

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



НЕЧІТКА ЛОГІКА

ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ

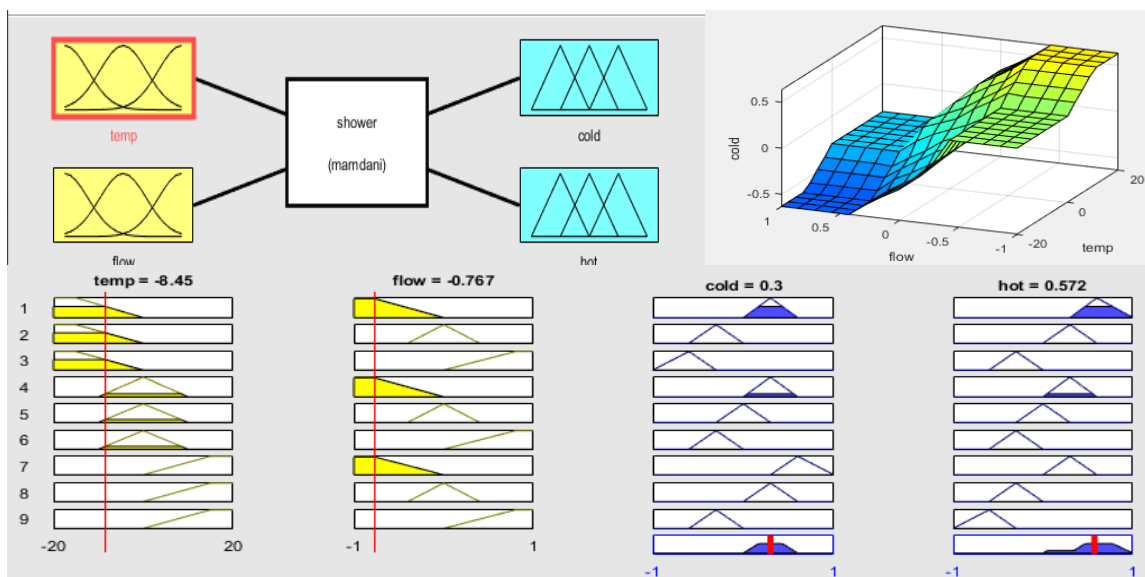
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

«Сучасні комп'ютерні технології фінансового ринку»

для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня PhD

всіх форм навчання спеціальності 051 «Економіка»



ОДЕСА ОНЕУ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ, ОБЛІКУ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

Гострик О.М.

НЕЧІТКА ЛОГІКА
ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять з дисципліни
«Сучасні комп'ютерні технології фінансового ринку»
для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня PhD
всіх форм навчання спеціальності 051 «Економіка»

ОДЕСА ОНЕУ 2024

УДК 519.86(076)

Г 72

Укладачі:

Гострик О.М. , канд. екон. наук, доцент

Рецензенти:

Беспалов В.М. , к. е. н., доцент(зовнішній рецензент)

Орлик О.В., канд. екон. наук, доцент

Васильченко К.Г. , канд. екон. наук, доцент

Рекомендовано до друку
кафедрою економічної кібернетики
та інформаційних технологій
Протокол № від 2024 р.

Гострик О.М.

Нечітка логіка. Практика використання: методичні вказівки / О.М. Гострик. –
Одеса: ОНЕУ, ротапринт, 2024 -36 с.

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Сучасні
комп'ютерні технології фінансового ринку» для здобувачів третього (освітньо-
наукового) рівня PhD всіх форм навчання спеціальності 051 «Економіка»

УДК 519.86(076)

Г 72

© Гострик О.М., 2024

© Одеський національний економічний університет

З М І С Т

В С Т У П.....	5
I. Ключові поняття теорії нечіткої логіки.....	6
II. Основні етапи нечіткого виведення	11
2.1. Формування бази знань у вигляді продукційних правил.....	12
2.2. Фазифікація вхідних змінних	13
2.3. Агрегування передумов в нечітких продукційних правилах	13
2.4. Активізація або композиція висновків в нечітких продукційних правилах.....	15
2.5. Акумуляування висновків нечітких продукційних правил.....	17
2.6. Дефазифікація вихідної змінної.....	18
III. Основні алгоритми нечіткого виведення	18
3.1. Алгоритм Мамдані (Mamdani)	19
3.2. Алгоритм Саджено (Sugeno).....	21
3.3. Порівняння систем нечіткого виведення для практичного використання	24
IV. Приклад використання методу нечіткої логіки для обробки та аналізу даних.....	24
4.1. Практичне завдання	29
4.2. Недоліки моделей, побудованих в середовищі Fuzzy Tools MatLab .	35
У. Завдання для індивідуальної роботи	35
Використана література.....	36

ВСТУП

Теорія нечіткої логіки була вперше представлена в 1965 р. Л. А. Заде і може бути описана як логіка для роботи з невизначеністю та неточністю. Термін «нечіткий» підходить для опису математичного середовища, де немає чітко визначених меж між досліджуваними змінними.

