Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Факультет комп’ютерних наук та кібернетики
Кафедра моделювання складних систем

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня бакалавра
за спеціальністю 113 «Прикладна математика»
на тему:

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ПОВЕДІНКИ ФІРМИ ЗА ДОПОМОГОЮ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

студентки 4 курсу
Гайдай Іванни Максимівни

Науковий керівник:
доцент, кандидат фізико-математичних наук
Коробова М.В

Робота заслухана на засіданні кафедри моделювання складних систем та рекомендована до захисту в ДЕК, протокол № від 2021 р.

Завідувач кафедри моделювання складних систем
доцент Черній Д.І.

Київ – 2021

ЗМІСТ

Вступ

Сьогодні одним з найбільш перспективних напрямів наукових досліджень в галузі аналізу, прогнозування і моделювання економічних явищ і процесів є нечітка логіка. Нечітко-множинні моделі, часто представлені у вигляді програмного забезпечення персональних комп'ютерів, дозволяють керівникам фірм ухвалювати економічно вигідні рішення. Хоча вперше згадка про новий метод математичного моделювання з'явилася біля півстоліття тому, дана галузь наукових досліджень наразі залишається мало вивченою в Україні.

Останнім часом інтерес українських учених до прибутку фірм відновився. Значна увага приділяється питанням вивчення впливу чинників формування прибутку на фінансовий результат діяльності фірм в розрізі статистичного аналізу, моделювання умов максимізації прибутку та випуску продукції, використання прибутку як критерію оцінки фінансового стану української економіки. Для багатьох фірм забезпечення прибутковості – це первинна задача, яку ставить перед собою керівництво. Тому моделювання умов максимізації прибутку потребує подальшого дослідження. Для вирішення конкретних задач управління прибутком фірми застосовується низка спеціальних систем та методів аналізу, що дозволяє отримати кількісну оцінку окремих аспектів його формування, розподілу та використання.

В даній роботі буде розглядатися математична модель та метод багатокритеріальної оптимізації для вибору найкращого рішення в умовах нечітко заданих вхідних даних. А саме: будемо розглядати неокласичну задачу поведінки однопродуктової фірми, підхід якої спирається на уявлення про фірму як про самостійну цілеспрямовану систему, що має на меті максимізацію фіксованого критерію оптимальності поведінки. На основі застосування теорії нечітких множин розроблено підхід до оцінювання стану підприємства, який характеризується функцією належності відповідного нечіткого числа.

Метою даного дослідження є обґрунтування теоретичних положень і розробка практичних рекомендацій щодо процесу максимізації прибутку та максимізації випуску продукції, а також дослідження діапазону зміни цін на ресурси з метою отримання найкращого результату в контексті відповідної задачі.

Розділ I

Основні теоретичні поняття

1.1 Деякі характеристики нечітких множин

Один з напрямків у вирішенні проблем невизначеності пов’язаний зі створенням математичних методів для опису і дослідження нечітко визначених об’єктів, процесів та систем. При цьому нечіткість суджень, уявлень і понять людини вводиться у формальні моделі різними способами. Огляд способів формалізації нечіткості показує, що в цьому напрямку розвиваються два основних підходи. Перший підхід базується на узагальненні поняття належності елемента множині, що приводить до розмиття границь множини. Другий підхід передбачає опис нечіткості за допомогою ієрархії – сімейства впорядкованих чітких множин.

У класичній математиці під множиною розуміється сукупність елементів (об’єктів), що мають деяку спільну властивість. Наприклад, множина чисел, не менших заданого числа; множина векторів, сума компонентів кожного з яких не перевершує одиниці і т. п. При цьому, для будь-якого елемента множини розглядаються лише дві можливості: або цей елемент належить даній множині (тобто має дану властивість), або не належить даній множині (тобто не має даної властивості). Таким чином, в описі множини у звичайному розумінні необхідно дотримуватися чіткого критерію, що дозволяє говорити про належність або неналежність будь-якого елемента даній множині. Поняття нечіткої множини – спроба математичної формалізації нечіткої інформації з метою її використання при побудові математичних моделей складних систем. В основі цього поняття лежить уявлення про те, що елементи, які складають дану множину та мають деяку спільну властивість, можуть мати цю властивість у різному ступені і, отже, належати даній множини з «різним ступенем». При такому підході висловлення на зразок «елемент x належить даній множині» втрачають зміст, оскільки необхідно вказати «наскільки сильно» або з яким ступенем даний елемент належить множині.

Один з найпростіших способів математичного опису нечіткої множини – характеризація ступеня належності елемента множині чисел, наприклад, з інтервалу [0,1]. Нехай X – деяка множина елементів (у звичайному розумінні). Надалі будемо називати її універсальною множиною й розглядати підмножини цієї множини.

Нечіткою множиною A на множині X називається сукупність пар $(x, \mu_A(x))$, де $x \in X$, а μ_A – функція $X \rightarrow [0,1]$, що називається функцією належності нечіткої множини A. Значення μ_A для конкретного x називається ступенем належності цього елемента нечіткій множині A.

Як бачимо з цього визначення, нечітка множина цілком описується своєю функцією належності, тому нижче будемо використовувати цю функцію як позначення нечіткої множини. Звичайні множини складають підклас класу нечітких множин. Дійсно, функцією належності звичайної множини $A \subset X$ є її характеристична функція:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A, \\ 0, & x \notin A. \end{cases}$$

Відповідно до визначення нечіткої множини звичайну множину A можна також визначити як сукупність пар виду $(x, \mu_A(x))$. Таким чином, нечітка множина являє собою більш широке поняття, ніж звичайна множина, у тому розумінні, що функція належності нечіткої множини може бути довільною функцією або навіть довільним відображенням. [1]

При цьому значення $\mu_A(x) = 1$ для деякого $x \in X$ означає, що елемент x належить нечіткій множині A, а значення $\mu_A(x) = 0$ означає, що елемент x не належить нечіткій множині A. Елементи нечіткої множини $x \in A$, для яких виконується умова $\mu_{A(x)} = 0.5$, називаються точками переходу цієї нечіткої множини A.

Множиною рівня λ (λ-перерізом) нечіткої множини A називається нечітка підмножина універсальної множини X, яка визначається за формулою

$$\mathrm{A}_{\lambda} = \{x \mid \mu_A(x) \geq \lambda\}, \text{ де } \lambda \in [0,1].$$

На практиці застосовуються різні типи функцій належності. Широко розповсюдженими є: кусочно-лінійні функції належності і П-подібні. Кусочно-лінійні є одними з найпростіших типів функції належності, які складаються з відрізків прямих ліній. Найбільш характерним прикладом таких функцій є «трикутна» і «трапецієподібна» функції належності.

Трикутна функція належності у загальному випадку може бути аналітично задана наступним виразом:

$$f_{\Delta}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b, \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 0, & x > c, \end{cases} \qquad (1.1.1)$$

де a, b, c – деякі числові константи, що приймають довільні значення та упорядковані відношенням: $a \leq b \leq c$. Використовується, коли відомо, що нечітка змінна обмежується деяким діапазоном значень і задано припущення про середнє значення змінної.

Трапецієподібна функція належності у загальному випадку може бути задана наступним виразом:

$$f_{\Delta}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b, \\ 1, & b \leq x < c, \\ \dfrac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & x > d, \end{cases}$$

де a, b, c, d – деякі числові параметри, що приймають довільні значення та упорядковані відношенням: $a \leq b \leq c \leq d$. Дана функція належності використовується, коли відомий діапазон зміни нечітко заданого параметра та діапазон можливої зміни середнього значення. Графік цієї функції для деякої нечіткої множини A та універсуму $X = [0,10]$ зображений на рис. 1.1, де значення параметрів дорівнюють: $a = 2$, $b = 4$, $c = 6$, $d = 9$.

