого показника.

ВИСНОВКИ

Досягнута мета й вирішене наукове завдання, що полягає в дослідженні й розробці методів і програмних засобів підтримки вибору рішень на основі прямого й зворотного нечіткого оцінювання.

Основними результатами атестаційної роботи магістра є наступні.

Здійснений аналіз завдань і методів оцінки й вибору альтернатив рішень в умовах визначеності, ризику й невизначеності. Визначені основні завдання й охарактеризовано одне- і багатокритеріальні методи оцінки й вибору альтернатив рішень. Виконаний аналіз методів прямого нечіткого висновку для багатокритеріального оцінювання альтернатив, а також підходів до агрегування показників багатокритеріального нечіткого оцінювання складних об'єктів і альтернатив рішень. Проаналізовані моделі й методи зворотного нечіткого оцінювання. Здійснений аналіз підходів до створення програмних засобів підтримки вибору рішень на основі нечіткого оцінювання.

Запропоновані нечіткі оцінні моделі для створення програмних засобів підтримки вибору рішень, що характеризуються наступними особливостями:

- мають гнучку ієрархічну структуру показників, що дозволяє звести завдання багатокритеріального оцінювання альтернатив до одного критерію або використовувати для вибору вектор показників;
- забезпечують можливість нечіткої вистави показників і відносин сумісності між ними, які можуть реалізувати різноманітний характер взаємозалежностей;
- дозволяють реалізувати методи прямого й зворотного нечіткого оцінювання;
- ураховують різну значимість окремих показників за рахунок використання ваги показника;

– містять необхідний набір засобів формалізації для забезпечення програмної реалізації.

Для реалізації створених алгоритмів прямого й зворотного нечіткого оцінювання: по-перше, запропонований спосіб побудови нечітких оцінних моделей; по-друге, розроблений спосіб визначення ступенів сумісності агрегуємих показників нечітких оцінних моделей; по-третє, виконане обґрунтування операцій згортки й запропонований спосіб їх зіставлення зі ступенями сумісності агрегуємих показників для нечіткого оцінювання.

Розроблені програмні засоби підтримки вибору рішень на основі запропонованих методів і моделей – а саме, модулі, що включають у себе: візуальні редактори; конструювання процесів оцінки й вибору рішень; побудови й налаштування нечіткої оцінної моделі (формування ієрархічної структури показників оцінки, завдання ваг і нечітких відносин сумісності між показниками); вибору й зіставлення операцій згортки показників ступеням сумісності показників; прямої й зворотної непарного оцінювання (завдання значень показників, завдання стратегії оцінювання, розбивки нечіткого відношення сумісності на класи сумісності, модифікації нечіткого відношення сумісності, побудови й обходу дерев рішень).

Виконана оцінка ефективності використання розроблених програмних засобів на прикладах рішення прикладних завдань.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Абламская Л.В., Бабешко Л.О. Основы финансового анализа рынка ценных бумаг. - М.: ФА. Центр дистанционного обучения, 1998. -234 с.
2. Алексахин СВ., Балдин А.В., Криницин В.В. и др. Прикладной статистический анализ данных. Теория, Компьютерная обработка. Области применения / Под ред. Криницина В.В. -М.: «Изд-во ПРИОР», 2008. - 352 с.
3. Аллен Р. Математическая статистика. - М.: ИЛ, 2008.
4. Бабешко Л.О. Коллокационные модели прогнозирования в финансовой сфере. - М.: Экзамен, 2001. - 129с.
5. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Книга 2. - М.: Финансы и статистика, 1987.-296с
6. Бабешко Л.О. Краткий обзор стохастических моделей прогноза характеристик фондового рынка. - Сборник: Актуальные проблемы математического моделирования в финансово-экономической области, 2015. -278 с.
7. Бабешко Л.О. Параметрическая модель среднеквадратичной коллокации и равновесные модели формирования доходности финансовых активов. Сборник наз^ных трудов: Информационный бизнес в России. Выш.2. Часть 1. -Изд. ТГТУ, Тамбов, 1999.-123с.
8. Бабешко Л.О. Применение коллокации при прогнозировании количественных характеристик основных финансовых инструментов фондового рынка. - М.: ФА, Вестник Финансовой Академии, 2000, №2, стр.77-86.
9. Бендат Дж. Основы теории случайных шумов и ее применения. - М.: Наука, 2005.-364С.
10. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных. - М.: Наука, 2009.-234с.

12. Бендат Дж., Пирсон А. Измерение и анализ случайных процессов, - М.: Наука, 1974.-5 87с.
13. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Выпуск 1.-М.: Мир, 1974.-369с.
14. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. - М.: Наука, 1983-416с.
15. Боровиков В.П. Популярное введение в программу STATISTICA. - М.: КомпьютерПресс, 1998.-289с.
16. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М.: Информационно-издательский домФилинь, 1998.-456С.
17. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. - М.: Финансы и статистика, 1999.-302с.
18. Браун Дж., Крицмен М.П. Количественные методы финансового анализа.-М.: Инфра-М, 1996.-201с.
19. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. - М.: Сов. радио, 1975.-531с.
20. Бывшев В.А., Бабешко Л.О, Алгоритм прогнозирования индексов в рамках стационарной модели Колмогорова-Винера. - М.: Статистика, 2002.-406с.
21. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) - 5th ed. - Project Management Institute, 2018. - 616 p.
22. Ивашко В.Г., Фін В.К. Експертні системи й деякі проблеми їх інтелектуалізації //Семіотика й інформатика. - 1986. - Вып.27. - С.25-61.
23. Кук М.Н., Макдональд Дж. Формальна методологія набуття й представлення експертних знань. ТИИЭР. - Т.74, N 10. - 1986. С.145-155.
24. Представление и использование знаний / Під ред. Х. Уэно, М.Исидзука.- М.: Мир,1989. 220 с.

25. Cohen M.A., Grossberg S. Absolute stability of global pattern formation and parallel memory storage by competitive neural networks//IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. 2017. V. 13. N 5. P. 815 – 826.

26. Хоггер К. Введення в логічне програмування. - М. Мир, 2008. - 348с.