

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

Писклакова Ольга Олександрівна



УДК 519.81

**МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ
НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харьков - 2010

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Петров Едуард Георгійович,

Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри системотехніки

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Сіроджа Ігор Борисович,

Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», професор кафедри інженерії програмного забезпечення

доктор технічних наук, професор

Комяк Валентина Михайлівна,

Національний університет цивільного захисту України, професор кафедри фізико-математичних дисциплін

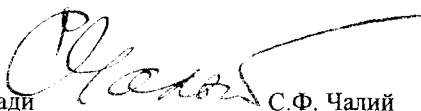
Захист відбудеться «08» грудня 2010 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14; тел. (057) 702-14-46.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки (61166, м. Харків, просп. Леніна, 14).

Автореферат розісланий 04 листопада 2010 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради



С.Ф. Чалий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Обов'язковим етапом будь-якої цілеспрямованої діяльності є прийняття рішень. При цьому не тільки невиріні, але й не ефективні рішення приводять до втрат або нерационального використання фінансових, трудових, екологічних, енергетичних та інших ресурсів. У зв'язку з цим проблема розробки науково обґрунтованої методології прийняття ефективних рішень є однією з актуальних наукових проблем.

За визначенням В.М. Глушкова необхідними умовами ефективності рішень є їх своєчасність, повнота й оптимальність. Перелічені вимоги суцережливі, і їх виконання пов'язане із серйозними труднощами.

Зокрема, забезпечення повноти (комплексності) рішень потребує найповного урахування внутрішніх і зовнішніх факторів, які впливають на прийняття рішення, глибокого аналізу їх взаємозв'язків, що призводить до зростання розмірності задачі прийняття рішень та її багатокритеріальності. У свою чергу це призводить до збільшення невизначеності вихідних даних, що обумовлено неповнотою знань про взаємозв'язок факторів і, як наслідок, неточністю її опису, неможливістю або неточністю вимірювання деяких факторів, випадкових зовнішніх і внутрішніх впливів тощо. Додаткова складність полягає в тому, що невизначеності різномірні і можуть бути подані у вигляді випадкових величин, нечітких множин або просто інтервалів.

Таким чином, підвищення ефективності прийнятих рішень пов'язане з необхідністю розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності.

Традиційний підхід до розв'язання таких задач заснований на їх евристичному спрощенні та детермінізації як засобі зняття невизначеності, в міру ускладнення задач і підвищення значущості рішень стає все менш ефективним.

У цих умовах вкрай актуальна розробка формальних, нормативних методів і моделей комплексного вирішення проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та невизначеності.

У цьому напрямку ведуться інтенсивні дослідження зарубіжними і вітчизняними вченими, такими як П. Фішберн, Т. Сааті, Р. Райфа, Р. Кіні, Л. Заде, В.В. Подиновський, Ю.П. Зайченко, А.Ф. Волошин, А.І. Ларичев, А.М. Борисов, А.П. Вошинін, А. Кофман, С.А. Орловський, Д.А. Поспелов, А. П. Ротштейн та інші. Були отримані фундаментальні результати, однак вичерпне рішення проблеми далеке від завершення, і продовження досліджень у цьому напрямку безсумнівно актуальне як у теоретичному, так і у прикладному аспектах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана в рамках державної науково-технічної програми України по пріоритетному напрямку 6. «Інформатика, автоматизація і приладобудування», розділ 6.2 «Перспективні інформаційні технології для інтелектуалізації процесу прийняття рішень та управління в технічних, біологічних і соціальних системах», пункт 6.2.1 «Інтелектуалізація процесів прийняття рішень».

Отримані результати були використані під час виконання, відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки, д/б теми 196 № ГР 0106U003175 «Розробка методів та інструментальних засобів структурно-параметричної ідентифікації моделей багатофакторного оцінювання і багатокритеріальної оптимізації»; д/б теми 236 № ГР 0109U002571 «Розробка математичних моделей і програмних засобів прийняття багатокритеріальних рішень в умовах невизначеності»; госпдоговор Ю/804089 № ГР 0108U004383 «Розробка принципів і програмних засобів СППР в умовах невизначеності для технологічних і організаційних систем», у виконанні яких автор брала участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка формальних методів, математичних моделей і обчислювальних процедур комплексного вирішення задачі прийняття ефективних рішень в умовах багатокритеріальності та невизначеності, поданої нечіткими множинами.

Досягнення сформульованої мети пов'язане з необхідністю вирішення таких наукових задач:

- розробка методів і моделей вирішення багатокритеріальних задач прийняття рішень на основі визначення інтервальної скалярної багатокритеріальної оцінки корисності альтернативних рішень;
- визначення джерел, аналіз видів інтервальної невизначеності, що виникає під час вирішення задач багатокритеріальної оптимізації, і синтез моделі обчислення корисності рішення з урахуванням інтервальної невизначеності, поданої у вигляді нечітких множин;
- розробка моделей і методів прийняття рішень в умовах інтервальної нечіткої невизначеності корисності альтернативних рішень;
- тестове моделювання для перевірки адекватності і практичної цінності отриманих внаслідок дослідження методів і моделей на прикладі вирішення задач розподілу ресурсів.

Об'єкт дослідження – процес прийняття ефективних рішень в умовах багатокритеріальності і невизначеності.

Предмет досліджень – моделі та обчислювальні методи комплексного вирішення задачі вибору ефективних рішень в умовах багатокритеріальності та інтервальної нечіткої невизначеності.

Методи дослідження базуються на принципах системного аналізу, теорії корисності – для формування інтервальних скалярних багатофакторних оцінок альтернативних рішень, теорії нечітких множин – для опису інтервальної невизначеності вихідних даних, на методах і засобах прийняття рішень в умовах багатокритеріальності і невизначеності.

Наукова новизна отриманих результатів роботи полягає в такому.

