

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

БРИНЗА НАТАЛЯ ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 519.81

МЕТОДИ ТА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ  
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ РІЗНОРІДНОЇ  
ІНТЕРВАЛЬНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в 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  
**Комяк Валентина Михайлівна**,  
Національний університет цивільного захисту  
України, професор кафедри фізико-математичних  
дисциплін;

доктор технічних наук, професор  
**Соколова Надія Андріївна**,  
Херсонський національний технічний університет,  
завідувач кафедри економічної кібернетики.

Захист відбудеться «15» травня 2013 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: Україна, 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: Україна, 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий « 12» квітня 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Є.І. Литвинова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дослідження.** Прийняття рішень є невід'ємною частиною людської діяльності. При цьому кожен індивідуум та соціум загалом зацікавлені в прийнятті ефективних рішень.

За визначенням, необхідними умовами ефективності рішень, що приймаються, є своєчасність, комплексність і оптимальність. Ці умови передбачають якомога більш повний облік внутрішніх (системних) і зовнішніх (метасистемних) факторів, що впливають на наслідки (ефективність) рішення. Прагнення задовольнити умову комплексності (повноту) рішення призводить до збільшення розмірності задачі, в тому числі за рахунок не повністю визначених вхідних змінних, тобто до загального ускладнення постановки задачі, її формальної моделі та підвищення обчислювальної складності, зростання розмірності кортежу вхідних змінних, що означає необхідність при виборі ефективних рішень враховувати декілька часткових критеріїв, тобто вирішувати задачу не скалярної, а багатокритеріальної оптимізації. У зв'язку з цим підвищення ефективності прийнятих рішень пов'язане з необхідністю вирішення задач багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності.

Дослідженню різноманітних аспектів цієї проблеми присвячені роботи зарубіжних та вітчизняних вчених, таких як Дж. Нейман, Моргенштерн О., Фішберн П., Райфа Р., Кіні Р., Сааті Т., Заде Л., Подиновський В.В., Зайченко Ю.П., Ротштейн О.П., Ларичев А.І., Поспелов Д.А., Івахненко А.Г., Павлов О.А., Пасічник В.В., Волошин О.Ф. Ними отримані важливі результати в теорії прийняття багатокритеріальних рішень в умовах невизначеності, але проблема ще далека до вичерпного вирішення. У зв'язку з цим продовження дослідження та пошук нових підходів до вирішення проблеми, безсумнівно, є актуальним як в теоретичному, так і в практичному аспектах.

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

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

Отримані результати були використані при виконанні науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки, зокрема в д/б темі 196 № ДР 0106U003175 «Розробка методів і інструментальних засобів структурно-параметричної ідентифікації моделей багатofакторного оцінювання і багатокритеріальної оптимізації»; д/б темі 236 № ДР0109U002571 «Розробка математичних моделей і програмних засобів прийняття багатокритеріальних рішень в умов невизначеності», у виконанні яких автор брала участь як виконавець. Нею були розроблені методи урахування інтервальної невизначеності вихідних даних.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка формальних методів, математичних моделей і інструментальних засобів прийняття ефективних рішень в умовах багатокритеріальності з урахуванням інтервальної невизначеності вхідних даних.

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

- постановка і структуризація узагальненої задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності;
- розробка методу вибору типу інтервальної невизначеності, що виникає при вирішенні задач багатокритеріальної оптимізації та синтезі моделей обчислення інтервальних значень корисності для кожного виду невизначеностей;
- обґрунтування та експериментальне дослідження можливості та точності трансформації різних типів інтервальної невизначеності до базового виду;
- розробка методу визначення точкового рішення багатокритеріальних задач прийняття рішень в умовах інтервальної невизначеності;
- тестове моделювання для перевірки адекватності та практичної значущості отриманих внаслідок дослідження методів і моделей на прикладі вирішення багатокритеріальної інвестиційної задачі.

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

*Предмет дослідження* методи та математичні моделі прийняття багатокритеріальних рішень в умовах різнорідної інтервальної невизначеності.

**Методи дослідження** базуються на принципах системного аналізу, теорії корисності – для формування скалярних багатофакторних оцінок альтернатив рішень при синтезі моделі оцінки корисності багатофакторних альтернативних рішень, методах і засобах прийняття рішень в умовах багатокритеріальності і невизначеності.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у такому.

1. Вперше запропоновано метод класифікації типів інтервальної невизначеності, який базується на використанні інформації щодо характеру розподілу можливих значень усередині інтервалу, що дає можливість більш точно обчислювати значення корисності альтернативних рішень.

2. Вперше запропоновано метод проведення обчислювальних експериментів для оцінки можливості та адекватності трансформації до базового виду різних типів інтервальної невизначеності, який характеризується можливістю визначення величини інтервалів, відношення порядку і сил переваги альтернативних рішень, що дозволяє більш точно прийняти рішення щодо вибору базової форми інтервалів.

3. Отримали подальший розвиток три спеціалізовані моделі для імовірнісної невизначеності, нечітких чисел та інтервальних рівноможливих величини обчислення інтервальних значень функції корисності, шляхом урахування різних типів невизначеності, що надає можливість обчислити конкретні точкові значення інтервалів невизначеності.

**Практичне значення одержаних результатів.**

1. Запропоновані в роботі моделі та методи розрахунку інтервальних значень функції корисності для імовірнісних, нечітких і рівноможливих невизначеностей реалізовано програмно, що дозволяє побудувати систему підтримки прийняття рішень (СППР) в умовах інтервальної невизначеності.

2. Розроблено програмний засобів вибору точкового рішення з інтервалу можливих рішень, який враховує негативні та позитивні ризики, що дозволяє підвищити точність і аргументованість прийнятих рішень.

У сукупності отримані наукові результати є науковим базисом створення прикладних проблемно-орієнтованих систем підтримки прийняття рішень в умовах багатокритеріальності і інтервальної невизначеності.

Результати дослідження впроваджені в ПрАТ «Інститут автоматизованих систем», м. Харків, для розробки перспективного плану розвитку підприємства з урахуванням економічних, соціальних, екологічних аспектів, визначення номенклатури продукції, зміни попиту, а також використовуються в навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки при викладанні дисциплін «Вступ в теорію систем», «Дослідження операцій», «Теорія прийняття рішень» і під час дипломного проектування.