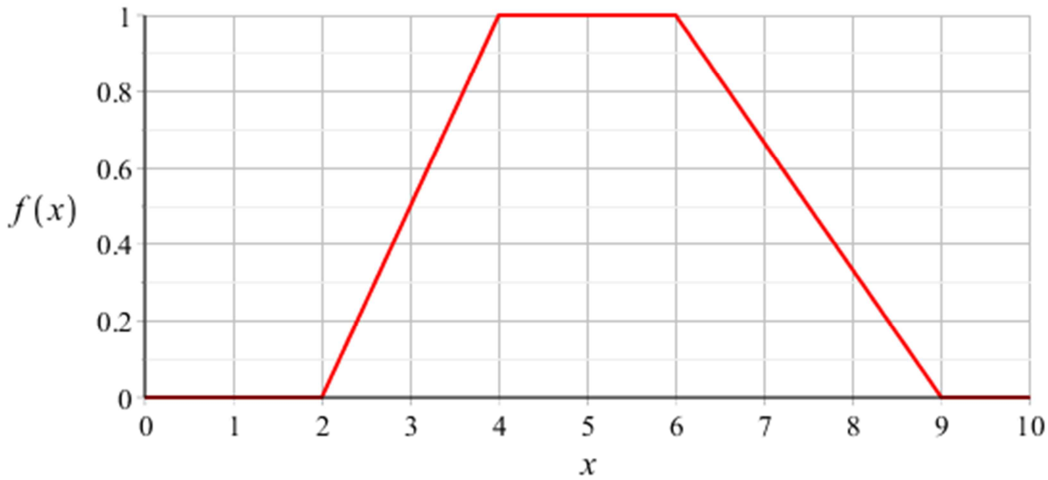

Рис. 1.1. Графік функції належності трапецієподібної форми

До П-подібних функції належності відноситься цілий клас так званих дзвіноподібних кривих. Характерним прикладом таких функцій є «дзвіноподібна» та «гаусова».

Дзвіноподібна функція належності задається наступним чином:

$$f_{\Pi_1}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x - c}{a}\right|^{2b}}, \qquad (1.1.2)$$

де c – модальне значення ($\mu(c) = 1$);

$a > 0$ – відстань від піку до точок переходу ($\mu(c \pm a) = 0{,}5$);

$b > 0$ – характеризує нахил графіку (зі збільшенням b збільшується кут нахилу графіку). [2]

Найбільш простим та зручним вважається спосіб формування дзвіноподібної функції належності з використанням гауссівської кривої:

$$f_{\Pi_2}(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}},$$

де σ і c – числові параметри, що приймають довільні дійсні значення, причому $\sigma > 0$. Графік цієї функції для деякої нечіткої множини A та універсуму $X = [0,10]$ зображений на рис. 1.2, де значення параметрів дорівнюють: $\sigma = 1, c = 5$.

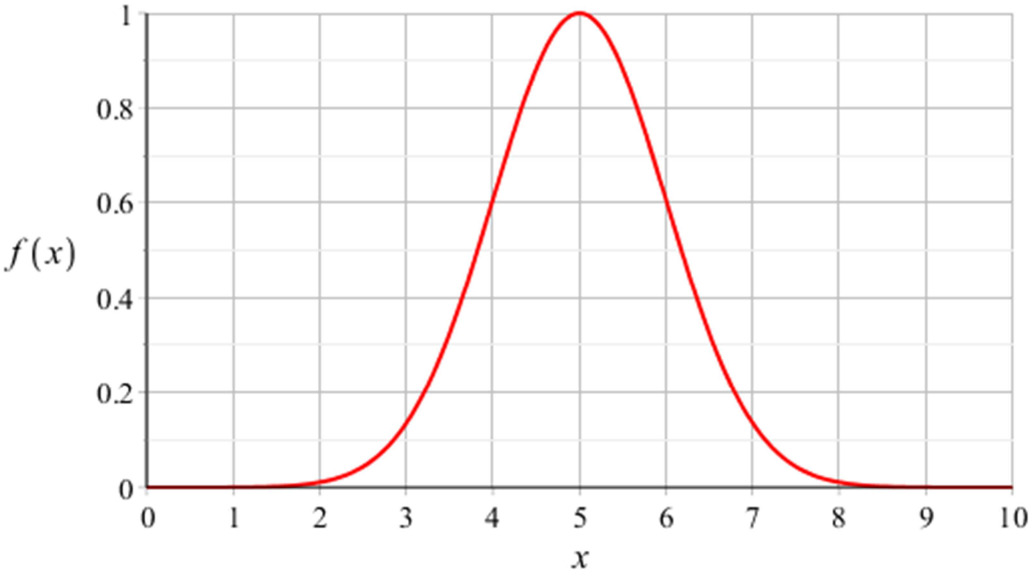

Рис. 1.2. Графік *П*-подібної функції належності f_{Π_2}

1.2 Методи багатокритеріальної оптимізації

Однією із проблем у прийнятті рішень є наявність великого числа критеріїв, які не завжди погоджені між собою, що зумовлює побудову відповідних математичних моделей і застосування певних математичних методів. Одним із способів формалізації таких проблем є використання багатокритеріальних оптимізаційних моделей, які полягають у тому, що потрібно знайти точку області допустимих рішень, яка мінімізує або максимізує всі такі критерії.

Задача багатокритеріальної оптимізації формулюється таким чином:

$$f_i\ (x)\ \rightarrow \max\ (\min),$$

$$x \in D\ ,$$

де $f_i\ (x)$ – критерії оптимальності, $i \geq 2$, а $D -$ множина допустимих значень.

Дана задача полягає у пошуку вектора цільових змінних, який задовольняє накладеним обмеженням та оптимізує векторну функцію, елементи якої відповідають цільовим функціям. Ці функції утворюють математичне описання критерію задовільності та, зазвичай, взаємно конфліктують. [3]

Задачі багатокритеріальної оптимізації доволі специфічні і вимагають для свого рішення спеціальних методів. Методи вирішення задач багатокритеріальної оптимізації, які можна звести до розв’язання послідовності однокритеріальних оптимізаційних задач:

- метод головної компоненти;
- лексикографічний метод;
- метод комплексного критерію;
- метод ідеальної точки (геометричний);
- метод поступок.

Очевидно, що немає універсального способу розв’язку багатокритеріальних задач. Тому для розв’язання поставленої задачі будемо використовувати метод послідовних поступок, який не потребує нормалізації критеріїв і кількісного задання їх пріоритетів. Змістом цього методу є те, що вихідна багатокритеріальна задача замінюється послідовністю однокритеріальних задач, область допустимих розв'язків яких звужується від задачі до задачі за допомогою додаткових обмежень, які враховують вимоги до критеріїв. При формулюванні кожної задачі стосовно важливішого критерію робиться поступка, величина якої залежить від умови задачі й оптимального розв'язку за цим критерієм. Спочатку розв'язується скалярна задача оптимізації за найважливішим критерієм на всій множині допустимих альтернатив *X*:

$$f_1(x) \to \max, \ \ x \in X.$$

У результаті отримаємо оптимальне значення критерію $f_1(x)$: f_1^{max}. Далі обираємо поступку Δf_1 з огляду на оптимальне значення критерію та умови задачі та для наступного критерію отримаємо таку задачу:

$$f_2(x) \to \max;$$

$$f_1(x) \geq f_1^{max} - \Delta f_1;$$

$$x \in X.$$

У результаті виконання цієї задачі отримаємо оптимальне значення критерію $f_2(x): f_2^{max}$. Виконуємо цю процедуру для всіх k критеріїв. Оптимальним розв'язком багатокритеріальної задачі буде розв'язок останньої скалярної задачі. [4] Цей метод дає можливість враховувати пріоритети критеріїв і не допустити зниження їх рівня нижче певного допустимого рівня. Процес розв'язування задачі зазначеним способом вказує, ціною яких поступок досягається потрібний результат.