– вперше розроблені моделі вирішення задач прийняття ефективних рішень в умовах багатокритеріальності та інтервальної нечіткої невизначеності, які передбачають задання вагових коефіцієнтів та часткових критеріїв у формі нечітких множин та детермінованих значень, що дозволяє ефективно формалізувати якісну вихідну інформацію та тим самим підвищити точність рішень, які приймаються;

– вперше розроблені обчислювальні методи прийняття багатокритеріальних рішень в умовах нечіткої інформації, що передбачають обчислення інтервальних скалярних багатофакторних оцінок корисності альтернативних рішень, а також формування вибору точкового рішення як компромісу між очікуваною ефективністю і можливими втратами (VaL - технологія), що збільшує ефективність вирішення багатокритеріальних задач в умовах інтервальної невизначеності;

– набули подальшого розвитку методи параметричної компараторної ідентифікації адитивної моделі скалярного оцінювання корисності альтернатив за рахунок детермінізації нечітких значень вагових коефіцієнтів, що дозволить підвищити об'єктивність оцінки коефіцієнтів важливості часткових критеріїв та більш аргументовано приймати рішення;

– Value at Risk (VaR) – метод прийняття рішень в умовах ризику, який відрізняється від існуючих введенням поняття втрат для синтезу Value at Loss (VaL) моделі, що дозволяє визначати компромісне рішення між ефективністю і можливими втратами;

– удосконалено метод визначення інтервальних значень коефіцієнтів відносної важливості часткових критеріїв у моделі скалярного оцінювання корисності альтернатив шляхом урахування невизначеностей різного виду – статистичних, нечітких та інтервальних величин що на відміну від існуючих методів, дає можливість підвищити ефективність рішень в умовах багатокритеріальності та інтервальної невизначеності.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що розроблені математичні моделі й обчислювальні процедури складають інженерну методику, яка дозволяє вирішувати широке коло задач прийняття рішень в умовах багатокритеріальності і невизначеності та є внеском у розвиток теорії створення систем підтримки прийняття рішень (СППР) у різних проблемних галузях. Використання розроблених моделей дозволяє суттєво прискорити терміни збору вхідної інформації та синтезувати адекватні моделі скалярного оцінювання ефективності рішень, що приймаються у технічних і соціально-економічних системах. Розроблені метод і алго-

ритми верифікації оцінки вірогідності й точності моделей дозволяють визначити ступінь адекватності й точності опису процесу, що моделюється.

Основні результати досліджень впроваджені в НВП Хартрон-Аркос і АТЗС «ІАС» для розробки перспективного плану розвитку підприємства, визначення номенклатури продукції, що випускається та її якості й порівняння з продукцією інших підприємств. У подальшому передбачається використовувати методи й моделі для вибору постачальників комплектуючих виробів і матеріалів. Отримані результати використовуються в навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки на кафедрі системотехніки під час викладання дисциплін «Теорія розробки і прийняття рішень», «Сучасна теорія управління», «Організаційне управління» і під час виконання дипломних робіт.

Анотація результатів дисертації. Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на: 2-й міжнародній конференції «Глобальні інформаційні системи. Проблеми і тенденції розвитку» (м. Туапсе, 2007); 12-14-му міжнародних молодіжних форумах «Радіоелектроніка і молодь у ХХІ ст.», (м. Харків, 2008 - 2010 р. р.); міжнародному радіоелектронному форумі «Інформаційні комп'ютерні технології і системи» (м. Харків, 2008); школі-семінарі «Інформаційні інтелектуальні системи» (м. Харків, 2008-2009 р. р.); міжнародній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (м. Херсон, 2009), міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та навчанні «ІНФОТЕХ-2009»» (м. Севастополь, 2009).

Публікації. Основні результати дослідження опубліковані в 15 друкованих працях, з яких 6 – статті в наукових фахових виданнях України, що входять до переліку ВАК України, а 9 – публікації в матеріалах і тезах наукових конференцій.

Особистий внесок здобувача. Всі основні наукові положення, результати, рекомендації дисертації й розрахунки отримані особисто здобувачем. В публікаціях, які написані у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: VaL – модель, яка дозволяє знаходити оптимальне рішення як компроміс між ефективністю і можливими втратами [1]; аналіз джерел і шляхів усунення невизначеності під час параметричної ідентифікації моделі багатофакторного оцінювання [2]; постановка задачі взаємної трансформації видів невизначеності [3]; розробка методу оцінки адекватності і точності евристичної трансформації інтервальної невизначеності і точності імовірнісної невизначеності у вигляді випадкових величин з рівномірним законом розподілу [4]; процедура детермінізації невизначених інтервальних значень вагових коефіцієнтів, заданих у вигляді нечітких множин під час вирішення задач багатокритеріальної оптимізації [5]; синтез моделі сітьового планування [6]; алгоритм обчислення значень функцій корисності альтернатив в умовах інтервальної невизначеності [7]; аналіз різних методів підсумовування нечітких чисел [8]; алгоритм прийняття багатокри-

теріальних рішень в умовах нечіткої невизначеності [9]; модель обчислення функції корисності в умовах нечітких даних [10]; модель детермінізації інтервальних значень вагових коефіцієнтів функції корисності [11]; схема дефазифікації вагових коефіцієнтів функції корисності [12]; модель прийняття рішень в умовах нечіткої інтервальної невизначеності [13]; алгоритм вибору ефективного рішення в умовах нестационарності параметрів системи [14]; модель задачі розподілу ресурсів в умовах багатокритеріальності та невизначеності [15].

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів і висновку. Повний обсяг дисертації становить 167 сторінок, 17 рисунків і 22 таблиці, список використаних джерел з 102 найменувань на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета й основні завдання досліджень, визначені предмет і об'єкт дослідження, показаний зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведені наукова новизна і практична цінність отриманих результатів. Наведені дані про впровадження результатів у практику, особистий внесок здобувача у спільних наукових публікаціях і апробації результатів дисертації.