Практична цінність результатів дослідження підтверджена прикладом синтезу моделі і вирішенням тестової задачі інвестиційного розвитку виробництва в умовах багатокритеріальності і інтервальної невизначеності.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: 12-16-му міжнародних молодіжних форумах «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст», (м. Харків, 2008-2012 рр.); 3-му міжнародному радіоелектронному форумі «Інформаційні комп'ютерні технології та системи» (м. Харків, 2008 р.); факультетських науково-практичних молодіжних школах-семінарах «Інформаційні інтелектуальні системи» (м. Харків, 2008-2009 рр.); міжнародній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (м. Херсон, 2009 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та навчанні «ІНФОТЕХ-2009» (м. Севастополь, 2009 р.); 2-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Системний аналіз. Інформатика. Управління» (м. Запоріжжя, САГУ-2011, 2011 р.).

**Публікації.** Основні результати дослідження опубліковані в 18 друкованих працях, з яких 4 – статті в наукових фахових виданнях України з технічних наук, 1 – стаття в науковому виданні Російської Федерації, 1 – стаття в науковому виданні Республіки Беларусь, 12 – публікації в матеріалах наукових конференцій.

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні наукові результати, положення, розрахунки і рекомендації отримані особисто автором. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачу належать такі результати: процедура детермінізації невизначених інтервальних значень вагових коефіцієнтів, заданих у вигляді нечітких множин [1]; аналіз значень інтервалів невизначеності і модальних значень корисності рішення при різних видах невизначеності вихідних даних моделі [2]; системний аналіз залежності величини інтервалів невизначеності корисності рішень в залежності від форми пред'явлення вихідної інформації [3]; метод оцінки адекватності і точності евристичної трансформації інтервальної невизначеності в суб'єктивну імовірнісну невизначеність [4]; метод моделювання принципової можливості і ступеня коректності взаємної трансформації різних видів інтервальних невизначеностей до однорідного виду [5]; аналіз взаємної трансформації різних видів інтервальних невизначеностей для поліномів різної розмірності [6].

**Структура й обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів і висновку. Повний обсяг дисертації становить 130 сторінок, 23 рисунка і 52 таблиці, список використаних джерел з 97 найменувань на 11 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, основні завдання, предмет і об'єкт дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено наукову новизну і практичну значущість отриманих результатів, а також дані про впровадження результатів у практику, особистий внесок здобувача у спільних наукових публікаціях і апробацію результатів дисертації.

У **першому розділі** проведено системний аналіз і структурування загальної задачі прийняття ефективних рішень та сформульовано комплексну задачу багатокритеріального вибору рішення в умовах невизначеності вихідних даних. Необхідною умовою забезпечення ефективності прийняття рішень є якомога повніше врахування всіх факторів та їх взаємозв'язків (повнота). Це призводить до підвищення складності, збільшення розмірності вихідної постановки задачі, необхідності врахування багатокритеріальності і невизначеності вихідних даних.

Традиційний підхід, заснований на декомпозиції задачі на дві умовно незалежні підзадачі: багатокритеріальної оптимізації в детермінованій, без врахування невизначеності, постановці і прийняття рішення в умовах невизначеності для скалярної цільової функції в сучасних умовах, не задовольняє вимогам практики за точністю і ефективністю.

Це обумовлене 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, базується на розрахунку узагальненої багатофакторної скалярної оцінки (функції корисності) та на поганому структурованих, суб'єктивних експертних оцінках, детермінізація яких призводить до великих похибок. З іншого боку, методи прийняття рішень в умовах невизначеності за скалярною оцінкою очікуваного ефекту, без врахування його інтервального характеру, так само не адекватні.

У роботі обґрунтована необхідність комплексного підходу до вирішення задачі прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та інтервальної невизначеності, яка полягає в такому: синтезується модель багатокритеріального оцінювання з врахуванням інтервальної невизначеності, на основі цієї моделі обчислюється інтервальне значення корисності, визначається точкове рішення, як багатокритеріальний компроміс між його ефективністю і можливими ризиками.

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

**Другий розділ дисертації** присвячений розробці моделей урахування різноманітних видів невизначеності при розрахунку функції корисності, як обов'язкового етапу комплексного вирішення задач багатокритеріального вибору рішення.

У роботі прийняте припущення, що будь-який параметр або змінну моделі багатofакторного скалярного оцінювання (функції корисності) можна представити в інтервальному вигляді, тобто у вигляді інтервального числа  $[D_l, D_r]$ , де  $D_l$  - ліва, а  $D_r$  - права границя на числовій осі. Розмах інтервалу  $\Delta D = [D_r - D_l]$  кількісно характеризує ступінь визначеності величини, при  $D_l = D_r$  величина задається точковим детермінованим значенням.

Найважливішою якісною характеристикою невизначеності є інформація про характер розподілу можливих значень усередині інтервалу. За цією ознакою виділяють:

- статистичну (імовірнісну) невизначеність;
- нечітку (представлену у вигляді нечіткої множини) невизначеність;
- інтервальні рівноможливі величини.

У випадку статистичної невизначеності характер розподілу значень на інтервалі задається функцією розподілу імовірності та відповідними статистичними параметрами: математичним сподіванням, дисперсією тощо. Проте в багатьох випадках статистична оцінка не може бути отримана з причин відсутності представницької вибірки спостережень, її статистичної неоднорідності, або коли аналізована величина принципово не може бути інтерпретована як випадкова. Прикладом можуть служити нечіткі числа «близько 5», «приблизно 2», «менше 3» та багато інших нечітких лінгвістичних тверджень. У цьому випадку характер розподілу можливих значень на інтервалі може бути описаний функцією належності нечіткої множини. Ця інформація повністю суб'єктивна, тому що функцію належності задає особа, що приймає рішення (ОПР), і вона відображає знання і досвід одного або групи експертів. Так само у аналітика може бути відсутня як об'єктивна, так і суб'єктивна інформація про характер розподілу можливих значень на інтервалі. У цьому випадку невизначеності розглядаються як інтервальні рівноможливі величини.

У роботі показано, що модель обчислення функції корисності в загальному випадку являє собою деякий фрагмент поліному Колмогорова-Габора, лінійний за параметрами, але нелінійний за змінними (частковими критеріями). У розширеному просторі змінних модель функції корисності  $P(x)$  в загальному вигляді можна розглядати як адитивну функцію виду

$$\bar{P}(x) = F[\bar{a}_i, \bar{k}_i^H(x)], \quad (1)$$

де знаком « $\bar{\phantom{x}}$ » позначені інтервальні невизначені величини, незалежно від їх виду, тобто можливих значень усіх НЕ – факторів, що впливають на характеристики оцінки функції корисності. В якості таких НЕ – факторів виступають  $\bar{a}_i$  – безрозмірні вагові коефіцієнти, що задовольняють вимогам  $0 \leq \bar{a}_i \leq 1, \sum_{i=1}^n \bar{a}_i = 1$ ;  $\bar{k}_i^H(x)$  –

нормалізовані, приведені до безрозмірного виду, однакової метрики і на пряму домінування частковій критерії.