Теорія нечіткої логіки базується на концепції “нечітких множин”, що є узагальненням класичної теорії множин. В даному випадку нечітка множина може бути визначена математичною функцією, яка приймає лише двійкові значення - **1**, якщо елементи повністю належать до множини, та **0**, якщо елементи не належать до цієї множини. При цьому нечітка множина визначається функцією приналежності, яка дозволяє кожному елементу бути представленим різним “*ступенем належності*”, вказуючи, наскільки елемент належить до множини. Важливо зауважити, що оцінка членства є суб'єктивною і залежить від контексту.

Основними характеристиками цього підходу є використання лінгвістичних змінних замість числових змінних. При цьому зв'язок між змінними описується нечіткими твердженнями, а складні взаємозв'язки - нечіткими алгоритмами. При роботі з нечіткими системами діє так званий принцип несумісності: для отримання чітких висновків про поведінку складної системи слід залучити її до аналізу підходів, що використовують принципи нечіткої логіки.

Нечітка логіка - це розділ математики, який займається складною класичною логікою та теорією нечітких множин. Основною характеристикою теорії нечітких множин є маніпулювання компонентом як лінгвістичною змінною. Лінгвістична змінна - це змінна, яка представлена не числами, а словами та виразами, які в свою чергу, спричиняють розмитість, оскільки не мають певного числового значення.

Часто вихідними даними для вирішення економічних проблем є думки та висновки експертів, представлені фразами та словами, або лінгвістичними даними, тому існує потреба у перетворенні лінгвістичних параметрів у числові вирази. У цьому полягає проблема і вирішення теорії нечітких множин.

Обмеження та недоліки використання «класичних» формальних методів у вирішенні напівструктурованих задач є результатом сформульованого засновником теорії нечітких множин, принципу несумісності Л. А. Заде: «... чим ближче ми наближаємось до вирішення проблем реального світу, тим ясніше стає, що зі збільшенням складності системи наша здатність робити точні та впевнені висновки про її поведінку зводиться до певного порогу, за яким точність та впевненість майже взаємо виключають».

Методи, засновані на теорії нечітких множин, відносяться до методів оцінки та прийняття рішень в умовах невизначеності. Їх використання передбачає формалізацію вихідних і цільових показників ефективності процесу у вигляді вектору інтервальних значень (нечіткий інтервал), потрапляння в кожен інтервал, характеризується певною мірою невизначеності.

Метою методичних вказівок є розгляд класу моделей, які як раз і реалізують методи прийняття рішень в умовах невизначеності. Детально розглянуті питання оцінки первинних даних з позицій їх достовірності та якості для отримання відповідних результатів.

Здобувачам надаються практичні завдання в процесі виконання яких вони повинні навчитися проводити моделювання неструктурованих задач на підставі систем, які реалізують відповідні засоби оцінки та обробки результатів експерименту на основі систем штучного інтелекту. В якості програмного забезпечення використано пакет прикладних програм MatLab, а саме інструмент Fuzzy Logic Toolbox, який дозволяє виконувати операції проектування та моделювання системи нечіткої логіки.

Методичні вказівки можуть бути використані студентами, аспірантами та викладачами які стикаються з процесом прийняття управлінських рішень при аналізі відповідних економічних процесів.

I. Ключові поняття теорії нечіткої логіки

1. Носій U - це універсальна множина, до якої відносяться всі результати спостережень в рамках оцінюваної квазістатистики. Наприклад, якщо нами спостерігається вік зайнятих в певних галузях економіки, то носій - це відрізок дійсної осі (16, 70), де одиницею виміру виступають роки життя людини.

2. Нечітка множина A - це множина значень носія, таке, що кожному значенню носія поставлена ступінь приналежності цього значення множині A . Наприклад: літери латинського алфавіту X, Y, Z безумовно належать множині $Alphabet = \{A, B, C, X, Y, Z\}$, і з цієї точки зору множина $Alphabet$ - чітка. Але якщо аналізувати множину «Оптимальний вік працівника», то вік 50 років належить до цієї нечіткої множині тільки з деякою часткою умовності μ , яку називають функцією приналежності.