У першому розділі проведені системний аналіз і структуризація загальної проблеми прийняття ефективних рішень і сформульована комплексна задача багатокритеріального вибору рішення в умовах неповноти знань (невизначеності) вихідних даних. Традиційний підхід, заснований на декомпозиції проблеми на дві умовно незалежні задачі – багатокритеріальної оптимізації в детермінованій, тобто без урахування невизначеності, постановці і прийняття рішення в умовах невизначеності для скалярної цільової функції в сучасних умовах, не задовольняє вимогам практики за точністю й ефективністю.

Це обумовлено тим, що задача багатокритеріальної оптимізації в принципі є некоректною, тому що дозволяє визначити рішення тільки з точністю до області компромісних рішень, а її регуляризація для визначення єдиного рішення, заснована на розрахунку узагальненої багатофакторної скалярної оцінки, базується на погано структурованих, суб'єктивних експертних оцінках, детермінізація яких призводить до великих похибок. З іншого боку, методи прийняття рішень в умовах невизначеності за скалярною оцінкоюю очікуваного ефекту, без урахування його багатокритеріальності, так само не адекватні. Тому зроблено висновок про необхідність розвитку методології комплексного вирішення задачі прийняття рішень з урахуванням багатокритеріальності і неповної невизначеності вихідних даних.

На основі проведеного аналізу й огляду сформульована задача синтезу моделей обчислення та інтервальних значень оцінки ефективності альтернативних рішень і визначення точкового рішення з отриманого інтервалу. Реалізація і дослідження описаного методу прийняття рішень з урахуванням багатокритеріальності і нечіткої невизначеності вихідних даних визначає мету і завдання дослідження.

У другому розділі вирішена задача синтезу моделі обчислення інтервального фазифікованого значення скалярної багатокритеріальної оцінки ефективності (корисності) припустимих рішень.

Передбачається, що модель обчислення функції корисності в загальному випадку являє собою деякий фрагмент поліному Колмогорова-Габора, лінійний за параметрами, але нелінійний за змінними (частковим критерієм). Це означає, що в розширеному просторі змінних модель функції корисності $P(x)$ можна розглядати як адитивну функцію виду

$$\overline{P}(x) = \sum_{i=1}^n \overline{a}_i \overline{k}_i^H(x), \quad (1)$$

де \overline{a}_i – безрозмірні вагові коефіцієнти, що задовольняють вимогам

$$0 \leq \overline{a}_i \leq 1, \sum_{i=1}^n \overline{a}_i = 1; \quad \overline{k}_i^H(x) \text{ нормалізовані, тобто приведені до безрозмірно-}$$

го виду, однакової метрики і напряму домінування, часткові критерії; знак «-» означає інтервальну невизначеність.

Аналіз особливостей задачі багатокритеріального скалярного оцінювання, проведений у першому розділі, показав, що поширеною формою подання невизначеностей у моделі (1) є нечіткі множини. При прийнятих допущеннях параметрична ідентифікація моделі задачі багатокритеріальної оптимізації (1) полягає у визначенні інтервальних значень параметрів \overline{a}_i і часткових критеріїв $\overline{k}_i(x)$, їх фазифікації й обчисленні інтервального фазифікованого значення функції корисності рішення $P(x)$.

Оскільки задача багатокритеріального оцінювання є інтелектуальною процедурою і носіями вихідної інформації є експерти, задача параметричної ідентифікації параметрів моделі (1) вирішується безпосередньо методами експертного оцінювання або методом компараторної ідентифікації.

Метод компараторної ідентифікації адитивної моделі скалярного оцінювання корисності альтернатив полягає в такому. Вихідною інформацією виступає відношення строгого або нестроного порядку, встановлене експертами на множині припустимих альтернатив

$$x_1 \succ x_2 \sim x_3 \sim x_4 \succ \dots, \quad (2)$$

де \succ, \sim відповідно знаки переваги та еквівалентності. Відповідно до теорії корисності для (2) виконуються такі співвідношення

$$P(x_1) > P(x_2) = P(x_3) > P(x_4) > \dots \quad (3)$$

На основі (3) можна скласти систему рівнянь виду

$$\begin{aligned} P(x_2) - P(x_1) &\leq 0, \\ P(x_3) - P(x_2) &= 0, \\ P(x_4) - P(x_3) &\leq 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Підстановкою в (4) функції корисності (1) отримаємо систему лінійних щодо параметрів a_i нерівностей, що визначають область їх можливих значень. Методом лінійного програмування на виділеній області визначаються інтервальні значення $[a_i^{\max}, a_i^{\min}]$ параметрів. При цьому, незалежно від методу, визначаються інтервальні оцінки параметрів $a_i = [a_i^{\max}, a_i^{\min}]$; $\forall i = \overline{1, n}$, а величина інтервалів залежить від розкиду суб'єктивних індивідуальних оцінок експертів.

Інтервальна невизначеність змінних моделі (часткових критеріїв) визначається Не-факторами. Їх аналіз та урахування дозволяє визначити інтервал можливих значень кожного з них.

Наступний етап ідентифікації моделі (1) полягає в її фазифікації, тобто у виборі виду і параметрів функції належності інтервальних параметрів і змінних.

Вагові коефіцієнти a_i являють собою інтервальні нечіткі числа, а значення часткових критеріїв можуть бути задані як чисельно, у вигляді нечітких чисел, так і якісно, у вигляді лінгвістичних термів.

