

УДК 330. 46

Ковальчук В. М.,*викладач кафедри математичного моделювання та інформаційних технологій в економіці Національного університету "Острозька академія"*

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВ'ЯЗАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ ЗАДАЧ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У НЕЧІТКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Статтю присвячено аналізу математичних моделей прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та невизначеності з метою підвищення їх обґрунтованості та ефективності.

Ключові слова: прийняття рішень, багатокритеріальність, невизначеність, моделювання слабоструктурованих задач, альтернатива, нечітке середовище, теорія нечітких множин.

Статья посвящена анализу математических моделей принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности с целью повышения их обоснованности и эффективности.

Ключевые слова: принятие решений, многокритериальность, неопределенность, моделирование слабоструктурированных задач, альтернатива, нечеткая среда, теория нечетких множеств.

The article deals with the analysis of mathematical models for decision making under multicriterianess and uncertainty to increase their justification and efficiency.

Key words: decision making, multicriterianess, uncertainty, modelling of semistructured problems, the theory of fuzzy sets, the fuzzy environment.

Постановка проблеми. Проблеми прийняття рішень останнім часом заслуговують на все більшу увагу. Це зумовлено зростаючим динамізмом навколишнього середовища, збільшенням взаємозалежності багатьох рішень, стрімким темпом розвитку науково-технічного прогресу. Керівники усіх рангів, приймаючи рішення, стикаються з проблемами пошуку інформації, невпевненістю, невизначеністю, а в деяких випадках і з конфліктністю у процесі вироблення рішення. Прийняття рішення – це комплексний та неоднозначний у часі динамічний процес, що виникає у випадку, коли необхідно обрати найкращий у певному сенсі варіант серед множини альтернативних варіантів для досягнення бажаного або заданого результату.

У загальному випадку процес прийняття рішення полягає в оцінці можливих альтернатив та виборі кращої з них за певними заданими критеріями-

ми. При цьому припускається, що реалізація будь-якого з варіантів рішень передбачає настання певних наслідків, аналіз та оцінка яких повністю характеризує обраний варіант. Для оцінювання альтернатив та можливих наслідків традиційно використовуються складні аналітичні розрахунки, знання фахівців-експертів, засоби сучасних інформаційних технологій.

Особливо актуальними є проблеми підтримки рішень у процесі управління соціально-економічними системами. Такі системи належать до категорії так званих цілеспрямованих систем, що мають ціль функціонування та містять у своєму складі людей як елементи [1, с. 8]. Такі системи являють собою надзвичайно складні об'єкти дослідження і характеризуються:

- неповторністю ситуацій вибору;
- складним для оцінювання характером альтернатив;
- недостатньою визначеністю наслідків дій;
- наявністю сукупності різнорідних чинників, які необхідно врахувати під час прийняття рішень;
- унікальністю та нестандартністю ситуацій, що виникають при прийнятті рішень;
- наявністю особи або групи осіб, які несуть відповідальність за прийняття рішень [2, с. 84].

При цьому за умов обмеженості усіх видів ресурсів, зростанні масштабів діяльності, загострення конкурентної боротьби безперервно зростають, з однієї сторони, складність рішень, що приймаються, а з іншої – вимоги до їх ефективності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженню процесів прийняття рішень присвячено багато праць зарубіжних і вітчизняних науковців, зокрема Дж. Неша, Дж. фон Неймана, О. Моргенштерна, Э. Мулена, В. А. Гурвіча, В. Ф. Ситника, Г. Саймона, Ю. В. Єршова, Є. І. Левіна. Значний внесок у розробку формальних математичних моделей та інструментальних засобів розв'язання задач прийняття рішень зробили такі вчені як Фішберн П., Кіні Р. Л., Райф Р., Сааті Т., Руа Б., Заде Л., Орловський С. А., Ларічев О. І., Салуквадзе М. Є., Подіновський В. В., Волошин О. Ф., Наконечний О. Г., Зайченко Ю. П., Панкратова Н. Д. та багато інших. Однак загалом проблема далека від повного вирішення, особливо при розв'язанні задач, пов'язаних з необхідністю урахування багатокритеріальності та невизначеності моделей вибору.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є аналіз та узагальнення основних підходів до формалізації процесу прийняття рішень в умовах невизначеності та багатокритеріальності.