3. Функція приналежності $\mu_A(u)$ - це функція, областю визначення якої є носій U , для якого $u \in U$, а областю значень - одиничний інтервал $[0,1]$. Чим вище $\mu_A(u)$, тим вище оцінюється ступінь приналежності елемента носія u нечіткій множині A . У відповідних програмних засобах, які реалізують метод нечіткої логіки, найбільш розповсюдженими є такі функції приналежності, як *сигмоїдальна, двостороння сигмоїдальна, гаусова, дзвоноподібної форми, S-функція приналежності, Z-функція приналежності, трапецієподібна, трикутна* та інші.

4. Лінгвістична змінна.

Заде визначає лінгвістичну змінну так:

$$\Omega = \langle \omega, T(\omega), U, G, M \rangle,$$

де ω - назва змінної, T - терм-множина значень, тобто сукупність її лінгвістичних значень, U - носій, G - синтаксичне правило, яке породжує терми множини T , M - семантичне правило, яке кожному лінгвістичному значенню ω ставить у відповідність його сенс $M(\omega)$, причому $M(\omega)$ позначає нечітку підмножину носія U .

5. Нечітка величина

Нечітка величина - це нечітка підмножина $B = \{x, \mu_B(x)\}$, універсальної множини дійсних чисел R , що має нормальну і опуклу функцію приналежності, $\mu_B(x): R \rightarrow [0,1]$, тобто таку, що:

- існує таке значення носія, в якому функція приналежності дорівнює **1**
- при відступі від свого максимуму вліво або вправо функція приналежності зменшується

Конкретизацією загального поняття нечітка величина є такі поняття, як:

- нечіткий інтервал, який представляє собою нечітку величину з опуклою функцією приналежності.
- нечітке число, яке представляє собою нечітку величину, що має нормальну та опуклу функцію приналежності.
- нечіткий нуль, це нечітке число, якщо його модальне значення дорівнює **0**.

- позитивне (негативне) нечітке число. Нечітке число називається Позитивним (негативним), якщо має суворо позитивний (суворо негативний) носій. Наприклад,

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < 1, \\ \frac{x-1}{2}, & \text{если } 1 \leq x < 3, \\ \frac{5-x}{2}, & \text{если } 3 \leq x \leq 5, \\ 0, & \text{если } x > 5. \end{cases}$$

Рис. 1. Приклад визначення нечітких чисел

В даному випадку відповідна нечітка множина має носій - інтервал **[1,5]** і моду, що дорівнює **3**.

6. Трапецієвидне (трапецоїдне) нечітке число.

Досліджуємо деяку квазистатистику і визначимо лінгвістичну змінну $X =$ «Значення параметра U », де U - множина значень носія квазистатистики.

Виділимо два терм-множини значень:

- $T_1 =$ « U у лежить в діапазоні приблизно від a до b » з нечіткою підмножиною M_1

- безіменне значення T_2 з нечіткою підмножиною M_2 , причому виконується $M_2 = \neg M_1$. Тоді функція приналежності $\mu_{T_1}(u)$ має трапецоїдний вид, як показано на рис. 2.

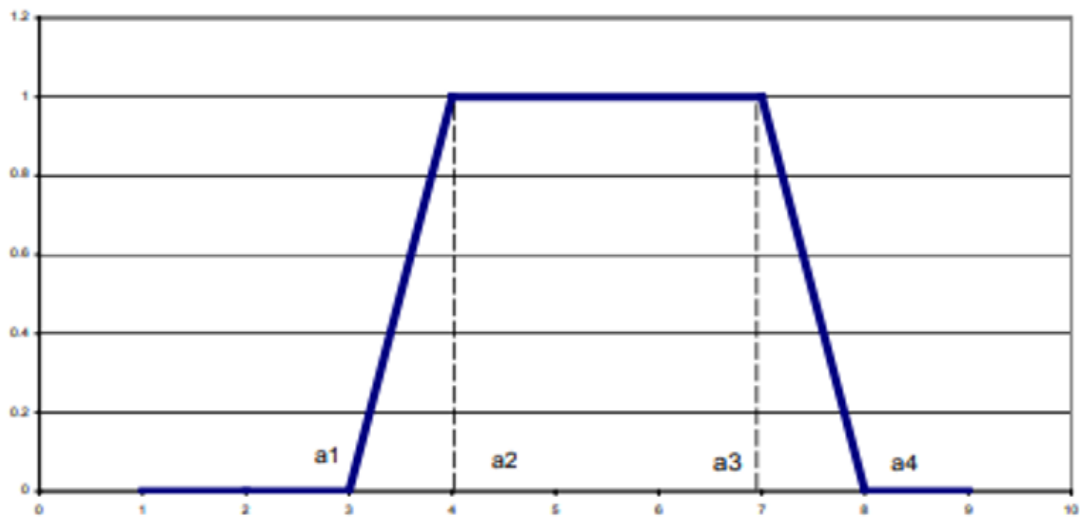


Рис. 2 Функція приналежності трапецієподібного нечіткого числа

Оскільки межі інтервалу задані нечітко, то розумно ввести абсциси вершин трапеції наступним чином:

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2}, \quad b = \frac{b_1 + b_2}{2},$$

при цьому відстань вершин a_1 , a_2 і b_1 , b_2 відповідно один від одного обумовлюється тим, що яку семантику особа вкладає в поняття «приблизно»: чим більше розкид квазістатистики, тим бічні ребра трапеції є більш пологими. У граничному випадку поняття «приблизно» переходить в поняття «де завгодно».

Якщо оцінюється параметр якісно, наприклад, висловившись «Це значення параметра є середнім», необхідно ввести уточнююче висловлювання типу «Середнє значення - це приблизно від a до b », яке є предметом експертної оцінки (нечіткої класифікації), і тоді можна використовувати для моделювання нечітких класифікацій трапецоїдні числа. Насправді, це самий природний спосіб невпевненої класифікації.

В даному випадку нечітке число можна визначити, як $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$.

7. Трикутні нечіткі числа.

Тепер для тієї ж лінгвістичної змінної визначимо терм-множину $T_1 = \{U \text{ приблизно дорівнює } a\}$. Ясно, що $a \pm \delta \approx a$, причому по мірі спадання до нуля ступінь впевненості в оцінці зростає до одиниці. Це, з точки зору функції приналежності, надає останньої трикутний вид (рис. 3), причому ступінь наближення характеризується експертом.

Трикутні числа - це найчастіше використовуваний на практиці тип нечітких чисел, причому найчастіше - в якості прогнозних значень параметра.

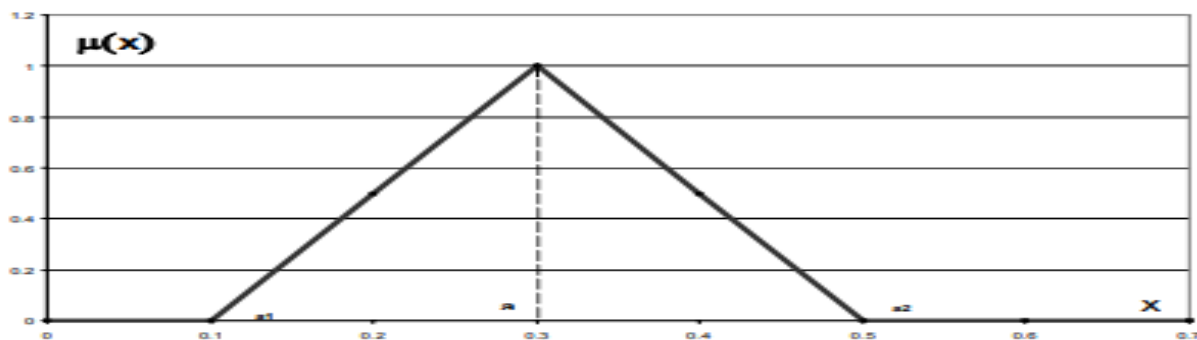


Рис. 3 Функція приналежності трикутного нечіткого числа

В випадку, коли $a_2 = a_3$ можна трикутне число можна записати як $A = (a'_1, a'_2, a'_4)$.

8. Операції над нечіткими підмножинами

Для класичних множин в теорії нечіткої логіки над складовими виконуються відповідні операції. В виразах $\mathcal{A}$ - це умова або посилення, а $\mathcal{B}$ - висновок або слідство. Розглянемо базові операції з метою визначення кінцевого результату – формування функції приналежності.

- заперечення множин - операція над множиною $\mathcal{A}$, результатом якої є множина $C = \neg \mathcal{A}$, яке містить всі елементи, які належать універсальній множині, але не належать множині $\mathcal{A}$.

$$\mu_C(u) = 1 - \mu_A(u)$$

- перетин множин - операція над множинами $\mathcal{A}$ і $\mathcal{B}$, результатом якої є множина $C = \mathcal{A} \cap \mathcal{B}$, яке містить тільки ті елементи, які належать і множині $\mathcal{A}$ і множині $\mathcal{B}$;

$$\mu_C(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u))$$

- об'єднання множин - операція над множинами $\mathcal{A}$ і $\mathcal{B}$, результатом якої є множина $C = \mathcal{A} \cup \mathcal{B}$, яке містить ті елементи, які належать множині $\mathcal{A}$ або множині $\mathcal{B}$ або обом множинам;

$$\mu_C(u) = \max(\mu_A(u), \mu_B(u))$$

- різниця множин - операція над множинами $\mathcal{A}$ і $\mathcal{B}$, результатом якої є множина $C = \mathcal{A} - \mathcal{B}$.