Для розв'язання поставленої задачі також використовується теорема Куна-Таккера:

Якщо $X^* = (x_1^*, x_n^*)$ – оптимальний розв'язок стандартної задачі максимізації нелінійного програмування, а функції обмежень $g_i(x_1, x_n)$, $i = \overline{1, m}$, задовольняють умові регулярності в точці $X^* = (x_1^*, x_n^*)$, то повинні знайтись такі множники Лагранжа $\lambda_1^*, \dots, \lambda_m^*$, які задовольняють наступним відношенням:

1) умова допустимості

$$\lambda_1^* \geq 0, \lambda_2^* \geq 0 \dots, \lambda_m^* \geq 0; \quad g_i(X^*) \geq 0, \qquad i = \overline{1, m}\,,$$

2) умова оптимальності

$$\frac{\partial f(X^*)}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i^* \frac{\partial g_i(X^*)}{\partial x_j} = 0, \quad j = \overline{1, n}\,,$$

3) умова трансверсальності

$$\lambda_i^* g_i(X^*) = 0, \qquad i = \overline{1, m}\,.$$

Умови (1)-(3) називаються умовами Куна-Таккера.

Розділ II

Дослідження нечітких моделей поведінки фірми

2.1 Задача максимізації прибутку

Фірма – індивідуальний економічний суб'єкт ринкових відносин, один з основних агентів ринку, який є незалежним учасником відносин з іншими фірмами, підприємцями, домогосподарствами, державою. [5] Також це особливий інститут сучасної економіки, який призначений для виробництва корисних для суспільства благ з метою отримання прибутку. Діяльність фірми багатогранна, тому для простоти при побудові математичної моделі будемо враховувати лише основну кінцеву мету. В якості основної кінцевої мети фірми вважатимемо отримання найбільшого прибутку при реалізації своєї продукції.

В економічній теорії словосполучення «теорія фірми» використовують з двох точок зору: як позначення всієї наукової дисципліни з теоретичних позицій, що вивчає діяльність підприємств, і як конкретна система поглядів, яка розкриває природу, поведінку, еволюцію або інші аспекти діяльності фірми.

У даний час, кожна з теорій описує фірму, концентруючи увагу на одному чи декількох аспектах або принципах діяльності: виробництві, обміні, типі раціональності, порядку ухваленні рішень тощо. У зв'язку з цим класифікація теорій також здійснюється за різними критеріями. Подібно до того як сама фірма пройшла тривалий етап формування внутрішніх організаційних структур і зовнішніх взаємозв'язків, багатогранною є еволюція теоретичних концепцій, що пояснюють існування фірми, її роль в економічній системі і різноманіття форм її внутрішньої організації. Головна причина розбіжностей серед різних шкіл в поглядах на здавалося б зрозумілі для практиків речі полягає в тому, що економісти використовують не тільки різні теоретичні підходи, але й вирішують різні проблеми. Найбільш яскраво виражені такі розбіжності в неокласичній та інституціональній теоріях фірми. Так, неокласична теорія, базуючись на припущенні, що кожна фірма закуповує і використовує всі свої ресурси ефективно, прийняття рішень у фірмі зводить до проблеми максимізації прибутку, що звужує можливості аналізу і призводить до ігнорування багатьох внутрішніх і зовнішніх чинників розвитку підприємства. Інституціональна теорія, навпаки, базується на розширеному трактуванні природи фірми, досліджуючи взаємозв’язок внутрішньої її організації із зовнішнім середовищем та фокусуючи увагу на розподілі інформації, знаннях і стимулах. Проблема поєднання подібних підходів з метою подальшого аналізу процесів, які відбуваються у середовищі національних підприємств, ускладнюється ще й тим, що вони розвивалися як альтернативні теорії, і тому дуже складно, а в деяких випадках просто неможливо, знайти точки зіткнення з метою розробки єдиної інтегрованої концепції.

Інституціональна теорія фірми виходить з того, що фірма є складною ієрархічною структурою, яка діє за умов ринкової невизначеності. Основне завдання аналізу полягало у поясненні поведінки фірми в системі вартісної і неповної інформації, а в центрі уваги були питання про причини різноманітності видів фірм і їх розвитку, зокрема проблем мотивації праці, пояснення межі росту фірм, питання організації фірми, проблеми контролю і планування. [6]

Через стійку орієнтацію на прибуток прагнення фірм до отримання максимального прибутку сприймається як належне. Максимізація полягає в тому, що вибираючи з декількох альтернатив, фірма все ж таки вибере варіант з найбільшим очікуваним прибутком.

Сучасна економічна теорія досліджує прибуток в розділі мікроекономіки. Економічну роль прибутку можна сформулювати таким чином:

— прибуток слугує основним критерієм оцінки ефективності діяльності підприємства;

— прибуток виступає головною метою підприємницької діяльності і є основним елементом, який спонукає до ведення господарської діяльності;

— прибуток є основним внутрішнім джерелом формування фінансових ресурсів.

З огляду на можливості фірми змінювати обсяги використання ресурсів у процесі виробництва визначаються короткостроковий і довгостроковий періоди.

У короткостроковому періоді досконало конкурентна фірма максимізуватиме прибуток, виробляючи такий обсяг продукції, за якого загальний виторг перевищує загальні витрати на найбільшу величину. Якщо ціна перевищує мінімум середніх змінних витрат, то досконало конкурентна фірма максимізує прибутки або мінімізує збитки в короткостроковому періоді шляхом виробництва такого обсягу продукції, за якого ціна або граничний виторг дорівнюють граничним витратам. Якщо ціна менша, ніж середні змінні витрати, то фірма мінімізує свої збитки, припиняючи виробництво, а отже тривалість короткострокового періоду залежить від технологій виробництва.

У довгостроковому періоді конкурентна ціна має тенденцію зрівнятися з мінімумом середніх витрат виробництва. Це відбувається під впливом парадоксу прибутку, адже економічний прибуток змушує фірми вступати в конкурентну галузь доти, доки цей прибуток не дорівнюватиме нулю. І навпаки, збитки призводять до масового виходу фірм із галузі, доки ціна не стане знову відшкодовувати витрати на одиницю продукції. [7]

Виробництво – це процес перетворення чинників виробництва в матеріальні блага. Підприємство на ринку виступає і як покупець ресурсів (робочої сили, сировини, устаткування), і як продавцем товарів і послуг. Головною метою будь-якого підприємства є отримання максимального прибутку, який можна досягти, лише ефективно розпоряджаючись ресурсами, що купуються. Тому основою теорії виробництва є вивчення залежності випуску готової продукції від обсягів спожитих ресурсів. Теорія виробництва багато в чому аналогічна теорії споживання. Виробнича функція може бути досліджена як однофакторна та двохфакторна модель поведінки виробника. Це пов’язано з виділенням короткострокового і довгострокового періоду виробництва. Короткостроковий період виробництва – це відрізок часу, протягом якого можливо змінити обсяг застосування лише одного чинника виробництва. Довгостроковий період виробництва – це відрізок часу, достатній для того, щоб всі наявні ресурси фірми могли стати змінними. [8]

Узагальнену інформацію про взаємозв'язок між витратами виробничих факторів і обсягами випуску продукції у фізичному виразі надає функція виробництва. Широке застосування апарату виробничих функцій на рівні мікроекономіки пов'язане із можливостями аналізу та планування роботи фірми; в макроекономічних дослідженнях виробничих функцій – це не тільки один із засобів прогнозування розвитку економіки, а й прикладний інструмент, який використовується для оцінки та порівняння ефективності економік.