Виклад основного матеріалу. В сучасних умовах дослідження складних економічних систем здійснюється не стільки заради пізнання самого об'єкта дослідження, скільки для забезпечення його цілеспрямованої діяльності. Дією, що надає будь-якій діяльності цілеспрямованості, є процес прийняття рішення. Саме вибір рішення забезпечує відповідність усієї ді-

яльності певній визначеній цілі або сукупності цілей. У процесі функціонування будь-якої економічної системи рано чи пізно настає момент, коли усі подальші дії можуть бути різними і призводять до різних результатів, проте реалізувати можна лише одну дію, причому повернутися до ситуації, що мала місце раніше (до початкового стану) не є можливим. Здатність приймати рішення в таких умовах є надзвичайно важливою якістю, притаманною особам, що приймають рішення (ОПР) в різній мірі.

В економічній діяльності проблеми вибору та прийняття рішень виникають при розв'язанні задач розвитку та функціонування, виборі стратегій дій, визначенні спеціальних завдань, делегуванні відповідальності, оцінюванні результатів, ініціюванні змін [2]. У таких випадках процес прийняття рішення зводиться до пошуку найкращих, у певному сенсі, альтернатив. При цьому широкого застосування набули методи математичного моделювання.

Низка дослідників, зокрема Сааті Т. А., Саймон Г. А., Ховард К. М. відзначають таку характерну ситуацію, що виникає при моделюванні процесів прийняття рішень:

1) повна формалізація процесу пошуку найкращих рішень можлива лише для добре вивчених, кількісно сформульованих задач;

2) для розв'язання якісно виражених задач повністю формальних алгоритмів не існує, окрім примітивного та не завжди прийняттого алгоритму перебору (методу проб та помилок).

У роботі [2] усі проблеми, що потребують прийняття рішень у процесі управління соціально-економічними системами, поділяють на три типи.

До першого типу належать добре структуровані проблеми, в яких основні залежності визначені настільки повно, що вони можуть бути виражені числами або символами, і тому легко формалізуються та програмуються. До таких завдань належать задачі бухгалтерського обліку, підготовки виробництва, функціонування кадрової системи, складського обліку тощо.

Другий тип – це неструктуровані проблеми, для яких описані лише важливі ресурси, ознаки і характеристики, а кількісні залежності між ними невідомі. Розв'язання таких задач можливе у разі застосування неформалізованих процедур, які базуються на неструктурованій, з високим рівнем невизначеності інформації. До таких завдань належить значна частина проблем прогнозування, перспективного планування, організаційного перетворення, проблеми прийняття стратегічних рішень. Більшість неструктурованих проблем розв'язується за допомогою евристичних методів, у яких не передбачена жодна упорядкована логічна процедура пошуку їх розв'язку, а сам метод цілком залежить від особистих характеристик людини (інформованості, кваліфікації, досвіду, інтуїції тощо). Особливістю евристичних методів є здатність здійснювати пошук рішення навіть тоді, коли не сформульовано задачу і невідомі способи її розв'язування [1, с. 159].

До третього типу належать слабоструктуровані (змішані) проблеми, що містять як кількісні, так і якісні елементи, причому маловідомі й не-

визначені акценти проблеми мають тенденцію домінувати. Термін "слабоструктуровані проблеми" (ill-structured) вперше був введений Г. Саймоном [3]. Для таких задач характерна відсутність методів розв'язання на основі безпосередніх перетворень даних. Постановка таких задач потребує прийняття рішень за умов недостатності інформації. До слабоструктурованих задач можна віднести задачі з розподілу капіталовкладень, вибору проєктів, проведення наукових досліджень і розробок, складання плану виготовлення виробів широкого вжитку тощо.

Характерними особливостями слабоструктурованих проблем є те, що:

- рішення, що приймаються, стосуються майбутнього;
- рішення є унікальними у тому сенсі, що кожного разу проблема є або новою для ОПР, або вона має нові особливості у порівнянні з проблемами, що вже мали місце;
- рішення пов'язані з невизначеністю в оцінках альтернатив, що об'єктивно зумовлена недостатньою кількістю інформації на момент прийняття рішення;
- оцінки альтернативних варіантів розв'язку слабоструктурованих задач мають якісний характер і в більшості випадків сформульовані вербально.