$$\mu_C(u) = \max(\mu_A(u) - \mu_B(u), 0)$$

- симетрична різниця множин - операція над множинами $\mathcal{A}$ і $\mathcal{B}$,
результатом якої є множина $C = \mathcal{A} \Delta \mathcal{B}$

$$\mu_C(u) = |\mu_A(u) - \mu_B(u)|$$

= алгебраїчні операції перетину та об'єднання - операція над
множинами $\mathcal{A}$ і $\mathcal{B}$, результатом якої є множина

$$C = \mathcal{A} * \mathcal{B} \quad \text{або} \quad C = \mathcal{A} + \mathcal{B}$$

$$\mu_C(u) = (\mu_A(u) * \mu_B(u)); \quad \mu_C(u) = \mu_A(u) + \mu_B(u) - \mu_A(u) * \mu_B(u)$$

= граничні операції перетину та об'єднання - операція над множинами
 $\mathcal{A}$ і $\mathcal{B}$, результатом якої є множина

$$C = \mathcal{A} \otimes \mathcal{B} \quad \text{або} \quad C = \mathcal{A} \oplus \mathcal{B}$$

$$\mu_C(u) = \max[(\mu_A(u) + \mu_B(u) - 1; 0]; \quad \mu_C(u) = \min[(\mu_A(u) + \mu_B(u); 1]$$

- драстичний перетин множин - операція над множинами $\mathcal{A}$ і $\mathcal{B}$,
результатом якої є множина з функцією приналежності

$$\mu_C(u) = \begin{cases} \mu_A(u) & \text{if } \mu_B(u) = 1 \\ \mu_B(u) & \text{if } \mu_A(u) = 1 \\ 0, & \text{in other cases} \end{cases}$$

$$\mu_C(u) = \begin{cases} \mu_A(u) & \text{if } \mu_B(u) = 0 \\ \mu_B(u) & \text{if } \mu_A(u) = 0 \\ 1, & \text{in other cases} \end{cases}$$

- диз'юнктивна сума - операція над множинами $\mathcal{A}$ і $\mathcal{B}$,
результатом якої функція приналежності

$$\mu_C(u) = \max[\min(\mu_A(u), 1 - \mu_B(u)), \min(1 - \mu_A(u), \mu_B(u))]$$

- λ -сума операція над множинами $\mathcal{A}$ і $\mathcal{B}$, результатом якої є
операція $C = \mathcal{A} + \lambda \mathcal{B}$. При цьому функція приналежності визначається за
формулою

$$\mu_C(u) = \lambda * \mu_A(u) + (1 - \lambda) * \mu_B(u)$$

- імплікація двох нечітких висловлювань $\mathcal{A}$ і $\mathcal{B}$ - яка відображається
як $\mathcal{A} \rightarrow \mathcal{B}$ і представляє собою бінарну логічна операція, результат якої є

нове нечітке логічне висловлювання, функція приналежності якого визначається за однією з наступних формул.

Ця операція займає центральне місце в системах нечіткого логічного виводу і має декілька альтернативних способів визначення. Нижче наведені вирази розрахунку функції приналежності, які були запропоновані вченими, а саме :

- Л. Заде (Lofti Zadeh)

$$\mu_C(u) = \max[\min(\mu_A(u); \mu_B(u)); 1 - \mu_A(u)]$$

- Е. Мамдані (Ebrahim Mamdani)

$$\mu_C(u) = \min(\mu_A(u); \mu_B(u))$$

- Я. Лукасевичем (Jan Lukasiewicz)

$$\mu_C(u) = \min(1; 1 - \mu_A(u) + \mu_B(u))$$

- Дж. Гогеном (Joseph Goguen)

$$\mu_C(u) = \min(1; \mu_B(u)/\mu_A(u))$$

але при

$$\mu_A(u) = 0; \mu_C(u) = 1$$

- еквівалентність двох нечітких висловлювань A і B , яка відображається як, $A \leftrightarrow B$ називається бінарна логічна операція, результат якої є нове нечітке логічне висловлювання, функція приналежності якого визначається за наступною формулою

$$\mu_C(u) = \min[\max(1 - \mu_A(u); \max(\mu_A(u))); 1 - \mu_B(u)]$$

На підставі вищенаведених типів логічних операцій можна формувати і більш складні нечіткі висловлювання.