Зараз як функцію належності найчастіше використовують гаусову, колоколоподібну і трикутну залежності. Вибір виду функції належності суб'єктивний, тому що її дійсний вид невідомий. Разом із цим, обчислювальні експерименти показують, що обчислені фазифіковані значення для різних функцій належності відрізняються між собою на 2-3 %. Тому в роботі обрана найпростіша трикутна функція належності подана у L-R формі. Для її задання необхідно задати тільки модальні точки. Це істотно спростило обчислення фазифікованої функції корисності альтернативних рішень.

З множини конкуруючих моделей підсумовування і множення нечітких чисел із трикутними функціями належності поданих в L-R формі в роботі прийнята найпростіша наближена формула обчислення фазифікованого значення інтервальної фазифікованої корисності альтернативних рішень

$$\begin{aligned}
 P(x) = & a_1 \Delta(c_1, \gamma_1, \nu_1)_{LR} * k_1(x) \Delta(b_1, \delta_1, \varphi_1)_{LR} + \dots + a_n \Delta(c_n, \gamma_n, \nu_n)_{LR} * \\
 & * k_n(x) \Delta(b_n, \delta_n, \varphi_n)_{LR} = (c_1 b_1, c_1 \delta_1 + b_1 \gamma_1, c_1 \varphi_1 + b_1 \nu_1)_{LR} + \dots \\
 & + (c_n b_n, c_n \delta_n + b_n \gamma_n, c_n \varphi_n + b_n \nu_n)_{LR},
 \end{aligned} \tag{5}$$

де $a_i \Delta(c_i, \gamma_i, \nu_i)_{LR}$ – вагові коефіцієнти, подані у вигляді L–R чисел, при цьому c_i – ліва границя L–R числа, γ_i – модальне значення, при якому функція належності дорівнює 1; ν_i – права границя L–R числа; $k_i \Delta(b_i, \delta_i, \varphi_i)_{LR}$ – часткові критерії, подані у вигляді L–R чисел, при цьому b_i – ліва границя L–R числа, δ_i – модальне значення, при якому функція належності дорівнює 1; φ_i – права границя L–R числа.

Третій розділ дисертації присвячений обґрунтуванню методу і моделей вирішення задач прийняття ефективних рішень в умовах багатокритеріальності й інтервальної нечіткої невизначеності.

Внаслідок аналізу особливостей інтервальної фазифікованої оцінки корисності альтернативних рішень у роботі обґрунтована модель визначення детермінованих точкових вагових коефіцієнтів.

$$a_j^{\tilde{A}} = a_j^* \pm [1 - \mu(\sum_{j=1}^n a_i^{\tilde{A}} = 1)] \cdot \frac{a_j^{\max} - a_j^{\min}}{2}, \tag{6}$$

де a_i^* – модальне значення ($\mu(a_i^*) = 1$) i – го вагового коефіцієнта на інтервалі $[a_i^{\min}, a_i^{\max}]$.

Модель отримана для трикутної функції належності. Обчислювальні експерименти, наведені в роботі, показали, що дефазифікація за моделлю (6) не порушує відношення порядку альтернатив і добре апроксимує не тільки трикутні, але й гаусові й колоколоподібні функції належності.

Наступний етап полягає в обчисленні інтервальних фазифікованих значень корисностей припустимих альтернатив за моделлю (5).

Внаслідок обчислень по моделі (5) з урахуванням дефазифікованих за моделлю (6) вагових коефіцієнтів визначаємо фазифіковані значення корисності альтернативних рішень $x \in X$. Точкове детерміноване рішення визначається як максимальне модальне значення X^* інтервальної функції корисності

$$x^* = \arg \max_{x \in X} \mu_i [P(x)]. \tag{7}$$

У роботі розглянутий альтернативний підхід до визначення точкового фазифікованого рішення x^0 . Для цього введена нечітка множина «екстремального значення i -го часткового критерію» з функцією належності

$$\mu[k_i(x)] = \left[\frac{k_i^*(x) - k_i^{HX}}{k_i^{HЛ} - k_i^{HX}} \right]^{\alpha_i}, \quad (8)$$

де $k_i^*(x)$ — модальне значення i -го часткового критерію для рішення $x \in X$; $k_i^{HЛ}$, k_i^{HX} — відповідно найкраще і найгірше значення i -го часткового критерію на множині припустимих рішень X ; α_i — параметр нелінійності.

Носієм зазначеної нечіткої множини є числовий інтервал $[k_i^{HX}, k_i^{HЛ}]$. Значення $k_i^{HЛ}$ й k_i^{HX} визначаються за правилом

$$k_i^{HX} = \begin{cases} \min_{x \in X} k_i(x), & \text{якщо } k_i(x) \rightarrow \max, \\ \max_{x \in X} k_i(x), & \text{якщо } k_i(x) \rightarrow \min; \end{cases} \quad (9)$$

$$k_i^{HЛ} = \begin{cases} \min_{x \in X} k_i(x), & \text{якщо } k_i(x) \rightarrow \min, \\ \max_{x \in X} k_i(x), & \text{якщо } k_i(x) \rightarrow \max. \end{cases} \quad (10)$$

Тоді кортеж

$$\mu[k_i(x)] = \langle \mu_i[k_i^*(x)] \rangle, \quad i = \overline{1, n} \quad (11)$$

загалом визначає ступінь приналежності рішення $x_i \in X$ нечіткій множині, «екстремальне за ефективністю рішення x^0 на припустимій множині X » з функцією належності

$$\mu(x^0) = F\{A, \mu[k_i^*(x)]\}. \quad (12)$$

Таким чином, функція належності (12) є аналогом $P(X)$ та її можливо розраховувати як традиційну модель багатофакторного оцінювання $P(X)$: зважена адитивна, мультиплікативна тощо.

Крім методу прийняття рішень під час подання невизначеностей у вигляді нечітких чисел, у розділі розглянуті методи прийняття рішення у випадку, якщо альтернативи задані якісно на відношенні переваги.