Найважливіша особливість слабоструктурованих проблем полягає в тому, що їх концептуальна модель може бути створена тільки на підставі додаткової інформації, яку надає особа, що бере участь у розв'язанні проблеми. Тому такі моделі не можуть бути об'єктивними, неупередженими.

У загальному випадку, прийняття рішення є дією над неперервною або дискретною множиною альтернатив, у результаті здійснення якої отримують підмножину обраних альтернатив. Звуження множини альтернатив можливо, якщо існує спосіб порівняння альтернатив між собою для визначення більш привабливих на основі деякого критерію переваги. При цьому вважається, що множина альтернатив, на якій необхідно здійснювати вибір, є попередньо сформованою, визначені цілі, заради яких здійснюється вибір та існують критерії оцінки і порівняння альтернатив. Варто зауважити, що в практичній діяльності реалізація цих етапів є досить непростю задачею і пов'язана зі складністю реальних економічних систем, недостатньою формалізацією цілей, багатокритеріальністю.

У праці [4] математична модель задачі прийняття рішення представлена у вигляді наступного набору інформації:

$\langle T, X, R, A, F, G, D \rangle$,

де T – постановка задачі вибору рішення;

X – множина допустимих альтернатив;

R – множина критеріїв вибору;

A – множина шкал вимірювань за критеріями (порядкові, інтервальні, відношень, найменувань);

F – відображення множини допустимих альтернатив на множину критеріальних оцінок (наслідки рішень);

G – система переваг особи, що приймає рішення;
 D – правило, що відображає систему переваг ОПР.

Математичні постановки задач прийняття рішень можуть суттєво відрізняються одна від одної. Класифікація моделей та задач прийняття рішень здійснюється в залежності від наступних ознак [5, 6]:

1) за множиною альтернатив X : задачі прийняття рішень поділяються на скінченні, злічені та континуальні;

2) за потужністю множини R (оцінка може здійснюватися за одним або декількома критеріями, які в свою чергу, можуть мати як кількісні, так і якісні характеристики) – задачі прийняття рішень бувають однокритеріальні (з скалярним критерієм) та багатокритеріальні (з векторним критерієм);

3) за видом відображення множини F (детерміноване, ймовірнісне та невизначене) – розрізняють задачі прийняття рішень в умовах визначеності (наслідки вибору рішення точно відомі), в умовах ризику (відомі ймовірності можливих наслідків прийнятих рішень) та в умовах невизначеності (невідомі або неоднозначні наслідки, що не допускають ймовірнісну інтерпретацію);

4) за типом системи переваг G (переваги однієї особи або колективу в цілому) – розрізняють задачі індивідуального або групового вибору;

5) за режимом вибору рішення – одноразові задачі або задачі, що повторюються, допускаючи навчання в процесі прийняття рішень;

6) за відповідальністю за прийняття рішення – односторонні або багатосторонні. При багатосторонньому виборі рішення ступінь узгодженості може змінюватися від повного збігу інтересів сторін (кооперативний вибір) до їх протилежності (вибір в конфліктних умовах).

З формальної точки зору процедуру прийняття рішення у загальному випадку можна сформулювати наступним чином:

$$\{X, F\} \rightarrow X^*, (1)$$

де X – початкова множина альтернатив;

F – функція, що визначає правило вибору рішення;

X^* – обрана підмножина варіантів.

Існує низка підходів до опису процесу вибору рішення, зокрема: критеріальний підхід; опис за допомогою бінарних відношень; груповий вибір; вибір як результат розв'язку задачі оптимального управління.

Найбільш дослідженим є критеріальний підхід, основними поняттями якого є поняття критерію та функції, що визначає правило вибору. Вважається, що кожну окремо взятую альтернативу в задачі прийняття рішення можна оцінити конкретним числом. Тоді порівняння альтернатив зводиться до порівняння відповідних їм чисел.