Слід відмітити, що існує певний пріоритет виконання логічних операцій, який не відрізняється від пріоритету логічних операцій в класичній двійковій логіці. В даному випадку слід зазначити, що пріоритетним є така послідовність виконання логічних операцій в порядку зменшення ваги, а саме заперечення, кон'юнкція, диз'юнкція і імплікація.

II. Основні етапи нечіткого виведення

Системи нечіткого виводу призначені для перетворення значень вхідних змінних процесу у вихідні змінні на основі використання нечітких **продукційних правил**. Це вимагає наявності в системі відповідних правил нечітких продукцій і реалізовувати нечітке виведення, спираючись на

певні умови, які створюються у вигляді нечітких лінгвістичних висловлювань. Базові етапи нечіткого виводу зображені на рис. 4.

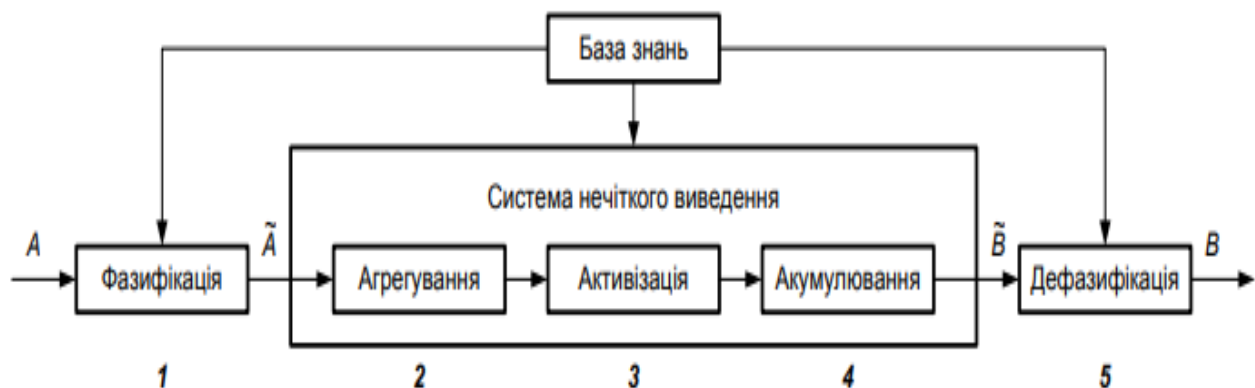


Рис. 4. Загальні етапи нечіткого виведення[13]

2.1. Формування бази знань у вигляді продукційних правил

База правил систем нечіткого виводу призначена для формального зображення емпіричних знань або знань експертів в тій чи іншій проблемній області. У системах нечіткого виведення використовуються правила нечітких продукцій, в яких умови і висновки сформульовані в термінах нечітких лінгвістичних висловлювань.

Сукупність таких правил будемо далі називати базою правил нечітких продукцій, яка є кінцевою множиною правил, узгоджених відповідно до використовуваних в них лінгвістичних змінних. В більшості випадків база правил надається у формі, яка наведена нижче:

ПРАВИЛО - 1: ЯКЩО «умова_1, ТО результат_1» (F_1)

ПРАВИЛО - 2: ЯКЩО «умова_2, ТО результат_2» (F_2)

...

ПРАВИЛО - m: ЯКЩО «умова_m, ТО результат_m» (F_m)

де F_i – вага відповідного правила, яка може приймати значення з інтервалу **[0, 1]**. За замовченням значення цього параметру дорівнює **1** (у разі відсутності).

У системах нечіткого виведення змінні, які використовуються в нечітких висловлюваннях передумови правил нечітких продукцій, називають *вхідними лінгвістичними змінними*, а, відповідно змінні, які використовуються в нечітких висловлюваннях висновків правил нечітких продукцій, називають *вихідними лінгвістичними змінними*. [13].

2.2. Фазифікація вхідних змінних

Під фазифікацією розуміють не тільки відповідний і певний етап виконання нечіткого виведення, а й власне процес(процедуру) обчислення значень функцій приналежності нечітких множин на підставі звичайних (НЕ нечітких) вхідних даних. Фазифікація також може бути визначена як введення нечіткості.

Загальною метою цього етапу є встановлення відповідності між конкретним (зазвичай чисельним) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого виведення і значенням функції приналежності відповідного їй терму вхідної лінгвістичної змінної. Після завершення цього етапу для всіх вхідних змінних повинні бути визначені конкретні значення функцій приналежності по кожному з лінгвістичних термів, використаних в передумовах бази правил системи нечіткого виведення. [13].