При використанні виробничих функцій вважається, що вони повинні задовольняти певним аксіомам, які відображають основні економічні закономірності виробництва.

Аксіома А1 відсутності рогу достатку стверджує, що для нульового вектора витрат $x = 0$ відповідний випуск $F(0)$ продукції є нульовим: $F(0) = 0$.

Іноді ця аксіома вживається у підсиленому варіанті, коли вважається, що простір витрат не є надлишковим, і туди входять тільки необхідні у комплекті для випуску даної продукції види витрат. Тобто, ця аксіома означає, що не витрачаючи необхідних у комплекті для випуску продукції виробничих факторів $i = 1, \ldots, m$, не можливо забезпечити додатний її випуск.

Аксіома А2 монотонності стверджує, що існує підмножина E простору витрат X, яка називається економічною областю, в якій збільшення будь-якого виду витрат не призводить до зменшення випуску продукції, тобто з того, що $x^1, x^2 \in E$ i $x^1 \geq x^2$ випливає, що $F(x^1) \geq F(x^2)$.

Аксіома А3 угнутості стверджує, що існує особлива область D, котра є опуклою підмножиною економічної області E, $D \subset E$ для якої звуження виробничої функції $F(x)$, $x \in D$, є угнутою (опуклою вгору) функцією. Ця аксіома відображає економічний закон спадної віддачі (спадної дохідності), коли поступово витрати економічного фактора одного виду додаються до встановлених обсягів інших витрат факторів, то в решті решт досягається особлива область, де прирощення продуктивності спадає. [9]

Теорія оптимальної поведінки однопродуктової фірми у довгостроковому періоді полягає в максимізації свого прибутку при заданій виробничій функції, заданих цінах випуску продукції та цінах факторів виробництва. Припустимо, що фірма працює у стабільних умовах. У даному випадку, вона повинна прагнути максимізувати прибуток. Під виробництвом розуміється процес взаємодії економічних факторів, що завершується випуском будь-якої продукції. Залежність між максимально можливим обсягом випуску за певний проміжок часу і витратами ресурсів описується виробничою функцією. Виробнича функція випускає один вид продукції.

Нехай x_i – число одиниць ресурсу одного виду. Якщо ціна одиниці продукції дорівнює p, а ціна i-го виду ресурсу – це w_i, $i = \overline{1,n}$, то кожному вектору витрат x відповідає прибуток:

$$\pi(x) = p * F(x) - \sum_{i=1}^{n} w_i x_i \to \max, \qquad (2.1.1)$$

де $F(x)$ – виробнича функція;

w_i – вектор цін на фактори виробництва;

x_i – попит на об’єм виробничих факторів (ресурсів), $x \geq 0$;

p – ціна готової продукції.

2.2 Методи та алгоритм розв’язання задачі

Розглянута вище задача (2.1.1) є задачею опуклого програмування, де у якості змінних виступають компоненти вектора витрат x, для якого діє обмеження у вигляді умови невід’ємності змінних, тобто $x \geq 0$. Розв’язок задачі залежить від ціни готової продукції та цін факторів виробництва. В даному разі будемо розглядати випадок, коли ціна готової продукції відома, $p = 2000$, а ціни на ресурси w_1, w_2 є нечіткими величинами.

$$\pi(x) = 2000 * F(x) - w_1 x_1 - w_2 x_2 \to \max. \qquad (2.2.1)$$

При побудові нечіткої моделі використовуються дві функції належності: дзвіноподібна та трикутна, яка є кусково-лінійною. Приводяться результати обчислювального експерименту для мультиплікативної виробничої функції вигляду:

$$F(x) = x_1^{1/2} * x_2^{1/3}.$$

У нашому випадку будемо використовувати математичний апарат теорії нечітких множин, щоб побудувати більш доцільну модель вигляду (2.2.1). [10] Особливостями цього апарату є: формалізування залежності практично будь-якої складності; параметри у нечітких моделях можуть бути різнотипними; нечіткі моделі мають високу здатність адаптації до експертних даних; для опису залежностей між параметрами використовується природна мова.

Скористаємося підходом, який базується на множинах рівня нечіткої множини обмежень. Він полягає у тому, що вихідна задача формулюється у вигляді максимізації функції $\pi(x)$ на деяких множинах рівня множини допустимих альтернатив. Тобто, якщо альтернатива $w \in W$ є розв’язком задачі $\pi(x) \to \max$, на множині рівня λ, то вважається, що її ступінь належності до нечіткої множини розв’язків задачі не нижче за λ. Позначимо через C_λ множину рівня λ нечіткої множини допустимих альтернатив μ_c, тобто

$$C_\lambda(W) = \{w \in W, \mu_c(w_i) \geq \lambda\}, \text{ де } \lambda \in [0;1], \; w \in C_\lambda(W).$$

Отримаємо таку задачу для деякого значення λ:

$$\pi(x) = p * F(x) - \sum_{i=1}^{n} w_i x_i \to \max,$$
$$w \in C_\lambda(W), \quad x_i \geq 0. \tag{2.2.2}$$

Алгоритм розв’язання поставленої задачі полягає в такому:

На першому кроці особа, що приймає рішення (ОПР) обирає деяке значення λ, яке її задовольняє і для якого буде розв’язуватися задача (2.2.2).

На другому кроці аналізується отриманий розв’язок. Знаходиться ймовірність $P = (1 - \lambda) * 100\%$ того, що рівень значимості дорівнюватиме λ. Якщо ОПР задовольняє така величина інтервалу невизначеності для π_λ та значення P_λ, то кінець, якщо ні, то задається інший рівень λ.

На наступному кроці шукається компромісний розв’язок, для якого розглядається трьохкритеріальна задача, що має вигляд:

$$f_1 = P_\lambda \to \max,$$
$$f_2 = \Delta\pi_\lambda = \pi_{max}(x, P) - \pi_{min}(x, P) \to \min, \tag{2.2.3}$$
$$f_3 = \pi_\lambda(x, P) \to \max,$$
$$x \geq 0; \quad 0 \leq P \leq 1,$$

де перший критерій задає точність розглядуваного інтервалу, другий має зміст точності задання інтервалу, а третій оцінює значення прибутку.

Задача (2.2.3) розв’язується методом послідовних поступок, який було описано раніше. Критерії впорядковуються за зменшенням їх важливості.

Зобразимо графічно функції належності. Для ціни першого ресурсу w_1 оберемо дзвіноподібну функцію належності вигляду (1.1.2), рис. 2.1.

Для дзвіноподібної функції належності маємо:

$$\mu(w_1) = \frac{1}{1 + \frac{|w_1 - c|^{2b}}{a}},$$

де c – модальне значення ($\mu(c) = 1$);

$a > 0$ – відстань від піку до точок переходу ($\mu(c \pm a) = 0{,}5$);

$b > 0$ – характеризує нахил графіку.