Особливість моделі (1) полягає в тому, що, оскільки змінні є інтервальними величинами, результат оцінювання, тобто корисність  $\bar{P}(x)$ , є інтервальним числом. Кінцева задача процедури прийняття рішень полягає у виборі конкретного точкового рішення.

Можливі два підходи до вирішення проблеми вибору точкового рішення. Перший полягає в детермінізації усіх вихідних невизначеностей на етапі формалізації вихідної задачі багатокритеріальної оптимізації. При такому підході втрачається принципово важлива інформація про інтервал ефективності, тобто потенційно можливі за ефективністю максимальні (оптимістичні) і мінімальні (песимістичні) рішення.

Альтернативною є методологія прийняття рішень в умовах невизначеності, яка передбачає обчислення інтервальних значень корисності рішень за моделлю (1) і подальший вибір точкового рішення як компромісу між оптимістичним та песимістичним рішеннями, наприклад, на основі VaR технологій.

З урахуванням специфіки виконання алгебро-арифметичних операцій для кожного виду інтервальної невизначеності визначені математичні моделі обчислення інтервальних значень корисності альтернативних рішень:

а) в умовах імовірнісної невизначеності

1) для рівноімовірнісного закону розподілу

$$M = \frac{(a + b)}{2} ; D = \frac{(b - a)^2}{12} , \quad (2)$$

2) для нормального закону розподілу

$$M = \frac{(a + b)}{2} , \sigma = \frac{b - a}{6} , D = \sigma^2 . \quad (3)$$

Формування границь результуючого інтервалу проводиться згідно з правилом трьох сигм

$$a_p = M - 3\sigma , b_p = M + 3\sigma , \quad (4)$$

б) нечітка (представлена у вигляді нечіткої множини) невизначеність

додавання нечітких чисел

$$(a, \alpha, \beta)_{LR} + (b, \gamma, \delta)_{LR} = (a + b, \alpha + \gamma, \beta + \delta)_{LR} , \quad (5)$$

віднімання нечітких чисел

$$(a, \alpha, \beta)_{LR} - (b, \gamma, \delta)_{RL} = (a - b, \alpha + \gamma, \beta + \delta)_{LR} , \quad (6)$$

множення нечітких чисел

1)  $\forall A, B$  таких, що  $\mu_A, \mu_B \in F(\mathbb{R}^+)$ ,  $a > 0$ ,  $b > 0$ ,

$$(a, \alpha, \beta)_{LR} * (b, \gamma, \delta) \approx (ab, a\gamma + b\alpha, a\delta + b\beta)_{LR} , \quad (7)$$



2)  $\forall A, B$  таких, що  $\mu_A, \mu_B \in F(R)$ ,  $a < 0$ ,  $b > 0$ ,

$$(a, \alpha, \beta)_{LR} * (b, \gamma, \delta) \approx (ab, b\beta - a\delta, b\delta + a\gamma)_{RL}, \quad (8)$$

3)  $\forall A, B$  таких, що  $\mu_A, \mu_B \in F(R)$ ,  $a < 0$ ,  $b < 0$ ,

$$(a, \alpha, \beta)_{LR} * (b, \gamma, \delta) \approx (ab, -b\beta - a\delta, -b\alpha - a\gamma)_{RL}, \quad (9)$$

ділення нечітких чисел

$$(a, \alpha, \beta)_{LR} / (b, \gamma, \delta)_{RL} \approx \left( \frac{a}{b}, \frac{a\delta + b\alpha}{b^2}, \frac{a\gamma + b\beta}{b^2} \right); \quad (10)$$

в) арифметичні операції над інтервалами  $A = [a_1, a_2]$  і  $B = [b_1, b_2]$  для невизначеностей, заданих у вигляді рівноможливих значень

$$\begin{cases} A + B = [a_1 + a_2, b_1 + b_2] \\ A - B = [a_1 - b_2, a_2 - b_1] = A + [-1, -1] \cdot B, \\ A \cdot B = [\min\{a_1 a_2\}, \{a_1 b_2\}, \{a_2 b_1\}, \{b_1 b_2\}, \\ \max\{a_1 a_2\}, \{a_1 b_2\}, \{a_2 b_1\}, \{b_1 b_2\}], \\ A / B = [a_1 a_2] \cdot [1/b_1, 1/b_2]. \end{cases} \quad (11)$$

У другому розділі синтезовані спеціалізовані моделі обчислення інтервальних значень функції корисності альтернатив. Їх реалізація для кожного конкретного типу невизначеності не викликає принципових труднощів, особливо з використанням обчислювальної техніки.

Принципові труднощі виникають у тому разі, коли модель функції корисності (1) містить в собі невизначеності різних типів: імовірнісні, нечіткі множини, рівноможливі інтервали. Кожна з них має свою семантику, тобто «розмірність», і спеціалізовані моделі обчислення. Тому для розрахунку загального інтервального значення функції корисності їх потрібно приводити до одного виду (форми).

**Третій розділ** дисертації присвячений експериментальному дослідженню можливості і точності взаємної трансформації різних видів інтервальної невизначеності. Наведено метод класифікації типів інтервальної невизначеності та метод проведення обчислювальних експериментів для оцінки можливості та адекватності трансформації до базового виду різних типів інтервальної невизначеності.

Метод класифікації типів інтервальної невизначеності передбачає на першому етапі нормалізацію всіх часткових критеріїв на основі спеціалізованої моделі, що забезпечує приведення їх до безрозмірного виду, єдиного інтервалу можливих значень і напрямку домінування.

Найбільш загальний підхід до вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації базується на формуванні на множині різнорідних часткових критеріїв узагальненої скалярної оцінки (функції корисності); модель обчислення функції корисності являє собою певний фрагмент полінома Колмогорова-Габор, що

дозволяє обчислити детерміноване значення корисності рішень. На другому етапі формується модель функції корисності.

На третьому етапі синтезується загальна модель врахування невизначеності вихідних даних (значень часткових критеріїв і параметрів моделі). В якості загальної форми обліку невизначеності прийнято інтервальний вигляд.

На четвертому етапі класифікуються інтервальні невизначеності за характером розподілу можливих значень усередині інтервалу (статистичні, нечіткі, рівноможливі), для кожного типу невизначеності синтезується спеціалізована модель розрахунку інтервальних значень корисності.

Запропонований метод дозволяє принципово підвищити точність розрахунків інтервальних невизначеностей корисності рішень.

Найбільш загальний підхід до вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації заснований на формуванні на множині різнорідних часткових критеріїв узагальненої скалярної оцінки (функції корисності), модель обчислення функції корисності являє собою певний фрагмент полінома Колмогорова-Габора, обчислення якого потребує реалізації тільки арифметичних операцій у разі детермінованих значень всіх змінних, тобто часткових критеріїв і відносних значень вагових коефіцієнтів.