Нехай x – деяка альтернатива з множини альтернатив X . Для усіх $x \in X$ може бути задана функція, що називається критерієм (цільовою функцією, функцією переваг), яка володіє властивістю, що якщо альтернатива x_1 більш приваблива за альтернативу x_2 , то $f(x_1) > f(x_2)$.

Якщо вибір будь-якої альтернативи призводить до відомих наслідків (задача прийняття рішення в умовах визначеності) і заданий критерій $f(x)$ кількісно виражає оцінку цих наслідків, то найкращою альтернативою x^* буде та, для якої значення критерію $f(x)$ буде найбільшим.

Основний недолік критеріального підходу полягає в тому, що в більшості випадків у процесі прийняття рішень неможливо вибрати єдиний критерій, який досить повно характеризував би всі найважливіші властивості альтернатив. Тому доводиться здійснити оцінку не за одним, а за декількома частковими критеріями, які якісно відрізняються один від одного (багатокритеріальні задачі прийняття рішень). В економічній діяльності такі ситуації трапляються постійно, наприклад максимізація прибутку при одночасній мінімізації ризику.

Нехай для оцінки альтернатив використовується декілька часткових критеріїв $f_i(x)$, $i=1,2,\dots,n$. Теоретично можливо визначити одну альтернативу з множини X , що буде мати найменше значення за усіма n критеріями. Така альтернатива буде найкращою, рішення, яке їй відповідає – найефективнішим:

$$x^* = \arg \text{extr} \{f_i(x)\}, x \in X, i=1,2,\dots,n, \quad (2)$$

де x^* – оптимальний розв'язок;

n – кількість часткових критеріїв.

Проте на практиці розв'язання багатокритеріальних задач можливе лише в тому разі, якщо пошук найкращого рішення здійснюється на множині узгоджених рішень. У протилежному випадку виникає задача багатокритеріального вибору на множині суперечливих рішень, яка не має єдиного розв'язку.

У літературі [7, с. 8] наводяться такі найбільш поширені способи розв'язання багатокритеріальних задач прийняття рішення:

– метод скаляризації, суть якого полягає у зведенні багатокритеріальної задачі до однокритеріальної шляхом введення певного суперкритерію у вигляді скалярної функції векторного аргументу:

$$F(x) = G(f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)). \quad (3)$$

Суперкритерій дає можливість упорядкувати альтернативи за величиною $F(x)$, виділивши найкращу. Вид функції $F(x)$ визначається в залежності від ваги кожного критерію в суперкритерії. Задача прийняття рішення з використанням методу скаляризації зводиться до мінімізації суперкритерію $F(x)$. Метод має низку суттєвих недоліків, зокрема об'єднання декількох критеріїв в один загальний завжди супроводжується певними труднощами, пов'язаними з побудовою самої функції та її подальшою оптимізацією. Крім того, багатокритеріальна задача передбачає впорядкування множини точок у багатовимірному просторі, що в принципі не може бути однозначним та повністю визначатися впорядковуючою функцією;

– метод умовної мінімізації, суть якого полягає у використанні припущення про те, що окремі критерії, як правило, є нерівнозначними між собою (деякі менш важливі, ніж інші). Виділяють головний критерій, а ре-

шту розглядають як додаткові, неосновні. Тоді задача прийняття рішення полягатиме в знаходженні екстремуму основного критерію, за умови, що значення решти критеріїв буде знаходитись у певних інтервалах;

– метод послідовних поступок. Суть методу полягає у впорядкуванні частинних критеріїв у порядку убудування їх важливості, виборі найважливішого критерію і визначенні найкращої за цим критерієм альтернативи. Далі визначають величину, на яку можливо зменшити отримане значення самого найважливішого критерію, щоб за його рахунок збільшити, наскільки можливо, значення наступного за важливістю критерію і т. д.;

– пошук множини Парето. За цим методом відмовляються від пошуку найкращої альтернативи і погоджуються з тим, що перевагу одній альтернативі перед іншою можна надавати лише у випадку, коли вона краща за усіма критеріями. У випадку, коли перевага за одним критерієм не збігається з перевагою за іншим, такі альтернативи вважають непорівнянними. У результаті попарного порівняння альтернатив, усі гірші за усіма критеріями альтернативи відхиляються, а ті, що залишилися (не домінуючі), приймаються. Якщо усі максимально допустимі значення частинних критеріїв не відповідають єдиній альтернативі, то прийняті альтернативи утворюють множину Парето і на цьому процедура прийняття рішення закінчується. При необхідності вибору лише однієї альтернативи вводяться додаткові критерії, обмеження, залучають експертів;