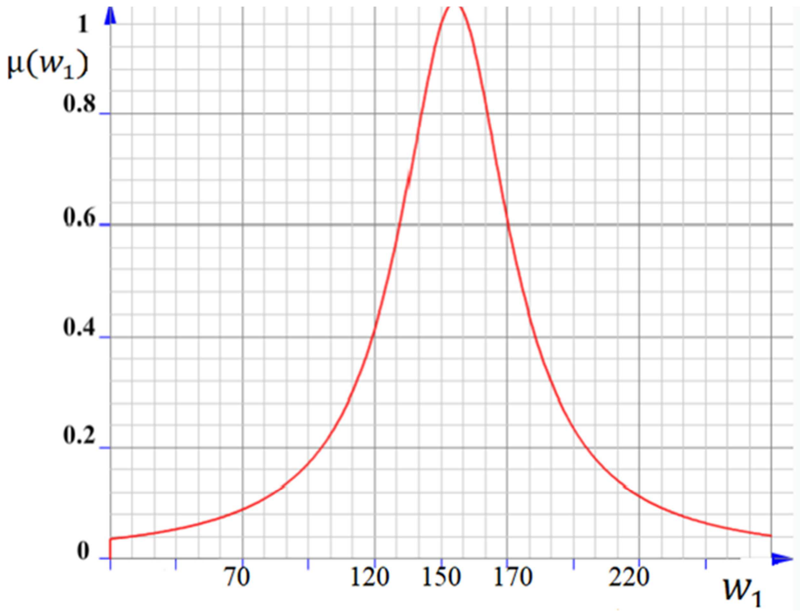

Рис. 2.1. Графік функції належності ціни першого ресурсу

Для ціни першого ресурсу w_2 оберемо трикутну функцію належності вигляду (1.1.1), рис. 2.2.

Для трикутної функції належності маємо:

$$\mu(w_2) = \begin{cases} 0, & w_2 \le a;\ w_2 \ge b, \\ \frac{w_2 - a}{c - a}, & a < w_2 \le c, \\ \frac{b - w_2}{b - c}, & c < w_2 < b, \end{cases}$$

де $a,\ b,\ c$ – деякі числові константи, які приймають довільні дійсні значення й впорядковані відношенню $a \le c \le b$.

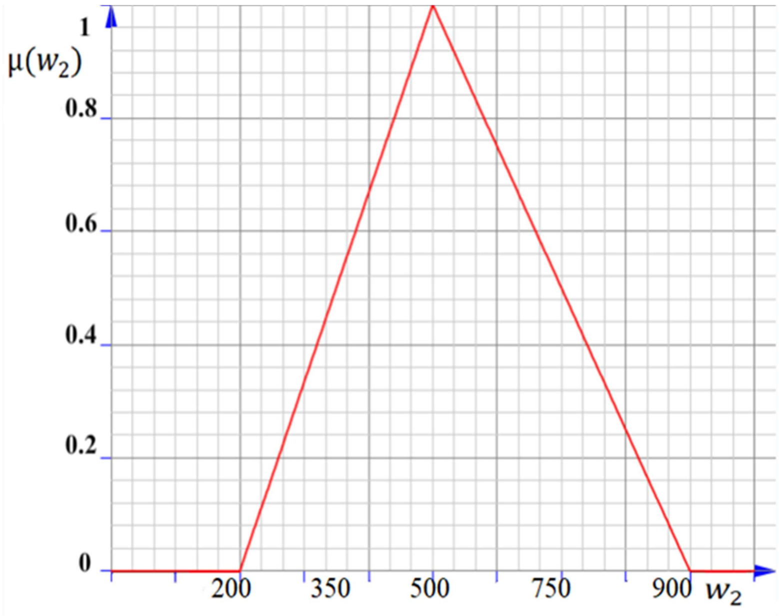

Рис. 2.2. Графік функції належності ціни другого ресурсу

Складемо трьохкритеріальну задачу при $\lambda = 0.3$:

$$P_{0.3} \to \max;$$

$$\Delta\pi_{0.3} = \pi_{max}(x,P) - \pi_{min}(x,P) \to \min;$$

$$\pi_{0.3} \to \max;$$

$$x \geq 0; \;\; 1 \geq P \geq 0.$$

Знайдемо $\pi_{max}(x,P)$, $\pi_{min}(x,P)$ за формулами:

$$\pi_{max}(x,P) = p * F(x) - \left(w_1^{min} - \Delta w_1^{min} * P\right) * x_1 - \left(w_2^{min} - \Delta w_2^{min} * P\right) * x_2,$$

$$\pi_{min}(x,P) = p * F(x) - (w_1^{max} + \Delta w_1^{max} * P) * x_1 - (w_2^{max} + \Delta w_2^{max} * P) * x_2.$$

Підставивши відповідні значення із таблиці 1, отримаємо:

$$\pi_{max}(x,P) = 2000 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} - (150 - 115P) * x_1 - (500 - 210P) * x_2,$$

$$\pi_{min}(x,P) = 2000 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} - (150 + 110P) * x_1 - (500 + 280P) * x_2.$$

Знайдемо різницю $\Delta\pi_\lambda = \pi_{max}(x,P) - \pi_{min}(x,P)$.

Звідси маємо, що $\Delta\pi_{0.3} = 157 * x_1 + 343 * x_2$.

Таблиця 1

λ	$\boldsymbol{x_{min}}$	$\boldsymbol{x_{max}}$	$\boldsymbol{\pi_{min}(x_{max})}$	$\boldsymbol{\pi_{max}(x_{min})}$
0	(5;7)	(2,5;3,5)	150	7150
0.1	(4,9;10)	(0,5;2,2)	350	7000
0.2	(5;10,5)	(5,5;10)	650	6700
0.3	(6;12,5)	(2;15)	1200	6500
0.4	(7;15)	(7;16)	2000	6300
0.5	(8;18.5)	(6;12)	2900	6100
0.6	(9;20)	(7;13)	3500	5600
0.7	(10;25)	(8;16)	4400	5200
0.8	(10,5;27)	(10;20)	5300	4700
0.9	(11;30,5)	(10,5;21,5)	5600	3900
1	(15;32,5)	(6,5;18)	6200	3400

Пошук компромісного розв’язку, таким чином, зводиться до задачі:

$$P \to \max;$$

$$157 * x_1 + 343 * x_2 \to \min;$$

$$\pi_{0.3}(x, P) \to \max.$$

Скористаємося методом послідовних поступок. Максимізуємо перший критерій:

$$P \to \max;$$

$$x \geq 0; \quad 0 \leq P \leq 1.$$

Далі мінімізуємо другий критерій:

$$157 * x_1 + 343 * x_2 \to \min; \qquad x \geq 0.$$

Оптимальний розв'язок останньої задачі – $(0, 0)$, а оцінка $y = (1; 0; 0)$ не влаштовує ОПР. Тоді візьмемо поступку $\Delta f_1 = -3000$. Маємо таку систему:

$$\pi_{0.3}(x, P) \to \max,$$

$$157 * x_1 + 343 * x_2 \leq 3000,$$

$$x \geq 0.$$

Здійснимо перетворення для монотонної функції $\pi_{0.3}(x, P)$ до нормованого безрозмірного вигляду за допомогою формули:

$$\begin{cases} f_{min}(x, P) = \dfrac{\pi_{min}(x, P) - min\,\pi_{min}}{max\,\pi_{min} - min\,\pi_{min}}, & min\,\pi_{min} \leq \pi_{min}(x, P) \leq max\,\pi_{min}, \\ f_{max}(x, P) = \dfrac{\pi_{max}(x, P) - min\,\pi_{max}}{max\,\pi_{max} - min\,\pi_{max}}, & min\,\pi_{max} \leq \pi_{max}(x, P) \leq max\,\pi_{max}, \\ 0, & \text{в інших випадках,} \end{cases}$$

де $\pi_{min}(x, P)$ – прибуток, який відповідає більшим цінам на ресурси, а $\pi_{max}(x, P)$ – меншим.