Разом з цим частковими критеріями є виміряні характеристики альтернативних рішень, але оскільки абсолютно точних вимірювальних пристроїв не існує, часткові критерії будуть містити більшу або меншу інтервальну невизначеність. Так само і значення вагових коефіцієнтів, які визначаються методами експертного оцінювання або компараторної ідентифікації. Особливість обох методів ідентифікації вагових коефіцієнтів полягає в тому, що вони обов'язково дають методичну інтервальну похибку. Усі змінні, які входять в модель обчислення скалярного значення функції корисності, містять інтервальну невизначеність (1).

Як показано в розділі 2, для кожного виду інтервальної невизначеності (імовірного, нечіткого, рівноможливого) існує спеціалізована арифметика, і обчислення інтервального значення корисності (1), у разі якщо всі змінні містять невизначеності одного виду, не становить труднощів. Принципові труднощі виникають у тому випадку, якщо модель (1) містить змінні з різними типами інтервальної невизначеності. Оскільки всі типи невизначеності мають різну розмірність, їх принципово не можна об'єднувати в одній обчислювальній моделі, що робить неможливим обчислення інтервального значення корисності.

Можливі такі способи подолання зазначених труднощів:

- детермінізація всіх змінних, тобто виключення всіх невизначеностей;
- трансформація різних видів невизначеностей до одного базового виду (імовірнісного, нечіткого або рівноможливого);
- поєднання першого і другого підходів.

Реалізація зазначених підходів пов'язана із втратою корисної інформації, але у першому випадку ці втрати значно більші, тому що призводять до повної втрати інформації про інтервал можливих точкових рішень. У другому випадку втрати корисної інформації менші, але при переході до базового виду доводиться не

враховувати частини корисної інформації заміщаючи її ентропією. При цьому виникають більші або менші похибки обчислення інтервальних значень корисності альтернативних рішень, і можлива зміна відношення порядку на множині альтернатив. Для оцінки вказаних похибок і визначення принципової можливості взаємної трансформації різних типів невизначеності у роботі розроблено метод, згідно з яким виконаний великий обсяг тестових обчислювальних експериментів: формування еталонного точкового рішення; завдання інтервальних значень; обчислення інтервальних значень для імовірнісних, нечітких, рівноможливих значень; аналіз результатів: порівняння за величиною інтервалів невизначеності; порівняння відношення порядку альтернатив; порівняння по силі переваги.

Обчислювальним експериментам піддавалися моделі функції корисності, що представляють собою як лінійні адитивні фрагменти полінома Колмогорова-Габора, так і моделі, що містять нелінійні члени не вище другого порядку. Варіювання виду та складності функції корисності, дозволяє перевірити ступінь залежності кінцевого результату від виду моделі.

Для того, щоб перевірити ступінь впливу на кінцевий результат тестування, варіювалося кількість альтернативних рішень, на яких встановлювалося відношення порядку, і розмірність кортежу часткових характеристик (критеріїв). При цьому точкові значення окремих критеріїв для кожної альтернативи формувалося випадковим чином за допомогою датчика випадкових чисел, розподілених за законом рівної імовірності. Ці точкові значення окремих критеріїв приймалися як опорний (еталонний) варіант і для нього розраховувалися детерміновані значення функції корисності всіх альтернатив. На основі значень функції корисності встановлювалося відношення порядку на множині альтернатив і обчислювалася сила їх переваги.

Далі для детермінованих значень часткових критеріїв задавався однаковий для всіх видів невизначеності інтервал можливих значень, який потім трансформувався в імовірнісну (розподілену за нормальним і рівноімовірнісним законом), в нечітку, з трикутною функцією приналежності, та інтервальну рівноможливу форми невизначеності. Для кожної альтернативи обчислювалося інтервальне значення, що відповідає виду невизначеності. Ранжирування інтервальних корисностей проводилося за точковими значеннями відповідного центру (математичного сподівання, моді, середньому значенню) інтервалів. Результати розрахунків наведені нижче.

Результати тестового моделювання різних видів інтервальної корисності для адитивної функція корисності розмірністю  $n = 2$ .

Розглядається базисний варіант розрахунку корисності рішення для двохкритеріальної моделі оцінювання, яка має вигляд

$$P(x_j) = \sum_{i=1}^n a_i k_i(x_j) \quad (12)$$

з детермінованими частковими критеріями і ваговими коефіцієнтами. Вихідні дані представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Детерміновані вихідні дані

Альтернатива	$k_1(x)$	$k_2(x)$	$a_1$	$a_2$
1	0,9	0,2	0,2	0,8
2	0,28	0,55	0,2	0,8
3	0,5	0,7	0,2	0,8
4	0,15	0,8	0,2	0,8
5	0,05	0,59	0,2	0,8
6	0,44	0,95	0,2	0,8
7	0,75	0,1	0,2	0,8

Результати розрахунків надані у табл. 2, 3.

Таблиця 2 – Значення корисності альтернатив

№	1	2	3	4	5	6	7
$P(x)$	0,34	0,496	0,66	0,67	0,482	0,848	0,23

Відношення порядку, сформованого за результатами табл. 2, мають вигляд

$$x_6 \succ x_4 \succ x_3 \succ x_2 \succ x_5 \succ x_1 \succ x_7.$$

Таблиця 3 – Сила переваг

$S_{64}$	$S_{43}$	$S_{32}$	$S_{25}$	$S_{51}$	$S_{17}$
0,178	0,01	0,164	0,014	0,142	0,11

Тестове моделювання невизначеностей різних видів проводилося на основі вихідних даних, які надані в табл. 4.

Таблиця 4 – Інтервальні значення часткових критеріїв

Альтернатива	$k_1$	$k_2$	$a_1$	$a_2$
1	[0,8; 1]	[0,15; 0,25]	0,2	0,8
2	[0,22; 0,34]	[0,48; 0,62]	0,2	0,8
3	[0,37; 0,63]	[0,64; 0,76]	0,2	0,8
4	[0,1; 0,2]	[0,72; 0,88]	0,2	0,8
5	[0; 0,1]	[0,44; 0,74]	0,2	0,8
6	[0,4; 0,48]	[0,9; 1]	0,2	0,8
7	[0,6; 0,9]	[0; 0,2]	0,2	0,8

Результати розрахунків для випадку, коли часткові критерії розподілені за нормальним законом, надані в табл. 5 і 6, за рівно імовірнісним законом – в табл. 7 та 8; у вигляді нечітких чисел – в табл. 9 та 10, у вигляді інтервальних значень – в табл. 11 та 12.