Під час моделювання реальних систем виникають ситуації, коли у особи, що приймає рішення (ОПР) немає чіткого уявлення (інформації) щодо відношення переваги між усіма або деякими альтернативами, а може лише оцінити ступінь виконання тієї або іншої переваги між парами альтернатив у вигляді числа з інтервалу $[0;1]$. У такому випадку за допомогою ОПР (або експерта) можна ввести нечітке відношення переваги, що задається функцією належності $\mu_R(x, y)$. На його основі визначається такі відношення: R – нечітке відношення нестрогої переваги; R_S або $\mu_R^S(x, y)$ – нечітке відношення строгої переваги. Необхідно визначити нечітку підмножину недомінуючих альтернатив множини X відносно R (13)

$$\mu^P(x) = \inf_{y \in X} \{1 - \mu_R^S(y, x)\} = 1 - \sup_{y \in X} \mu_R^S(y, x) = 1 - \sup_{y \in X} (\mu_R(y, x) - \mu_R(x, y)), \quad (13)$$

де $\mu_R(x, y)$ – вихідне нечітке відношення нестрогої переваги.

Якщо величина $\mu^P(x)$ є ступенем «недомінованості» альтернативи x , то раціональним при заданій нечіткій інформації природно вважати вибір альтернатив, які мають за можливістю більший ступінь належності нечіткій множині $\mu^P(x)$.

Множина таких альтернатив $X^P = \left\{ x \in X \mid \mu^P(x) = \sup_{y \in X} \mu^P(y) \right\}$ називається

множиною максимальних недомінуючих альтернатив множини X за нечітким відношенням переваги μ_R .

Також у розділі розглядаються методи прийняття рішень при якісних вимірюваннях. У багатьох випадках одержання вихідної інформації у вигляді нечітких чисел неможливо або вона настільки «розмита» (неточна), що втрачає сенс. У цьому випадку теорія нечітких множин дає можливість приймати рішення на основі якісних вимірювань, що представлені у вигляді лінгвістичних висловлень (термів).

Нечітка модель прийняття рішень у якісних вимірюваннях містить такі блоки:

- фазифікатор, який перетворить фіксований кортеж факторів, що $K(x)$ впливають, у кортеж нечітких $\overline{K}(x)$ множин, необхідних для виконання нечіткого логічного висновку;

- нечітка база знань, що містить інформацію про залежність $X = f(K(x))$ у вигляді лінгвістичних правил типу «ЯКЩО-ТО»;

- машина нечіткого логічного висновку, що на основі правил бази знань визначає значення вихідної змінної у вигляді нечіткої множини

\bar{X} , що відповідає нечітким значенням вхідних змінних $K(x)$;

– дефазифікатор, що перетворює вихідну нечітку множину \bar{X} у чітке рішення X .

Однією з найвідоміших моделей нечіткого висновку є модель Мамдани, у якій взаємозв'язок між входами $K(x) = (k_1(x), k_2(x), \dots, k_n(x))$ і виходом x визначається нечіткою базою знань такого формату:

$$\begin{aligned} & \text{ЯКЩО} (k_1(x) = a_{1,j_1}) \text{ И } (k_2(x) = a_{2,j_1}) \text{ ТА...ТА } (k_n(x) = a_{n,j_1}) \\ & \text{АБО} (k_1(x) = a_{1,j_2}) \text{ И } (k_2(x) = a_{2,j_2}) \text{ ТА...ТА } (k_n(x) = a_{n,j_2}) \\ & \dots \\ & \text{АБО} (k_1(x) = a_{1,j_k}) \text{ И } (k_2(x) = a_{2,j_k}) \text{ ТА...ТА } (k_n(x) = a_{n,j_k}) \\ & \text{ТО } x = d_j, j = \overline{1, m} \end{aligned}$$

де $a_{1,jp}$ — лінгвістичний терм, яким оцінюється змінна $k_i(x)$ в рядку з номером $jp (p = \overline{1, r_j})$; r_j — кількість рядків-кон'юнкцій, у яких вихід x оцінюється лінгвістичним термом d_j ; m — кількість термів, використовуваних для лінгвістичної оцінки вихідної змінної x .

Нечітка множина \bar{X} , що відповідає вхідному вектору $K^*(x)$, визначається в такий спосіб:

$$\bar{X} = \underset{j=1, m}{\text{agg}} \left(\overset{x}{\int} \text{imp}(\mu_{d_j}(K^*(x)), \mu_{d_j}(x)) / x \right), \quad (14)$$

де imp — імплікація, за звичай реалізована як операція знаходження мінімуму; agg — агрегування нечітких множин, що найчастіше реалізується операцією знаходження максимуму.

Чітке значення виходу x , що відповідає вхідному вектору $K^*(x)$, визначається внаслідок дефазифікації нечіткої множини \bar{X} . Найчастіше застосовується дефазифікація за методом центра важкості:

$$x^* = \frac{\overset{x}{\int} x \cdot \mu(x) dx}{\underset{x}{\int} \mu(x) dx}, \quad (15)$$

Таким чином, обробка вхідної інформації в моделях багатofакторного оцінювання можлива за допомогою лінгвістичного підходу. Як приклад, що ілюструє прийняття рішень при якісних вимірюваннях, у роботі був розроблений проект у мережному плануванні.

У четвертому розділі розроблена модель формування вибору точкового рішення як компромісу між очікуваною ефективністю і можливими втратами (VaL -технологія), що збільшує ефективність вирішення багатокритеріальних задач в умовах інтервальної невизначеності. На прикладі вирішення задач розподілу ресурсів в умовах багатокритеріальності і невизначеності показані прикладна спрямованість та універсальність розроблених у дисертації методів прийняття рішень.