Позначимо $L(x) = \min(f_{min}(x, P), f_{max}(x, P))$. Тоді компромісний розв'язок знайдемо, розв'язавши дану задачу:

$$L \to \max;$$

$$(max\,\pi_{min} - min\,\pi_{min}) * L - min\,\pi_{min}(x, P) \leq -min\,\pi_{min};$$

$$(max\,\pi_{max} - min\,\pi_{max}) * L - min\,\pi_{max}\,(x, P) \leq -min\,\pi_{max};$$

$$157 * x_1 + 343 * x_2 \leq 3000;$$

$$x \geq 0;\ L \geq 0.$$

Компромісний розв'язок знаходиться шляхом розв'язання такої задачі:

$$\frac{2000 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} - (150 - 115P) * x_1 - (500 - 210P) * x_2 - 3400}{3100} \to \max;$$

$$500L - 2000 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + (150 + 110P) * x_1 + (500 + 280P) * x_2 \leq -3400;$$

$$157 * x_1 + 343 * x_2 \leq 3000;$$

$$0.7 \leq P \leq 1;\ x \geq 0;\ L \geq 0.$$

Скористаємось теоремою Куна-Таккера. Спочатку складемо функцію Лагранжа $M(x, \sigma)$:

$$M(x, \sigma) = 2000 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} - (150 - 115P) * x_1 -$$
$$-(500 - 210P) * x_2 - 3400 +$$
$$+\left(2900 - 1677 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + 215.8x_1 + 639x_2\right) * \sigma_1 +$$
$$+(3000 - 157 * x_1 - 343 * x_2) * \sigma_2.$$

Знайдемо частинні похідні:

$$\frac{\partial M}{\partial x_1} = 1000 * x_1^{-\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} - 69.5 + 215.8 * \sigma_1 - 157 * \sigma_2 - 838.5 * \sigma_1 * x_1^{-\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}},$$

$$\frac{\partial M}{\partial x_2} = \frac{2000}{3} * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{-\frac{2}{3}} - 353 + 639 * \sigma_1 - 343 * \sigma_2 - 559 * \sigma_1 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{-\frac{2}{3}},$$

$$\frac{\partial M}{\partial \sigma_1} = 2900 - 1677 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + 215.8x_1 + 639x_2,$$

$$\frac{\partial M}{\partial \sigma_2} = 3000 - 157 * x_1 - 343 * x_2.$$

Розв’язавши систему, отримаємо два розв’язки:

$$x_1 = 2{,}75\ ,\ x_2 = 7{,}5;$$

або $\quad x_1 = 18{,}7\ ,\quad x_2 = 0{,}18.$

Перевіривши, що σ_1 та σ_2 задовольняють умовам теореми Куна-Таккера, отримаємо, що розв’язок $(2{,}75;\ 7{,}5)$ буде оптимальним для заданої задачі.

Аналогічно розв'яжемо задачу для всіх значень λ (використовуємо дані з таблиці 1). Отримаємо, що для інтервалу λ від 0,1 до 0,5 розв'язки задачі задовольняють умовам теореми Куна-Таккера, а отже вони є оптимальними. При значеннях λ від 0,6 до 1 розв'язки даної задачі не будуть задовольняти умовам вищезгаданої теореми, що обумовлено тим, що збільшення рівня λ призводить до погіршення значення критеріїв, пов'язаних з максимізацією, власне, прибутку фірми, оскільки скорочується інтервал $C_\lambda(W)$.

2.3 Задача максимізації випуску продукції

У теорії виробництва мікроекономічної теорії крім задачі максимізації прибутку розглядаються задачі максимізації випуску продукції та мінімізації виробничих видатків. Економічно раціональна поведінка фірми полягає у вирішенні таких фундаментальних проблем:

- вибрати таке поєднання факторів виробництва, щоб досягти заданого обсягу випуску з мінімальними витратами;
- вибрати таку комбінацію факторів виробництва, щоб максимізувати випуск.

Задача максимізації випуску продукції фірми в довгостроковому періоді із заданим обсягом виробничих видатків c і технологією, що описується виробничою функцією $F(x)$ має вигляд:

$$F(x) \to \max, \ wx \le c, \ x \ge 0, \tag{2.3.1}$$

де w – вектор цін на фактори виробництва, x – попит на обсяги факторів.

Розв'язком задачі (2.3.1) при змінних w та c є функції попиту фірми на фактори виробництва:

$$x_j^* = \xi_j(w_1, \dots, w_m, c), \ \ j = \overline{1, m} \, ,$$

які, у свою чергу, визначають функцію пропозиції продукції цієї фірми:

$$Q(w, c) = F\big(\xi(w, c)\big), \qquad \xi(w, c) = (\xi_j \ (w, c))_{j=1\dots m} \, .$$

Для заданого рівня λ отримаємо наступну задачу опуклого програмування:

$$F(x) \to \max, \ wx \le c, \ \ x \ge 0, \ \ w \epsilon \, C_\lambda(W), \tag{2.3.2}$$

де $w -$ нечітко заданий параметр, а $c -$ фіксований.

Необхідно знайти вектор x, який максимізує задану виробничу функцію.

Пошук компромісного розв'язку знаходиться розв'язанням трьохкритеріальної задачі:

$$f_1 = P_\lambda \to \max,$$

$$f_2 = \Delta L_\lambda = L_{max}(x, P, \alpha) - L_{min}(x, P, \alpha) \to \min, \qquad (2.3.3)$$

$$f_3 = L_\lambda(x, P, \alpha) \to \max,$$

$$x \geq 0, \ \ 0 \leq P \leq 1,$$

де $L_\lambda(x, P, \alpha) = F(x) + \alpha(xw - c)$ – функція Лагранжа для задачі (2.3.2).

Алгоритм розв'язання задачі (2.3.3) аналогічний, як і для задачі максимізаціїї прибутку: застосуємо метод послідовних поступок.

Спочатку складемо трьохкритеріальну задачу при $\lambda = 0.3$ та $c = 4500$:

$$P_{0.3} \to \max;$$

$$225 * x_1 + 490 * x_2 - 9500 \to \min;$$

$$x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + \alpha * (35 * x_1 + 290 * x_2 - 4500) \to \max,$$

$$x \geq 0; \ 0 \leq P \leq 1.$$

Максимізуємо перший критерій, використовуючи метод послідовних поступок:

$$P_{0.3} \to \max;$$

$$x \geq 0; \quad 0 \leq P \leq 1.$$

Наступним кроком мінімізуємо другий критерій:

$$225 * x_1 + 490 * x_2 \to \min;$$

$$x \geq 0.$$

Оптимальний розв'язок останньої задачі – $(0, 0)$, а оцінка $y = (1; 0; 0)$ не влаштовує ОПР. У такому разі візьмемо поступку $\Delta f_1 = -2500$. Маємо наступну систему:

$$225 * x_1 + 490 * x_2 \leq 2500;$$

$$x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + \alpha * (35 * x_1 + 290 * x_2 - 4500) \to \max;$$

$$x \geq 0.$$

Складемо функцію Лагранжа:

$$L_\lambda(x, P, \alpha) = x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + \alpha * (35 * x_1 + 290 * x_2 - 4500).$$

Знайдемо частинні похідні:

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = \frac{1}{2} x_1^{-\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + 35 * \alpha;$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_2} = \frac{1}{3} x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{-\frac{2}{3}} + 290 * \alpha;$$

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha} = 35 * x_1 + 290 * x_2 - 4500.$$

Звідси маємо, що розв'язок даної системи: $x_1 = 8.25$; $x_2 = 14.5$, який є оптимальним для поставленої задачі.