Таблиця 5 – Нормальний закон

Альтернатива	M	D	Границі інтервалу		Δ
			ліва	права	
1	0,34	0,0002222	0,2952786	0,3847214	0,0894427
2	0,496	0,0003644	0,4387287	0,5532713	0,1145426
3	0,66	0,0003311	0,6054106	0,7145894	0,1091788
4	0,67	0,0004662	0,6052235	0,7347765	0,1295531
5	0,482	0,0016111	0,3615841	0,6024159	0,2408319
6	0,848	0,0001849	0,8072078	0,8887922	0,0815843
7	0,23	0,0008111	0,14456	0,31544	0,1708801

Відношення порядку, сформованого за результатами табл. 5, мають вигляд

$$x_6 \succ x_4 \succ x_3 \succ x_2 \succ x_5 \succ x_1 \succ x_7.$$

Таблиця 6 – Сила переваг

$S_{64}$	$S_{43}$	$S_{32}$	$S_{25}$	$S_{51}$	$S_{17}$
0,178	0,01	0,164	0,014	0,142	0,11

Таблиця 7 – Рівноімовірнісний закон

№	M	D	Границі інтервалу		Δ
			ліва	права	
1	0,34	0,0006667	0,2625403	0,4174597	0,1549193
2	0,496	0,0010933	0,3968032	0,5951968	0,1983935
3	0,66	0,0009933	0,5654484	0,7545516	0,1891031
4	0,67	0,0013987	0,5578037	0,7821963	0,2243925
5	0,482	0,0048333	0,2734335	0,6905665	0,4171331
6	0,848	0,0005547	0,7773459	0,9186541	0,1413082
7	0,23	0,0024333	0,0820135	0,3779865	0,295973

Відношення порядку, сформованого за результатами табл. 7, мають вигляд

$$x_6 \succ x_4 \succ x_3 \succ x_2 \succ x_5 \succ x_1 \succ x_7.$$

Таблиця 8 – Сила переваг

$S_{64}$	$S_{43}$	$S_{32}$	$S_{25}$	$S_{51}$	$S_{17}$
0,178	0,01	0,164	0,014	0,142	0,11

Таблиця 9 – Нечіткі числа

№	Границі інтервалів і мода			Δ
	ліва	$\mu=1$	права	
1	0,28	0,62	0,68	0,4
2	0,428	0,924	0,992	0,564

Продовження табл. 9

3	0,586	1,246	1,32	0,734
4	0,596	1,266	1,34	0,744
5	0,352	0,834	0,964	0,612
6	0,8	1,648	1,696	0,896
7	0,12	0,35	0,46	0,34

Відношення порядку, сформованого за результатами табл. 9, мають вигляд

$$x_6 \succ x_4 \succ x_3 \succ x_2 \succ x_5 \succ x_1 \succ x_7.$$

Таблиця 10 – Сила переваг

$S_{64}$	$S_{43}$	$S_{32}$	$S_{25}$	$S_{51}$	$S_{17}$
0,382	0,02	0,322	0,09	0,214	0,27

Таблиця 11 –Інтервальні рівноможливі значення

№	Границі інтервалу		Центр інтервалу	$\Delta$
	ліва	права		
1	0,28	0,4	0,34	0,12
2	0,428	0,564	0,496	0,136
3	0,586	0,734	0,66	0,148
4	0,596	0,744	0,67	0,148
5	0,352	0,612	0,482	0,26
6	0,8	0,896	0,848	0,096
7	0,12	0,34	0,23	0,22

Відношення порядку, сформованого за результатами табл. 11, мають вигляд

$$x_6 \succ x_4 \succ x_3 \succ x_2 \succ x_5 \succ x_1 \succ x_7.$$

Таблиця 12 – Сила переваг

$S_{64}$	$S_{43}$	$S_{32}$	$S_{25}$	$S_{51}$	$S_{17}$
0,178	0,01	0,164	0,014	0,142	0,11

Результати тестових розрахунків для нелінійних функцій корисності, різної кількості часткових критеріїв, альтернатив і таке інше наведені у Додатку А дисертаційної роботи.

Аналіз результатів розрахунків показав, що як базова форма представлення інтервальних невизначеностей при вирішенні задач прийняття рішень в умовах багатокритеріальності і інтервальної невизначеності найбільш прийнятними є інтервальні рівноможливі значення та інтервали з рівномірним розподілом значень.

При цьому змінюються тільки кількісні значення інтервалів невизначеності, але зберігаються відношення порядку та сила переваг.

У четвертому розділі синтезовано модель вибору ефективного рішення багатокритеріальних задач в умовах інтервальної невизначеності на прикладі вирішення задач розподілу інвестиційних ресурсів розвитку підприємства. На цьому прикладі показана прикладна спрямованість та універсальність розроблених у дисертації методів прийняття рішень.

Загальна постановка задачі полягає в такому. Розглядається сильно централізована ієрархічна виробнича система: «координаційний» організаційний управляючий центр (УЦ) – підпорядковані виробничі підрозділи (ВП).

У процесі нормального функціонування кожний виробничий підрозділ, переробляючи виробничі ресурси, генерує ефект  $E_i$ ,  $i=\overline{1,n}$ , де  $n$  – кількість підрозділів. Мета системи має вигляд

$$E_s = F(E_i) \rightarrow \max_{E_i}, \quad (13)$$

Центр має у своєму розпорядженні деяку обмежену кількість моноресурсу ( $R$ ), яку він може інвестувати в кількості  $r_i$  у розвиток підрозділів для підвищення їх ефективності. Одержуючи ресурс, кожний підрозділ генерує ефект  $E_i$

$$E_s = E_s^0 + \max_{r_i} F[E_i(r_i)], \quad (14)$$

де  $r_i$  – обсяг інвестиційних ресурсів, виділених на розвиток  $i$ -го виробничого підрозділу системи;

$$R \leq \sum_{i=1}^n r_i, \quad (15)$$

обмеження на сумарний обсяг інвестиційних ресурсів.

Вихідна задача (13) трансформується в задачу формування ефективної інвестиційної політики розвитку системи

$$r_i^0 = \arg \max_{r_i \in R} F[E_i(r_i)]. \quad (16)$$

Особливість розв'язання задачі (16) обумовлена двома обставинами: багатofакторністю поняття «ефективності» виробничої системи і неповнотою (невизначеністю) вихідної інформації моделі (16). Це означає, що завдання (16) є задачею багатокритеріальної оптимізації, що вирішується в умовах інтервальної невизначеності вихідних даних.