Загальна постановка розподільної задачі полягає в такому. Розглядається дворівнева організаційна система центр (З) і $II_i (i = \overline{1, n})$ підрозділів. Центр має у своєму розпорядженні деяку кількість моноресурса (R), яку він може інвестувати в кількості r_i у розвиток підрозділів. Одержуючи ресурс, кожний підрозділ генерує ефект E_i

$$E_i = F_i(r_i), \quad (16)$$

де F_i – виробнича функція, тобто оператор, що встановлює зв'язок між r_i і E_i . Необхідно в такий спосіб розподілити $R^0 = \langle r_i^0 \rangle$, щоб максимізувати ефект центра E_c

$$E_c = \max_{r_i \in R} \sum_{i=1}^n E_i(r_i). \quad (17)$$

Відмінність від класичної постановки задачі полягає в тому, що підрозділи генерують набір різнорідних ефектів (економічний, соціальний, екологічний), а виробничі функції F_i задані з точністю до інтервальної невизначеності. Перша з перелічених особливостей враховується шляхом формування багатofакторної узагальненої скалярної оцінки ефекту $\bar{E}(r_i)$, наприклад, на основі зваженої адитивної оцінки, яка розраховується на основі розвинених у роботі методів. Щодо невизначеності значень виробничих функцій, то вона призводить до інтервальної невизначеності очікуваного ефекту. Вибір точкового значення залежить від виду невизначеності. Сьогодні день широко відомий VAR(Value at Risk) підхід, коли рішення визначене як компроміс між значенням математичного очікування і дисперсією ефекту. Однак цей підхід передбачає, що відомі статистичні характе-

ристики процесу формування ефекту. Через унікальність кожної розподіленої задачі вони практично ніколи не відомі.

У роботі передбачається більш загальний підхід, заснований на інтерпретації вихідної невизначеності як нечітких множин, і на цій основі розвивається більш загальний, прийнятний для всіх видів невизначеності VaL (Value at Loss) підхід. Для його реалізації у роботі уведено поняття негативних (L_N) і позитивних (L_p) втрат, де L_N – це прямі втрати ефекту (фінансів, часу виконання роботи, матеріальних ресурсів тощо), тоді як (L_p) – це шкодування за про недоотриманим потенційно можливим ефектом. На цій основі точкове рішення визначається як трикритеріальне рішення з урахуванням власне очікуваного ефекту та позитивних і негативних втрат.

$$x^{\circ} = \arg \max_{x \in X} [V(x) - \alpha L_p(x) - (1 - \alpha)L_N(x)]; \quad (18)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1,$$

де $V = F(x)$, $x \in [a, b]$. Тоді при $x = a$: $L_p(x) = 0$; $L_N = \int_a^b F(x) dx$; при $x = b$: $L_N(x) = 0$; $L_p = \int_a^b F(x) dx$; при $x = c$, $a \leq c \leq b$: $L_p = \int_a^c F(x) dx$;
 $L_N = \int_c^b F(x) dx$.

Розроблений підхід досліджений під час розгляду різних варіантів розподілу інвестиційних ресурсів при розвитку виробничого підприємства з різним ступенем організаційної централізації.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування та вирішення науково-технічної задачі прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та інтервальної нечіткої невизначеності, шляхом розробки методів і моделей обчислення інтервальних скалярних багатофакторних оцінок корисності альтернативних рішень і формування вибору точкового рішення як компромісу між очікуваною ефективністю і можливими втратами (VaL-технологія).

У процесі досліджень були отримані такі основні результати.

1. Проведено аналітичний огляд наукових публікацій з проблеми, який показав, що задача багатокритеріальної оптимізації в загальному випадку є некоректною, тобто не дозволяє безпосередньо визначити єдине ефективне рішення. Для цього задачу багатокритеріальної оптимізації необхідно регуляризувати, тобто привести цільову функцію до скалярного вигляду. Формалізовано методи одержання вихідної інформації про переваги особи, що приймає рішення, засновані як на традиційних евристичних процедурах експертного оцінювання, так і на формальних методах компараторної ідентифікації. Показано, що незалежно від методу отримання вихідної інформації і форми її подання, найбільш адекватною є інтервальна оцінка переваг особи, що приймає рішення.

2. Синтезовано модель багатокритеріального скалярного оцінювання корисності припустимих альтернативних рішень, а також визначені джерела і види невизначеності моделі багатофакторного оцінювання та їх формалізації на основі апарату нечітких множин. Формалізовано алгоритм обчислення фазифікованого (нечіткого) значення корисності припустимих альтернативних рішень.

3. Розроблено моделі вирішення задач прийняття ефективних рішень в умовах багатокритеріальності та інтервальної нечіткої невизначеності, які передбачають задання вагових коефіцієнтів і часткових критеріїв у формі нечітких множин та детермінованих значень, а запропоновано альтернативний метод прийняття багатокритеріальних рішень в умовах нечіткої інформації.

4. Проаналізовано метод прийняття рішень у нечітких умовах, коли інформація описується у формі відношення переваги на множині альтернатив та розроблено проект у мережному плануванні.

5. Сформульована задача розподілу обмежених інвестиційних ресурсів розвитку в ієрархічній дворівневій виробничій системі «центр-підрозділ підприємства». Її аналіз показав, що для такої задачі характерна багатокритеріальність, оскільки кожен підрозділ генерує різноякісні економічні, соціальні та екологічні ефекти, невизначеність вихідної інформації за умови неповноти знань виду і параметрів виробничих ефектів і високої залежності від системи централізації.

6. Запропоновано узагальнюючу модель прийняття рішень в умовах невизначеності загального виду (VaL-технологія), що відрізняється тим, що задача вибору точкового рішення з інтервалу можливих рішень розглянута як багатокритеріальна задача, що враховує ефективність рішення і можливі «позитивні» й «негативні» втрати, та розроблено модель урахування багатокритеріальності ефектів підсистем шляхом формування скалярної узагальненої оцінки. Синтезовано модель розподілу обмежених інвестиційних ресурсів між підсистемами підприємства з урахуванням багатокритеріальності ефектів і невизначеності виробничих функцій з ура-

хуванням ступеня централізації системи, тобто ступеня погодженості цілей підсистем і центра.