– вибір на основі багатокритеріальної функції корисності використовується, якщо задані n альтернатив, m наборів зовнішніх умов та k критеріїв. Кожна альтернатива оцінюється за усіма критеріями для усіх наборів зовнішніх умов. Далі формують k матриць $n \times m$. Кожен елемент матриці x_{ij}^k являє собою числову оцінку i -ї альтернативи по критерію k при реалізації j -го набору зовнішніх умов. Для прийняття рішення вводиться багатокритеріальна функція корисності, що має вигляд числової функції, визначеної на множині можливих альтернатив і для якої виконується умова: якщо альтернатива x_1 більш приваблива, ніж альтернатива x_2 , то $u(x_1) \geq u(x_2)$. Основна проблема методу полягає у складності побудови єдиної для усіх критеріїв функції корисності.

Усі наведені вище кількісні методи розв'язання багатокритеріальних задач прийняття рішень мають обмежене практичне застосування при дослідженні реальних економічних систем. Це пов'язано з тим, що значна кількість економічних параметрів є невизначеними, неточними, нечітко заданими, тому застосування при побудові формальних моделей прийняття рішень детермінованих методів призводить до значних помилок. У ситуаціях прийняття рішень, коли хоча б один із елементів задачі (альтернативи, критерії, обмеження, залежності) описується якісно (нечітко), має місце задача прийняття рішення при нечіткій входній інформації. Перспективним напрямком розробки методів прийняття рішень у нечіткому середовищі є лінгвістичний підхід на базі теорії нечітких множин [9, 10, 11].

Задача прийняття рішення у нечіткому середовищі характеризується наступними елементами:

- нечіткими критеріями $f_i^{\sim}(x)$, $i=1,2,\dots,n$;
- нечітким оператором максимізації $\max f_i^{\sim}(x)$ (нечіткі інструкції типу "бажано, щоб значення критерію f_i^{\sim} було якомога більшим");
- нечіткими критеріальними обмеженнями (нечіткі інструкції типу "бажано, щоб значення критерію f_i^{\sim} було більше, менше або дорівнювало значенню $b_i - <^{\sim} (>^{\sim}, =^{\sim})$;
- інформацією про приблизну важливість критеріїв (вагові коефіцієнти, низка пріоритетів);
- нечіткими обмеженнями на вектор незалежних змінних $x \in C^{\sim}$, где C^{\sim} – нечітка множина;
- детермінованими обмеженнями на незалежну змінну $x \in W$.

Джерелами нечіткості в такій задачі будуть нечіткість критеріїв, нечіткість максимізації, нечіткість обмежень, нечіткість взаємної важливості критеріїв.

Задачу прийняття рішень у нечіткому середовищі можна формалізувати наступним чином: необхідно визначити вектор $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$, що забезпечує такі значення локальних критеріїв, які задовольняють ОНР:

$$\begin{aligned} \max f_i^{\sim}(x), \quad i=1,2,\dots,n, \\ X = \{x: x \in W, g_q(x) >^{\sim} b_q, \quad q=1,2,\dots,L\}, \\ x \in X, \end{aligned}$$

де $f_i^{\sim}(x)$ – нечіткі локальні критерії; $g_q(x)$, $q=1,2,\dots,L$ – функції обмежень, які визначають допустиму область W багатокритеріальної задачі прийняття рішень; b_q – задані числа, що можуть бути нечіткими.

Прийняття рішення в нечітких умовах передбачає використання логічної схеми, важливою рисою якої є симетрія по відношенню до цілей та обмежень. Таким чином знімається різниця між цілями і обмеженнями, що дозволяє досить просто сформулювати на їх основі рішення.