Перша обставина пов'язана з тим, що  $i$ -та підсистема, отримавши інвестиційні ресурси в кількості  $r_i$ , може їх використати на розвиток виробництва ( $r_{ij}$ ,  $j=1$ ), на вирішення екологічних ( $r_{ij}$ ,  $j=2$ ) або соціальних ( $r_{ij}$ ,  $j=3$ ) проблем. Ефект оцінюється адитивною функцією корисності виду  $E_i(r_i) = \sum_{j=1}^3 a_{ij} E_{ij}(r_{ij})$ .

Завдання полягає в тому, щоб розподілити обмежені інвестиційні ресурси між локальними виробничими елементами у такий спосіб, щоб максимізувати сумарний ефект системи загалом

$$r_i^0 = \arg \max_{r_i \in R} \sum_{i=1}^n b_i E_i(r_i), \quad (17)$$

при обмеженні (15) де  $E_i(r_i)$  – очікуваний ефект  $i$  виробничої підсистеми;  $b_i$  – вагові коефіцієнти значущості виробничих підсистем.

З урахуванням викладеного, загальна модель ефективного розподілу інвестиційних ресурсів має вигляд

$$r_i^0 = \arg \max_{r_i \in R} \sum_{i=1}^n b_i \left\{ \sum_{j=1}^3 a_{ij} \left[ \frac{\left( \frac{r_{ij} - r_{ij}^{\min}}{r_{ij}^{\max} - r_{ij}^{\min}} \right)^{\alpha_{ij}}}{r_{ij}^{\max}} \right] \right\}, \quad (18)$$

де  $r_{ij}^{\min}$ ;  $r_{ij}^{\max}$  – константи, що визначають область припустимих рішень;  $\alpha_{ij}$  – параметри, що визначають вид виробничих функцій,  $a_{ij}$  – безрозмірні коефіцієнти відносної важливості, що задовольняють умові

$$0 \leq a_{ij} \leq 1; \quad \sum_{j=1}^3 a_{ij} = 1; \quad (19)$$

$b_i$  – вагові коефіцієнти значущості виробничих підсистем (їх ефектів), за умови виконання обмеження (15).

Для визначення числових рішень синтезованої задачі ефективного розподілу інвестиційних ресурсів у роботі запропоновано використовувати метод покоординатного спуску, який є простим для користувача не програміста, і наочним і зрозумілим для економіста-аналітика. Разом з цим відомо, що метод покоординатного спуску є методом безумовної оптимізації, тоді як синтезована задача є задачею умовної оптимізації, тобто повинна враховувати велику кількість активних обмежень на загальні і локальні ресурси. Тому в роботі використаний метод штрафних функцій, а саме метод бар'єрних функцій, відомий як метод внутрішньої точки.

З урахуванням цього модель (18) набуде вигляду:

$$r_i^0 = \arg \max_{r_i \in R} \sum_{i=1}^n b_i \left\{ \sum_{j=1}^3 a_{ij} \left[ \frac{\left( \frac{r_{ij} - r_{ij}^{\min}}{r_{ij}^{\max} - r_{ij}^{\min}} \right)^{\alpha_{ij}}}{r_{ij}^{\max}} \right] \right\} + r_k \sum_{v=1}^l \frac{1}{h_v(r)}; \quad (19)$$

де  $h_v(r)$  – обмеження на ресурси у вигляді нерівностей,  $r_k$  – параметр штрафу ( $r_k \rightarrow 0$ , при  $k \rightarrow \infty$ ).

У роботі реалізована відповідна програма (додаток В дисертації), на основі якої виконані тестові розрахунки по визначенню варіантів ефективних інвестиційних рішень для різних інтервальних значень обмежень, вагових



коефіцієнтів і показників виробничих функцій. Приклад наведений в табл. 13–14, а більш повні результати наведені у дисертації.

Таблиця 13 - Вихідні дані тестового рішення задачі розподілу інвестиційних ресурсів для двох виробничих підрозділів

П1	Обмеження на ресурси підрозділу	Коефіцієнт значущості підрозділу	$\alpha_{\min}$	$\alpha_{\max}$
	60000	0,6	0,1	0,3
Напрямок	Мінімум	Максимум	Коефіцієнт значущості напрямку	
Економіч.	4000	50000	0,2	
Соціальн.	3000	25000	0,3	
Екологіч.	7000	60000	0,5	
П2	Обмеження на ресурси підрозділу	Коеф. значущості підрозділу	$\alpha_{\min}$	$\alpha_{\max}$
	40000	0,4	0,1	0,3
Напрямок	Мінімум	Максимум	Коефіцієнт значущості напрямку	
Економіч.	3000	20000	0,4	
Соціальн.	200	25000	0,2	
Екологіч.	6000	40000	0,4	

Таблиця 14 – Результати тестового рішення задачі розподілу інвестиційних ресурсів для двох виробничих підрозділів

$\alpha_{\min}$	Економіч.	Соціальн.	Екологіч.
П1	41125	5125	7125
П2	15125	6125	9125
$\alpha_{\max}$	Економіч.	Соціальн.	Екологіч.
П1	42125	4125	7125
П2	16125	7125	7125

Таблиця 15 – Остаточне інвестиційне рішення

Виробничий підрозділ	Інвестиційне рішення			Разом
	Розвиток виробничих потужностей	Соціальна сфера	Екологічний аспект	
П1	42 125	5 125	7 125	54 375
П2	16 125	7 125	9 125	32 375

Для ієрархічної дворівневої системи, що складається із двох виробничих підсистем, був розроблений програмний засіб, на основі якого проведені тестові розрахунки розподілу обмежених інвестиційних ресурсів (вихідні дані представлені в

табл. 13) по визначенню оптимальних обсягів інвестицій у виробничий сектор, на розвиток соціальної сфери й підвищення екологічної безпеки. Результати розрахунків по ухваленню інвестиційного рішення наведені в табл. 15.

Розроблений програмний засіб є базовим для СППР при прийнятті багатокритеріальних інвестиційних рішень і дозволяє скоротити термін рішення задачі, виконувати різноманітний аналіз і забезпечує прийняття ефективних рішень по плануванню розвитку виробництва.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі отримані результати, що відповідають меті дослідження і в сукупності є рішенням актуальної науково-практичної задачі розробки математичної моделі, методу і інструментальних засобів прийняття рішень в умовах багатокритеріальності з урахуванням інтервальної невизначеності різних типів.

Основні результати роботи:

1. Новий метод вибору типу інтервальної невизначеності, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення в умовах різнорідної (статистичної, нечіткої, рівноможливої) інтервальної невизначеності.

2. Новий метод проведення обчислювальних експериментів для оцінки можливості та адекватності трансформації до базового виду різних типів інтервальної невизначеності, дозволяє кількісно порівняти інтервальні значення корисності рішень при взаємній трансформації різних видів невизначеності.