7. На основі рішення й аналізу тестових прикладів показано, що розроблені моделі вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах нечіткої невизначеності мають високу точність і адекватно встановлюють відношення порядку на множині суперечливих альтернативних рішень. Результати роботи впроваджені та використовуються у НВП Хартрон-Аркос (м. Харків) і АТЗС «ІАС» (м. Харків) та в навчальному процесі на кафедрі системотехніки під час підготовки студентів за напрямками «Комп'ютерні науки», «Системна інженерія», про що свідчать акти про використання результатів досліджень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ З ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Крючковский В.В.* Модель задачи распределения ресурсов в условиях многокритериальности и неопределенности / В.В. Крючковский, О.А. Пискалова, Ф.И. Филипская // Научно – технический журнал «Бионика интеллекта» №1 (72). – Харьков, 2010. – С. 61-64.

2. *Петров Э.Г.* Анализ подходов к решению задачи поиска оптимального решения в условиях неопределенности / Э.Г. Петров, О.А. Пискалова // Вестник ХНТУ. – 2007. – №4(27). – С. 14-19.

3. *Пискалова О.А.* Анализ особенностей решения задачи многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности / О.А. Пискалова, Н.А. Брынза, Д.И. Филипская // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ – Выпуск.3 (56) –Днепропетровск, 2008. – №01. – С. 147-157.

4. *Петров Э.Г.* Детерминизация нечетких параметров модели многокритериального оценивания / Э.Г. Петров, О.А. Пискалова, Н.А. Брынза // Вестник ХГТУ. – 2008. – №2(31). – С. 71-75.

5. *Петров Э.Г.* Сетевое планирование в условиях нечеткой интервальной неопределенности / Э.Г. Петров, В.П. Пискалова, О.А. Пискалова // Проблемы информационных технологий. – 2009. – Выпуск №1(005). – С.62 – 68.

6. *Петров Э.Г.* Постановка задачи взаимной трансформации различных видов неопределенности / Э.Г. Петров, О.А. Пискалова // Комп'ютерне моделювання та інтелектуальні системи: Збірник наукових праць. –Запоріжжя: ЗНТУ, 2007. – С.190 – 193.

7. *Петров К.Э.* Вычисление значений функций полезности альтернатив в условиях интервальной неопределенности задания их характеристик / К.Э. Петров, О.А. Пискалова // Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции развития: друга міжнародна конференція, 2–5 жовтня 2007 р.: тези доп. – м. Туапсе, 2007. – С. 361

8. Пискалова О.А. Сравнительный анализ различных методов суммирования нечетких чисел / О.А. Пискалова // *Радіоелектроніка і молодь у XXI ст.: 12-й міжнародний молодіжний форум, 1-3 квітня 2008 р: тези доп.* – Харків: ХНУРЕ, 2008. – С. 334.

9. Пискалова О.А. Принятие многокритериальных решений в условиях нечеткой неопределенности / О.А. Пискалова // *Інформаційні інтелектуальні системи: Факультетська науково-практична молодіжна школа-семінар, 2-4 грудня 2008 р.:* тези доп. – Харків: ХНУРЕ, 2008. – С.109-115.

10. Пискалова О.А. Вычисление функции полезности в условиях нечетких множеств / О.А. Пискалова // *Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития: 3-й Международный радиоэлектронный форум, 22-24 октября 2008 г.:* тезисы докл. – Харьков: АНІПРЭ, ХНУРЭ. 2008. – Т.5. – С.167-168.

11. Пискалова О.А. Детерминизация интервальных значений весовых коэффициентов функции полезности / О.А. Пискалова // *Радіоелектроніка і молодь у XXI ст.: 13-й міжнародний молодіжний форум, 30 березня - 1 квітня. 2009 р: тези доп.* – Харків: ХНУРЕ, 2009. – С. 270.

12. Пискалова О.А. Дефазификация весовых коэффициентов функции полезности, заданных нечеткими числами / О.А. Пискалова // *Інформаційні інтелектуальні системи: Друга факультетська науково-практична молодіжна школа-семінар, 8-9 грудня 2009 р.:* тези доп. – Харків: ХНУРЕ, 2009. – С.52-55.

13. Петров Э.Г. Принятие решений в условиях нечеткой интервальной неопределенности / Э.Г. Петров, О.А. Пискалова, Н.А. Брынза // *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Міжнародна науково-практична конференція, 25-29 травня 2009 р.:* тези доп. – Херсон, 2009. – Том 1. – С.63-64.

14. Брынза Н.А. Выбор эффективного решения в условиях нестационарности параметров системы / Н.А. Брынза, О.А. Пискалова // *«Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та навчанні «ІНФОТЕХ-2009»»: Міжнародна науково-практична конференція, 7 - 12 вересня 2009 р.:* тези доп. – Севастополь: Вид-во СЕВНТУ, 2009. – С.88 - 91.

15. Пискалова О.А. Разработка модели решения задач по распределению ресурсов в условиях неопределенности и многокритериальности / О.А. Пискалова // *Радіоелектроніка і молодь у XXI ст.: 14-й міжнародний молодіжний форум, 18 -20 березня. 2010 р.:* тези доп. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – С. 243.

АНОТАЦІЯ

Писклакова О.О. «Методи і моделі прийняття багатокритеріальних рішень в умовах нечіткої невизначеності». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2010 р.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової задачі розробки методів і нормативних математичних моделей прийняття рішень в умовах багатокритеріальності і невизначеності, поданої у вигляді нечітких множин, для забезпечення повноти й оптимальності прийнятих рішень.