2.3. Агрегування передумов в нечітких продукційних правилах

Агрегування (англ. *aggregation*) являє собою процедуру визначення ступеня істинності умов по кожному з правил системи нечіткого виведення. Формально процедура агрегування виконується наступним чином.

До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх передумов системи нечіткого виведення, тобто множина значень $\mathbf{B}=\{\mathbf{b}_i\}$. Далі розглядають кожну з умов правил системи нечіткого виведення. Якщо умова складається з декількох передумов, то визначається ступінь істинності складного висловлювання на основі відомих значень істинності передумов.

При цьому, для визначення результату нечіткої кон'юнкції або зв'язки типу «І» може бути використана одна з формул: [13]

- **логічна кон'юнкція:** $\mu(A \cap B) = \min \{\mu(A), \mu(B)\},$
- **алгебраїчний добуток:** $\mu(A \cap B) = \max \{\mu(A) \cdot \mu(B)\},$
- **граничний добуток:** $\mu(A \cap B) = \max\{(\mu(A) + \mu(B)) - 1, 0\},$
- **драстичний добуток:** $\mu(A \cap B) = \begin{cases} \mu(B), & \text{if } \mu(A) = 1, \\ \mu(A), & \text{if } \mu(B) = 1, \\ 0, & \text{in other cases.} \end{cases},$

де - $\mu(A), \mu(B)$ - функції приналежності нечітких висловлювань $\mathcal{A}$ та $\mathcal{B}$ відповідно.

Для визначення результату нечіткої диз'юнкції або зв'язки типу «АБО» може бути використана одна з формул:

- **логічна диз'юнкція:** $\mu(A \cup B) = \max \{ \mu(A), \mu(B) \},$
- **алгебраїчна сума:**
 $\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B) - \mu(A) \cdot \mu(B),$
- **гранична сума:** $\mu(A \cup B) = \min \{ (\mu(A) + \mu(B)), 1 \},$
- **драстична сума:** $\mu(A \cup B) = \begin{cases} \mu(B), & \text{if } \mu(A) = 0, \\ \mu(A), & \text{if } \mu(B) = 0, \\ 1, & \text{in other cases.} \end{cases},$

де $\mu(A), \mu(B)$ - функції приналежності нечітких висловлювань $\mathcal{A}$ та $\mathcal{B}$ відповідно.

При цьому значення b_i використано як аргументи відповідних логічних операцій. Тим самим знаходяться кількісні значення істинності всіх умов правил системи нечіткого виведення.

Етап агрегування вважається закінченим, коли будуть знайдені всі значення для кожного з правил, що входять в базу правил системи нечіткого виведення.

Приклад процесу агрегування двох нечітких висловлювань

- «швидкість автомобіля середня» І «кава гаряча» та
- «швидкість автомобіля середня» АБО «кава гаряча»

Умова: Припустимо, що поточна швидкість автомобіля дорівнює 55 км/год, тобто $a_1=55$, а температура кави дорівнює 70° , тобто $a_2=70$. Тоді агрегування першого нечіткого висловлювання з використанням операції нечіткої кон'юнкції дає в результаті число $b_1=0,67$ (наближене значення), яке означає його ступінь істинності та визначається як мінімальне зі значень 0.67 та 0.8 (рис. 4, а). Агрегування другого нечіткого висловлювання з використанням операції нечіткої диз'юнкції дає в результаті число $b_1=0,8$, яке означає його

ступінь істинності та визначається як *максимальне* зі значень 0.67 та 0.8 (рис. 5,6).