3. Розвинено три спеціалізовані моделі для статистичної, нечіткої, інтервальної рівноможливої невизначеностей обчислення інтервальних значень функції корисності, що враховують відповідну невизначеність. Це дає можливість збільшити корисність рішення.

4. Виконано експериментальне тестове моделювання багатокритеріальної задачі в умовах різнорідної інтервальної невизначеності, що надало змогу визначити можливість та точність приведення різних типів невизначеності до одного базового виду.

5. Результати тестового дослідження показали принципову можливість трансформації різних видів невизначеності до базового виду, за який прийняті рівноімовірнісні і рівноможливі форми представлення інтервалів. При цьому зберігаються відношення порядку і взаємна сила переваг альтернативних рішень.

6. Отримано точкове рішення багатокритеріальної задачі в умовах різнорідної інтервальної невизначеності з урахуванням негативних и позитивних ризиків, що дозволяє збільшити ефективність рішення і зменшити можливі втрати.

7. Запропоновані у дисертації моделі, методи та інструментальні засоби дозволяють вирішити задачу ефективного розподілу інвестиційних ресурсів розвитку виробництва в умовах багатокритеріальності і невизначеності вхідних даних. Результати розрахунку підтвердили працездатність і практичну цінність запропонованих у дисертації методів на моделях.

8. Тестові приклади показали, що розроблені моделі вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах різнорідної інтервальної невизначеності

мають високу точність (близько 70%) і адекватно встановлюють відношення порядку на множині суперечливих альтернативних рішень. Результати роботи впроваджені та використовуються у ПрАТ «Інститут автоматизованих систем» (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.

9. У сукупності, отримані результати є теоретичною основою створення систем підтримки прийняття рішень широкого призначення.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. 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.

2. Крючковский В.В. Информативная предпочтительность статистической формы представления исходных данных в условиях интервальной неопределенности / В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н.А. Брынза // Научно-технические ведомости СПбГПУ «Информатика. Телекоммуникации. Управление». – 2010. – №4 (103). – С. 11–18.

3. Крючковский В.В. Системный анализ зависимости величины интервалов неопределенности полезности решений от формы представления исходной информации / В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н.А. Брынза // Вестник БрГТУ. – 2011. – №5 (71). – С. 13–18. – (Физика, математика, информатика).

4. Пискалова О.А. Анализ особенностей решения задач многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности / О.А. Пискалова, Н.А. Брынза, Д.И. Филипская // Системные технологии. – Вып. 3(56). – 2008. – С. 147–157.

5. Крючковский В.В. Анализ адекватности взаимной трансформации неопределенностей при вычислении скалярных интервальных значений полезности альтернатив / В.В. Крючковский, Н.А. Брынза, А.Х. Баддур // Вестник НТУ «ХПИ». – 2010. – № 9. – С. 169–177.

6. Крючковский В.В. Исследование корректности взаимной трансформации различных видов интервальной неопределенности / В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н.А. Брынза // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2010. – Вып. 46. – С. 174–188.

7. Брынза Н.А. Вычисление многофакторных скалярных оценок на множестве интервальных величин / Н.А. Брынза // Радиоелектроніка і молодь у ХХІ ст.: 12-й Міжнар. молодіж. форум, 1–3 квіт. 2008 р.: зб. матер. – Харків, 2008. – Ч. 2. – С. 333.

8. Брынза Н.А. Учет интервальной неопределенности при принятии решений / Н.А. Брынза // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития (МРФ – 2008): 3-й Междунар. радиоэлектронный форум, междунар. конф. «Информационные компьютерные технологии и системы», 22–24 окт. 2008 г.: сб. науч. трудов. – Харьков, 2008. – С. 90–91.

9. Брынза Н.А. Интерпретация интервальной неопределенности при принятии решений / Н.А. Брынза // Информационные интеллектуальные системы, бионика

интеллекта – 2008 (ИИС/БИ'2008): 1-я факультетская науч.-практич. молодеж. школа-семинар, 2–4 дек. 2008 г.: тез. докл. – Харьков, 2008. – С. 93–94.

10. Брынза Н.А. Метод вычисления интервала возможных значений интервальной функции / Н.А. Брынза // Радиоэлектроника и молодежь в XXI ст.: 13-й Междунар. молодеж. форум, 30 мар. – 1 апр. 2009 г.: сб. матер.– Харьков, 2009. – Ч. 2. – С. 271.

11. 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: міжнар. наук.-практ. конф., 25–27 трав. 2009 р. – Херсон, 2009. – Том 1. – С. 63–64.

12. Брынза Н.А. Выбор эффективного решения в условиях нестационарности параметров системы / Н.А. Брынза, О.А. Пискалова // Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании «ИНФОТЕХ-2009»: науч.-практ. конф., 7–12 сент. 2009 г.: тез. докл. – Севастополь, 2009. – С. 88–91.

13. Брынза Н.А. Сравнительный анализ интервальных значений полезности решений при различных видах неопределенности / Н.А. Брынза // Інформаційні інтелектуальні системи – 2009: друга факультетська наук.-практ. молодіж. школа-семінар, 8–9 груд. 2009 р.: тези доп. – Харків, 2009. – С. 10–13.

14. Брынза Н.А. Ранжирование и выбор оптимального альтернативного решения / Н.А. Брынза // Радиоэлектроника и молодежь в XXI ст.: 14-й між нар. молодіж. форум, 18–20 мар. 2010 г.: сб. матер. – Харьков, 2010. – Ч. 2. – С. 271.

15. Брынза Н.А. Анализ возможности взаимной трансформации различных видов неопределенности / Н.А. Брынза // Системний аналіз. Інформатика. Управління (САІУ - 2011): II Всеукраїнська наук.-практ. конф., 10–11 бер. 2011 р.: тези доп. – Запоріжжя, 2011. – С. 39–40. – (Академія наук вищої школи України, Класичний приватний університет.).

16. Брынза Н.А. Определение экстремального многокритериального явного решения в условиях интервальной неопределенности / Н.А. Брынза // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 15-й Юбил. Междунар. молодеж. форум, 18–20 апр. 2011 г.: сб. матер. – Харьков, 2011. – Т. 9. – С. 287–288.

17. Брынза Н.А. Формирование оптимального многокритериального решения в условиях стохастической неопределенности / Н.А. Брынза // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 16-й Междун. молодеж. форум, 17–19 апр. 2012 г.: сб. матер. – Харків, 2012. – Т.6. – С. 326–327.