Аналіз стану проблеми показав, що в цій галузі ведуться інтенсивні дослідження. Однак їх обмеженість полягає в тому, що, по-перше, задачі урахування багатокритеріальності і невизначеності ведуться не комплексно, незважаючи на їх глибокий взаємозв'язок, а по-друге, більшість робіт присвячена урахуванню статистичних невизначеностей.

Внаслідок проведені дослідження задачі синтезу моделі обчислення інтервального фазифікованого значення скалярної багатофакторної оцінки ефективності (корисності) припустимих рішень. Обґрунтовано метод і моделі вибору точкового дефазифікованого рішення x^* на основі інтервальних фазифікованих значень корисності альтернативних рішень $x \in X$. Також розглянуті методи прийняття рішення у випадку, якщо альтернативи задані якісно на відношенні переваги. На прикладі вирішення задач розподільного типу в умовах багатокритеріальності та невизначеності показані прикладна спрямованість і універсальність розробленої в дисертації методології прийняття рішень.

У сукупності результати дослідження утворюють теоретичний базис для розробки систем підтримки прийняття рішень різного функціонального призначення.

Ключові слова: прийняття рішень, багатокритеріальність, інтервальна невизначеність, нечітка множина, функція приналежності, експертне оцінювання, компараторна ідентифікація, функція корисності, компромісне рішення, функція втрат.

АННОТАЦИЯ

Писклакова О.А. «Методы и модели принятия многокритериальных решений в условиях нечеткой неопределенности». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.04 – системный анализ и теория оптимальных решений. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2010 г.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи разра-

БІБЛІОТЕКА ХНУРЕ

Читальний зал №4

ботки методов и нормативных математических моделей принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности, представленной в виде нечетких множеств, с целью обеспечения полноты и оптимальности принимаемых решений.

Анализ состояния проблемы показал, что в этой области ведутся интенсивные исследования. Однако их ограниченность заключается в том, что, во-первых, задачи учета многокритериальности и неопределенности ведутся не комплексно, несмотря на их глубокую взаимосвязь, а во-вторых, большинство работ посвящено учету статистических неопределенностей.

В результате проведены исследования задачи синтеза модели вычисления интервального фазифицированного значения скалярной многофакторной оценки эффективности (полезности) допустимых решений. Обоснован метод и модели выбора точечного дефазифицированного решения x^* на основе интервальных фазифицированных значений полезности альтернативных решений $x \in X$. Впервые разработана методология комплексного решения задач принятия решений в условиях многокритериальности и интервальной нечеткой неопределенности, которая включает в себя модели вычисления интервальных скалярных многофакторных оценок полезности альтернативных решений и формирования выбора точечного решения как компромисса между ожидаемой эффективностью и возможными потерями (VaL -технология). Также рассмотрены методы параметрической компараторной идентификации аддитивной модели скалярного оценивания полезности альтернатив за счет разработки метода детерминизации нечетких значений весовых коэффициентов; Value at Risk (VaR)- технологии принятия решений в условиях риска путем введения более общего понятия потерь, и синтеза Value at Loss (VaL) модели, позволяющей определять компромиссное решение между эффективностью и возможными потерями.

Усовершенствован метод определения интервальных значений коэффициентов относительной важности частных критериев в модели скалярного оценивания полезности альтернатив путем учета неопределенностей различного вида – статистических, нечетких и интервальных величин.

Рассмотрены методы принятия решения, в случае если альтернативы заданы качественно на отношении предпочтения. На примере решения задач распределительного типа в условиях многокритериальности и неопределенности показана прикладная направленность и универсальность разработанной в диссертации методологии принятия решений.

В совокупности результаты исследования образуют теоретический базис для разработки систем поддержки принятия решений различного функционального назначения. Использование разработанных моделей позволяет существенно ускорить сроки сбора входной информации, и синтезировать адекватные модели скалярного оценивания эффективности реше-

ний, принимаемых в технических и социально-экономических системах. Разработанные метод и алгоритмы верификации оценки достоверности и точности моделей позволяет определить степень адекватности и точности описания моделируемого процесса.

Ключевые слова: принятие решений, многокритериальность, интервальная неопределенность, нечеткое множество, функция принадлежности, экспертное оценивание, компараторная идентификация, функция полезности, компромиссное решение, функция потерь.

ABSTRACT

Pisklakova O.A. Methods and models of multiobjective decision making in a fuzzy uncertainty. – Manuscript.

Thesis for a candidate's degree (technical science) by 01.05.04 – systems analysis and the theory of optimal solutions. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2010.

Dissertation is devoted to important scientific problems and develop methods of mathematical models of normative decision making under uncertainty and bahatokryterialnosti represented as fuzzy sets, to ensure completeness and optimality of the decisions.

Analysis of the problem showed that in this area intensive research. However, their limitation lies in the fact that, firstly, considering bahatokryterialnosti problems and uncertainties have been around a complex, despite their deep relationship, and secondly, the majority of works devoted to the account of statistical uncertainties.

As a result of the research synthesis problem model calculation interval fazyfikovanoho scalar value multifactor evaluation (utility) of admissible solutions. Proved method and model selection point defazyfikovanoho decisions based on interval fazyfikovanyh utility values of alternatives. Also, the methods of decision-making if an alternative set of qualitative preferences. For example the distribution type of problem solving in bahatokryterialnosti and uncertainty appear applied orientation and flexibility in the thesis developed methodology for decision making. The combined results of the study will form the theoretical basis for developing decision support systems of various applications.

Key words: decision making, multicriteria, interval uncertainty, fuzzy set, membership function, expert evaluation, comparing identification, utility function, a compromise solution, the loss function.

Підп. до друку 26.10.10. Формат 60x841/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 2,1. Тираж 100 прим.
Зам. № 2-965. Ціна договірна.

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
Харків, просп. Леніна, 14