Розділ III

Практична реалізація в макроекономічному контексті

3.1 Нечіткість при ціноутворенні в макроекономіці

У реальності детермінованих процесів не існує. Усім природним явищам, технічним і технологічним процесам притаманна мінливість. Моделювання реального процесу ціноутворення не можна вважати коректним, якщо при цьому не враховуються невизначені чинники, які впливають на формування ціни. Ігнорування невизначеності завжди призводить до того, що планове стратегічне управління процесом ціноутворення підміняється спонтанною реакцією на будь-які зміни в системі і відповідними оперативними змінами ціни.

Для оцінки значень показників, які не мають кількісної оцінки, можна використовувати методи нечітких множин. Тому будемо користуватися апаратом нечіткого аналізу для проблеми ціноутворення.

Оцінка фірмою нового товару – доволі складна задача, адже треба враховувати усі зміни в цінах на ресурси. При аналізі і визначенні рівня цін фірма повинна представляти загальну картину системи цін, що характеризує взаємозв’язок різних видів цін. При ціноутворенні треба враховувати не тільки ціни конкурентів на ринку та ціни на закупівлю товару, а також фінансову кризу, яка напряму впливає на ціни на ресурси та може призвести до скорочення обсягів виробництва. Розглянемо в якості прикладу одні з найважливіших ресурсів для подальшого створення продукту, а саме електроенергію та природний газ. Їх ціни безпосередньо впливають на кінцеву вартість практично будь-якого товару, а також на відповідний прибуток. Крім того ці ресурси можна розглядати як макроекономічні, тобто такі, що визначають рівень ВВП країни. В такому випадку макроекономічна виробнича функція буде залежати від обсягів витрат вищезгаданих ресурсів, і, власне, визначати (формально) рівень ВВП.

Користуючись даними щодо цін на електроенергію та природний газ у 2018-2020 роках [11], [12], було проаналізовано та складено таблиці для непобутових споживачів цих ресурсів (таблиці 2 та 3). Непобутовий споживач – це фізична особа-підприємець або юридична особа, яка купує електричну енергію чи природний газ, що не використовується нею для власного побутового споживання.

Таблиця 2. *Середні ціни на електроенергію для непобутових споживачів*

грн за 1 кВт·год	**I** півріччя **2018** року	**I** півріччя **2019** року	**I** півріччя **2020** року
Середня ціна електроенергії, без ПДВ	1,83	1,86	1,58
Середня ціна електроенергії, з ПДВ	2,19	2,24	1,90

Маємо нечітку множину цін на електроенергію за три роки: [1,58; 1,86]. На щорічну зміну ціни впливає нефіксована ціна на біржі, яка виступає як собівартість електроенергії, а також тариф на передачу та розподіл електричної енергії.

Таблиця 2. *Середні ціни на природний газ для непобутових споживачів*

грн за 1 тис. м³	**I півріччя 2018 року**	**I півріччя 2019 року**	**I півріччя 2020 року**
Середня ціна природного газу, без ПДВ	7733,57	7585,58	4297,70
Середня ціна природного газу, з ПДВ	9280,28	9102,69	5157,24

Маємо нечітку множину середніх цін на природний газ за три роки: [4297,7; 7733,57]. Основним чинником впливу на ціни є ринкова ситуація, зокрема баланс попиту та пропозиції. У даному випадку, коли споживання газу збільшується і з'являється дефіцит – цей ресурс дорожчає, коли попит знижується чи збільшується видобування – дешевшає.

3.2 Розв'язування задач оптимальної поведінки економіки

Розв'яжемо задачу максимізації прибутку, використовуючи реальні дані, які було розглянуто у минулому підрозділі. Використаємо метод послідовних поступок.

Отримаємо трьохкритеріальну задачу.

$$P \to \max;$$

$$0.8 * x_1 + 1300 * x_2 \to \min;$$

$$\pi_{0.5}(x, P) \to \max.$$

Мінімізуємо другий критерій:

$$0.8 * x_1 + 1300 * x_2 \to \min;$$

$$x \geq 0.$$

Оптимальний розв'язок цього критерію – $(0, 0)$, а оцінка $y = (1; 0; 0)$ не влаштовує ОПР. Отже, візьмемо поступку $\Delta f_1 = -2600$. Маємо таку систему:

$$\pi_{0.5}(x, P) \to \max,$$

$$0.8 * x_1 + 1300 * x_2 \leq 2600,$$

$$x \geq 0.$$

Компромісний розв'язок знаходиться шляхом розв'язання такої задачі:

$$\frac{2000 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} - (2.5 - 0.8P) * x_1 - (6000 - 450P) * x_2 - 1800}{3100} \to \max;$$

$$500L - 2000 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + (2.5 + 0.8P) * x_1 +$$
$$+(6000 + 1750P) * x_2 \leq -3400;$$

$$0.8 * x_1 + 1300 * x_2 \leq 2600;$$

$$0.5 \leq P \leq 1; \;\; x \geq 0; \;\; L \geq 0.$$

Скористаємось теоремою Куна-Таккера. Складемо функцію Лагранжа $M(x,\sigma)$:

$$M(x,\sigma) = 2000 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} - (2.5 - 0.8P) * x_1 - (6000 - 450P) * x_2 -$$

$$-1800 + \left(3400 - 1100 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + 1.9x_1 + 4276.3x_2\right) * \sigma_1 +$$

$$+(2600 - 0.8 * x_1 - 1300 * x_2) * \sigma_2.$$

Знайдемо частинні похідні:

$$\frac{\partial M}{\partial x_1} = 1000 * x_1^{-\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} - 2.1 + 1.9 * \sigma_1 - 0.8 * \sigma_2 - 550 * \sigma_1 * x_1^{-\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}},$$

$$\frac{\partial M}{\partial x_2} = \frac{2000}{3} * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{-\frac{2}{3}} - 5775 + 4276 * \sigma_1 - 1300 * \sigma_2 - 366.6 * \sigma_1 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{-\frac{2}{3}},$$

$$\frac{\partial M}{\partial \sigma_1} = 3400 - 1100 * x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + 1.9x_1 + 4276.3x_2,$$

$$\frac{\partial M}{\partial \sigma_2} = 2600 - 0.8 * x_1 - 1300 * x_2.$$

Розв’язавши систему отримаємо розв’язок:

$$x_1 = 32.5, \qquad x_2 = 1.98;$$

Перевіривши, що σ_1 та σ_2 задовольняють умовам теореми Куна-Таккера, підставимо знайдені значення у функцію прибутку та маємо, що $\pi(x) = 3273$.

Аналогічно розв’яжемо задачу максимізації випуску продукції для реальних даних.