18. Брынза Н.О. Синтез моделі багатокритеріальної оптимізації інвестиційних рішень / Н.О. Бринза // Проблеми і перспективи ІТ-індустрії: 4-а Міжнар. наук.-практ. конф, 15–16 лист. 2012 р.: сб. матер. – Харків, 2012. – С. 235-236.

## АНОТАЦІЯ

Брынза Н.О. Методи і моделі прийняття багатокритеріальних рішень в умовах різномірної інтервальної невизначеності. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень. –

Харківський національний університет радіоелектроніки МОН України, Харків, 2013.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової задачі розробки методів і математичних моделей прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та невизначеності, поданої у вигляді різнорідних інтервальних величин, для забезпечення повноти і оптимальності прийнятих рішень.

Метою дисертаційної роботи є розробка формальних методів, математичних моделей і інструментальних засобів прийняття ефективних рішень в умовах багатокритеріальності з урахуванням інтервальної невизначеності вхідних даних.

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

Предмет дослідження методи та математичні моделі прийняття багатокритеріальних рішень в умовах різнорідної інтервальної невизначеності.

У дисертаційній роботі вперше обґрунтовано метод класифікації типів інтервальної невизначеності, який відрізняється тим, що в його основу покладена інформація щодо характеру розподілу можливих значень усередині інтервалу; запропоновано метод проведення обчислювальних експериментів для оцінки можливості та адекватності трансформації до базового виду різних типів інтервальної невизначеності. Отримали подальший розвиток спеціалізовані моделі обчислення інтервальних значень функції корисності, що враховують імовірнісну невизначеність, нечіткі числа та інтервальні рівноможливі величини.

Результати тестового дослідження показали принципову можливість трансформації до базового виду, за який прийняті рівноімовірнісні і рівноможливі форми представлення інтервалів.

Сформульована задача ефективного розподілу інвестиційних ресурсів розвитку виробництва в умовах багатокритеріальності і невизначеності вхідних даних. Результати розрахунку підтвердили працездатність і практичну цінність запропонованих у дисертації методів та моделей.

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

## АННОТАЦІЯ

Брынза Н.А. Методы и математические модели принятия многокритериальных решений в условиях разнородной интервальной неопределенности. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.04 – системный анализ и теория оптимальных решений. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники МОН Украины, Харьков, 2013.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи разработки методов и математических моделей принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности, представленной в виде интервальных

разнородных величин, с целью обеспечения полноты и оптимальности принимаемых решений.

На основе проведенного анализа процедуры принятия решений в диссертационной работе поставлена цель – разработка формальных методов, математических моделей и инструментальных средств принятия эффективных решений в условиях многокритериальности с учетом интервальной неопределенности исходных данных.

Объект исследования – процесс принятия эффективных решений в условиях многокритериальности и неопределенности.

Предмет исследования – методы и математические модели принятия многокритериальных решений в условиях разнородной интервальной неопределенности.

В диссертационной работе впервые предложен метод классификации типов интервальной неопределенности, который отличается тем, что в его основу положена информация о характере распределения возможных значений внутри интервала, что дает возможность более точно вычислять значения полезности альтернативных решений.

Впервые предложен метод проведения вычислительных экспериментов для оценки возможности и адекватности трансформации к базовому виду различных типов интервальной неопределенности, который характеризуется возможностью определения величины интервалов, отношения порядка и сил предпочтения альтернативных решений, что позволяет более точно принять решение по выбору базовой формы интервалов.

Получили дальнейшее развитие специализированные модели вычисления интервальных значений функции полезности, учитывающие вероятностную неопределенность, нечеткие числа и интервальные равновозможные величины, путем учета типов неопределенности, что дает возможность на основе этого вычислить конкретные значения интервалов неопределенности.

Усовершенствованная модель выбора точечного решения в условиях интервальной неопределенности задачи учитывает негативные и позитивные риски, что дает возможность выбора аргументированного решения.

Предложена модель расчета интервальных значений функции полезности для каждого типа интервальной неопределенности: вероятностной, нечеткой и интервальной равновозможной. Обоснована необходимость в случае, когда модель определения полезности альтернативных решений содержит разнородные типы неопределенности, приведения их к одному базовому виду.

Решена задача распределения ограниченных инвестиционных ресурсов развития в иерархической двухуровневой производственной системе. Для такой задачи характерна многокритериальность, так как каждое подразделение генерирует разнокачественные экономические, социальные и экологические эффекты, неопределенность исходной информации за счет неполноты знаний вида и параметров производственных функций эффектов.

Полученные результаты составляют теоретическую основу создания систем поддержки принятия решений широкого назначения.

Полученные научные результаты являются научным базисом создания прикладных проблемно-ориентированных систем поддержки принятия решений в условиях многокритериальности и интервальной неопределенности.

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

## ABSTRACT

Brynza N.A. Methods and mathematical models of multicriteria decision making in a heterogeneous interval uncertainty. – Manuscript.

The thesis is presented for the obtaining of scientific degree of a candidate of technical science according to the specialization 01.05.04 – systems analysis and the theory of optimal solutions. – Kharkiv National University of Radio Electronics Ministry of education and science of Ukraine, Kharkiv, 2013.

The dissertation covers the actual scientific problem solving of decision making under uncertainty and multi criteria, in case when uncertainty is represented as heterogeneous interval values to ensure the completeness and optimality of decisions.

The aim of the thesis is the development of formal methods, mathematical models and tools to make effective decisions in given multicriteria interval uncertainty of input data.

The object of the research is the process of effective decision-making under conditions of uncertainty and multicriteria.

The subject of the research - methods and mathematical models of multiple criteria decision making in a heterogeneous interval uncertainty.

This thesis proposes method method of classification of types the interval uncertainty for the first time, which is different in that it is based on information about the distribution of possible values within the interval; a method of computational experiments to assess the feasibility and appropriateness of transformation to the base form of different types of interval uncertainty. Specialized computational models of interval values of the function of utility, which takes into account the probabilistic uncertainty, fuzzy numbers and interval equiprobable values, were further developed.

The results of the test research shown the possibility in principle of transformation to the basic type, which is regarded as the equiprobable and equally possible representation forms of an interval.

The problem of efficient allocation of investment resources of production development under multi criteria and uncertainty of input data has been formulated. The calculation results confirmed the operability and practical value of the methods and models suggested in the thesis.

**Key words:** decision making, multicriteria, interval uncertainty, uncertain set, expert evaluation, comparing identification, utility function, compromise solution.

Відповідальний випусковий Лисенко Е.В.

Підп. до друку \_\_\_\_\_ 2013 р. Формат  $60 \times 84^{1/16}$ . Спосіб друку – ризографія.  
Умов. друк. арк. 1,2. Облік. вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим. Зам.

№

---

Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14, ХНУРЕ

---

Віддруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ.

Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14