Нехай $X = \{x\}$ – задана множина альтернатив. Тоді нечітка ціль G буде ототожнюватися з фіксованою нечіткою множиною G в X . У традиційному підході задається критерій $f(x)$, що використовується в процесі прийняття рішення для встановлення лінійної впорядкованості на множині альтернатив. Очевидно, що функція належності нечіткої цілі виконує ту ж задачу і може бути отримана з критерію $f(x)$ за допомогою нормалізації, що зберігає встановлену лінійну впорядкованість. Схожим чином нечітке обмеження C в просторі X визначається як деяка нечітка множина в X . І ціль, і обмеження розглядаються як нечіткі множини в просторі альтернатив. Це дає можливість не робити між ними різниці при формуванні рішення.

Рішення – це вибір однієї чи декількох альтернатив із множини існуючих. Зважаючи на це, нечітке рішення визначають як нечітку множину в просторі альтернатив, що отримана в результаті перетину заданих цілей та обмежень.

Нехай у просторі альтернатив X задані нечітка ціль G та нечітке обмеження C . Тоді нечітка множина D , що утворена перетином G та C , називається рішенням. Відповідно функція належності рішення буде мати вигляд:

$$\mu_D = \mu_G \cap \mu_C$$

Для більш загального випадку, коли ми маємо n цілей та m обмежень, результуюче рішення визначається перетином усіх заданих цілей та обмежень, тобто:

$$D = G_1 \cap G_2 \cap \dots \cap G_n \cap C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_m$$

У зазначеному визначенні нечіткого рішення цілі та обмеження входять у вираз для D абсолютно однаковим чином, що і доводить твердження про тотожність цілей та обмежень у сформульованій логічній схемі процесу прийняття рішення в нечітких умовах.

Висновки. Отже, більшість задач, що виникають при прийнятті рішень у процесі управління економічними об'єктами є слабоструктурованими, неструктурованими та багатокритеріальними. Їм властиві недостатність наявної інформації, її суперечливість і нечіткість, перевага якісних оцінок цілей та обмежень, слабка формалізованість алгоритмів розв'язку. Рішення таких задач містять неформалізовані процедури, що базуються на інформації з високим рівнем невизначеності. Ця обставина є причиною невдач у разі застосування "класичних" математичних моделей, а також стимулом для розвитку адекватного математичного апарату. Сучасні тенденції розвитку теорії прийняття рішень передбачають поєднання здатності людини розв'язувати неформалізовані задачі з можливостями формальних алгоритмів та комп'ютерного моделювання.

При моделюванні процесу прийняття рішень в умовах невизначеності доцільно застосовувати математичний апарат теорії нечітких множин, що дозволяє моделювати невідомі функціональні залежності, описувати наближені міркування людини, долаючи таким чином лінгвістичний бар'єр між особою, що приймає рішення, судження і оцінки якої є наближеними та нечіткими, і комп'ютерами, які можуть виконувати тільки чіткі інструкції.

Таким чином, теорія нечітких множин є інструментом, що може успішно використовуватись при прийнятті рішень щодо тих систем і процесів, що є надто складними для дослідження традиційними кількісними методами.

Література:

1. Шарапов О. Д., Дербенцев В. Д., Семьонов Д. С. Економічна кібернетика: Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 2004. – 231 с.
2. Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень: Навч. посіб. – К.: КНЕУ, 2004. – 614 с.
3. Simon H. The Structure of Ill-structured Problems // Artificial Intelligence. – 1973. – V. 4. – P. 181-202.
4. Борисов А. Н., Виллюмс Э. Р., Сукур Л. Я. Диалоговые системы принятия решений на базе мини-ЭВМ. – Рига: Зинатне, 1986. – 195 с.

5. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.
6. Блюмин С. Л., Шуйкова И. А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
7. Гафт М. Г. Принятие решений при многих критериях. – М.: Знание, 1979. – 64 с.
8. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. – М.: Айрис пресс, 2002. – 576 с.
9. Алтунин А. Е., Семухин М. В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
10. Сявавко М. С., Рибицька О. М. Математичне моделювання за умов невизначеності. – Львів: Українські технології, 2000. – 320 с.
11. Бочарников В. П. Fuzzy-технология: Математические основы. Практика моделирования в экономике. – СПб: "Наука", РАН, 2001. – 328 с.