Складемо трьохкритеріальну задачу при $\lambda = 0.5$ та $c = 6500$:

$$P_{0.3} \to \max;$$

$$1600 * x_1 + 2200 * x_2 + 4500 \to \min;$$

$$x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + \alpha * (1700 * x_1 + 2200 * x_2 - 6500) \to \max,$$

$$x \geq 0; \quad 0 \leq P \leq 1.$$

Використаємо метод послідовних поступок, максимізуємо перший критерій:

$$P_{0.3} \to \max;$$

$$x \geq 0; \quad 0 \leq P \leq 1.$$

Далі мінімізуємо другий критерій:

$$1.6 * x_1 + 2.2 * x_2 \to \min;$$

$$x \geq 0.$$

Оптимальний розв'язок цієї задачі – $(0, 0)$, а оцінка $y = (1; 0; 0)$ не влаштовує ОПР. Тоді візьмемо поступку $\Delta f_1 = -2500$. Маємо наступну систему:

$$225 * x_1 + 490 * x_2 \leq 2500;$$

$$x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + \alpha * (1700 * x_1 + 2200 * x_2 - 6500) \to \max;$$

$$x \geq 0.$$

Функція Лагранжа:

$$L_\lambda(x, P, \alpha) = x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + \alpha * (1700 * x_1 + 2200 * x_2 - 6500).$$

Знайдемо частинні похідні:

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = \frac{1}{2} x_1^{-\frac{1}{2}} * x_2^{\frac{1}{3}} + 1700 * \alpha;$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_2} = \frac{1}{3} x_1^{\frac{1}{2}} * x_2^{-\frac{2}{3}} + 5100 * \alpha;$$

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha} = 1700 * x_1 + 5100 * x_2 - 6500.$$

В наслідок цього маємо, що розв’язок даної системи: $x_1 = 2.29$; $x_2 = 0.51$. Підставивши знайдені дані у виробничу функцію $F(x)$ та перевіривши, що умова $wx \leq c$ виконується, отримаємо, що цей розв’язок нас влаштовує, адже це оптимальні значення для максимізації випуску продукції.

Висновки

У даній роботі для розв'язання задачі максимізацій прибутку та задачі максимізації випуску було використано математичний апарат нечітких множин. За допомогою формування функції належності було зведено розв'язок нечіткої задачі до чіткої при заданих нечітких вхідних даних цільової функції. Використання методу послідовних поступок значно покращило розв'язання поставлених задач.

При збільшенні значень λ для множин рівня λ нечіткої множини A було отримано різні діапазони для зміни цін на ресурси та, відповідно, цільової функції. На більшому діапазоні нечіткість інформації не дозволяє максимізувати прибуток.

Після вирішення поставлених задач, було зроблено висновок, що якщо максимізувати випуск продукції, то це не обов'язково позитивно вплине на максимізацію прибутку. Адже максимізація прибутку фірми потребує, щоб кожна одиниця випуску товару приносила прибуток, враховуючи мінімізацію виробничих видатків.

У роботі було освітлено метод послідовних поступок для розв'язку багатокритеріальної задачі оптимізації, який було реалізовано за допомогою мови програмування Python.

Також було розглянуто приклади використання відповідних задач оптимальної поведінки фірми з нечіткістю при ціноутворенні на ресурси для дослідження в макроекономічному контексті. А саме, проаналізовано вплив нечіткого ціноутворення на основні макроекономічні ресурси в економіці України.

Список використаних джерел

1. Нечітка множина [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://cyb.univ.kiev.ua/library/books/voloshyn-20.pdf . Дата звернення 18.04.2021.

2. Ю.П. Зайченко. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. – К.: «Издательский Дом «Слово», 2008 – 333 с.

3. Л. Г. Раскин, О. В. Серая. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения. – Харьков : Парус, 2008. – 350 с.

4. Метод послідовних поступок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studfile.net/preview/7185500/page:16/#7185500. Дата звернення 28.04.2021.

5. Поняття фірми [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pidru4niki.com/10560412/politekonomiya/firma_subyekt_rinkovih_vidnosin. Дата звернення 19.04.2021.

6. Теорія фірми [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/19756/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F%203%20%D0%9B%D0%BE%D1%82%D0%B8%D1%88.pdf. Дата звернення 19.04.2021.

7. Поняття прибутку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/vanp_2015_2(1.1)__12.pdf. Дата звернення 24.04.2021.

8. Визначення виробництва [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://core.ac.uk/download/pdf/11327979.pdf. Дата звернення 29.04.2021.

9. Основні аксіоми [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.unicyb.kiev.ua/Library/Micro/micro_metod_3.pdf. Дата звернення 06.05.2021.

10. Волошин О.Ф., Пошелюжний О.В. Побудова та дослідження нечіткої моделі поведінки однопродуктової фірми. – Вісник Київського університету, 2009, 3 – 111-114 с.

11. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/energ/ser_cin_gas/ser_cin_gas_u/arh_sc_gaz2018_u.htm . Дата звернення 10.05.2021.

12. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/energ/ser_cin_el_energ/ser_cin_el_energ_u/arh_sc_elen2018_u.htm . Дата звернення 10.05.2021.

Додаток А

Код реалізації методу послідовних поступок:

```
from tkinter import *


class App(tk.Tk):
    def __init__(self):
        super().__init__()
        self.title("Метод послідовних поступок")
        self.lbl = tk.Label(self, text = "Розглянемо трьохкритеріальну
задачу: \n"
                                          " P -> max \n 0.8*x_1+1300*x_2 ->
min \n "
                                          "2000*x_1^(1/2)*x_2^(1/3)-2.1*x_1-
5775*x_2 -> max")

        self.btn = tk.Button(self, text="Далі", command=self.open_window)
        self.lbl.pack(padx=30, pady=20)
        self.btn.pack(padx=50, pady=20)

    def open_window(self):
        about = second(self)
        about.grab_set()


class second(tk.Toplevel):
    global s

    def __init__(self, parent):
        super().__init__(parent)
        self.label = tk.Label(self, text="Мінімізуємо другий критерій \n
0.8*x_1+1300*x_2 -> min \n"
                                          "Оптимальний розв'язок критерію -
(0;0), \n "
                                          "а оцінка y = (1; 0; 0) не влаштовує
ОПР. \n "
                                          "Тоді обирається поступка f_1 =",
width = 35, height = 5)

#обирається значення поступку на проміжку від 1000 до 5000
        s = None
        self.entry = tk.Spinbox(self, from_=1000, to=5000, width=5)
        s = self.entry.get()

        self.button = tk.Button(self, text="Далі",
command=self.open_window_2)
        self.label.pack(padx=20, pady=20)
        self.entry.pack(pady=3, ipadx=1, ipady=1)
        self.entry.bind(self, "<Return>",second)
        self.button.pack(pady=5, ipadx=2, ipady=2)

    def open_window_2(self):
        about = third(self)
        about.grab_set()


class third(tk.Toplevel):
    global s

    def __init__(self, parent):
```

```
        super().__init__(parent)

        s = str(second(parent))

        self.label = tk.Label(self, text="Отримаємо задачу: \n"
                                         "2000*x_1^(1/2)*x_2^(1/3)-2.1*x_1-
5775*x_2 -> max \n"
                                        "0.8*x_1+1300*x_2 < " + s)

        self.button = tk.Button(self, text="Закрити", command=self.destroy)
        self.label.pack(padx=20, pady=20)
        self.button.pack(pady=5, ipadx=2, ipady=2)

if __name__ == "__main__":
    app = App()
    app.mainloop()
```