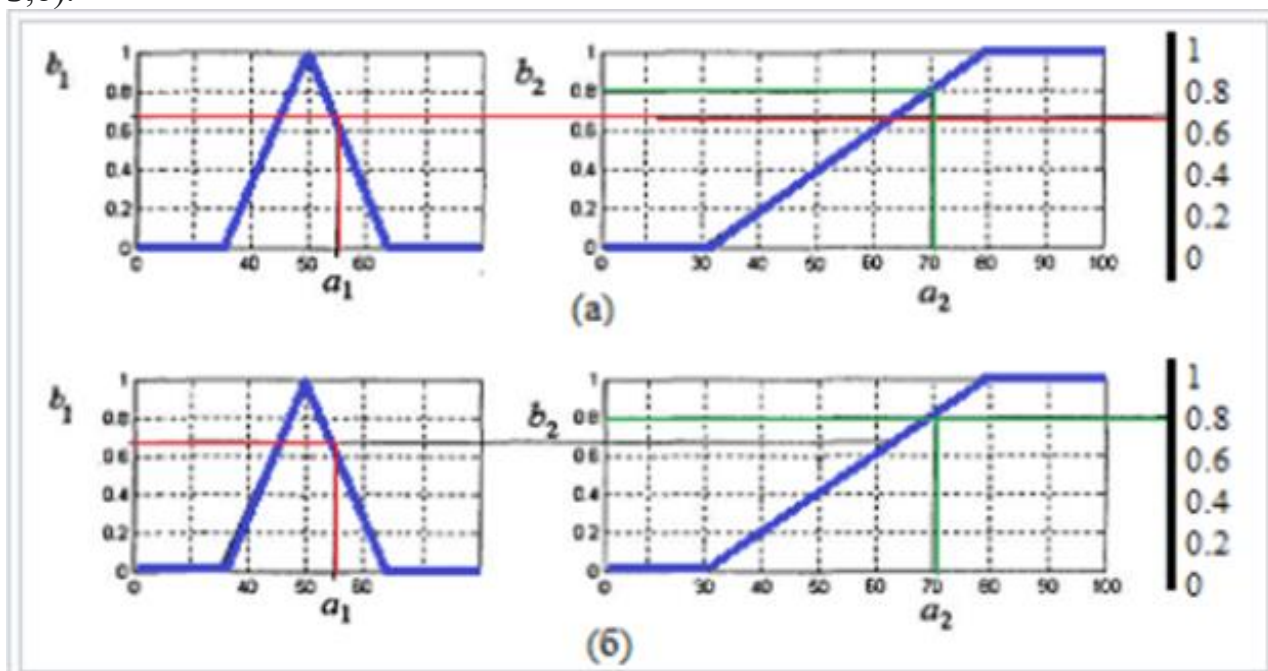


Рис. 5. Приклад агрегування передумови для нечітких висловлювань «швидкість автомобіля середня» І «температура кави висока»(а) та «швидкість автомобіля середня» АБО «температура кави висока»(б). [13]

2.4. Активізація або композиція висновків в нечітких продукційних правилах

Активізація ([англ.](#) activation) в системах нечіткого виведення являє собою *процедуру або процес знаходження ступеня істинності кожного з висновків правил нечітких продукцій*. Формально процедура активізації виконується наступним чином:

- визначення множини вхідних значень та значень вагових коефіцієнтів для кожного правила
- формування висновку на підставі правил системи нечіткого виведення. Якщо висновком правила є нечітке висловлювання, то ступінь його істинності дорівнює алгебраїчному добутку відповідного значення на ваговий коефіцієнт. Таким чином, знаходяться всі значення ступенів істинності висновків для кожного з правил, що входять в дану базу правил системи нечіткого виведення, тобто $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, де c_q – загальна кількість висновків в базі правил.
- після знаходження множини $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ визначаються функції приналежності кожного з висновків для розглянутих вихідних лінгвістичних змінних на підставі одного з методів, які є модифікацією того чи іншого методу нечіткої композиції:

- **min-активізація:** $\mu(y) = \min \{c_i, \mu(y)\}$,
- **prod-активізація:** $\mu(y) = c_i \cdot \mu(y)$,
- **average-активізація:** $\mu(y) = 0.5 \cdot (c_i + \mu(y))$,

де $\mu(y)$ – функція належності терму, який є значенням деякої вихідної змінної, заданої на універсумі Y .

• етап активізації вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних, що входять в окремі висновки правил нечітких продукцій, будуть визначені функції приналежності нечітких множин:

де q - загальна кількість $C' = \{c'_1, c'_2, \dots, c'_q\}$ висновків в базі правил системи нечіткого виведення.

Приклад процесу активізації укладення в правилі нечіткої продукції

ЯКЩО «швидкість автомобіля середня», ТО «кава гаряча».

В даному випадку вхідною лінгвістичною змінною в цьому правилі є "швидкість руху автомобіля", а вихідною змінною є "температура кави". Припустимо, що поточна швидкість автомобіля дорівнює 55 км/год, тобто $a_1=55$. Оскільки агрегування умови цього правила дає в результаті $b_1=0.67$, а ваговий коефіцієнт дорівнює **1** (за замовчуванням), то результат активації буде $C_1=0.67$.

На рис. 6 (а) зеленим кольором зображено результат, отриманий методом **min-активізації**, а на рис. (б) – результат, отриманий методом **prod-активізації**. Слід пам'ятати, що в цьому прикладі на відміну від попереднього «температура кави» – вихідна лінгвістична змінна. [13]

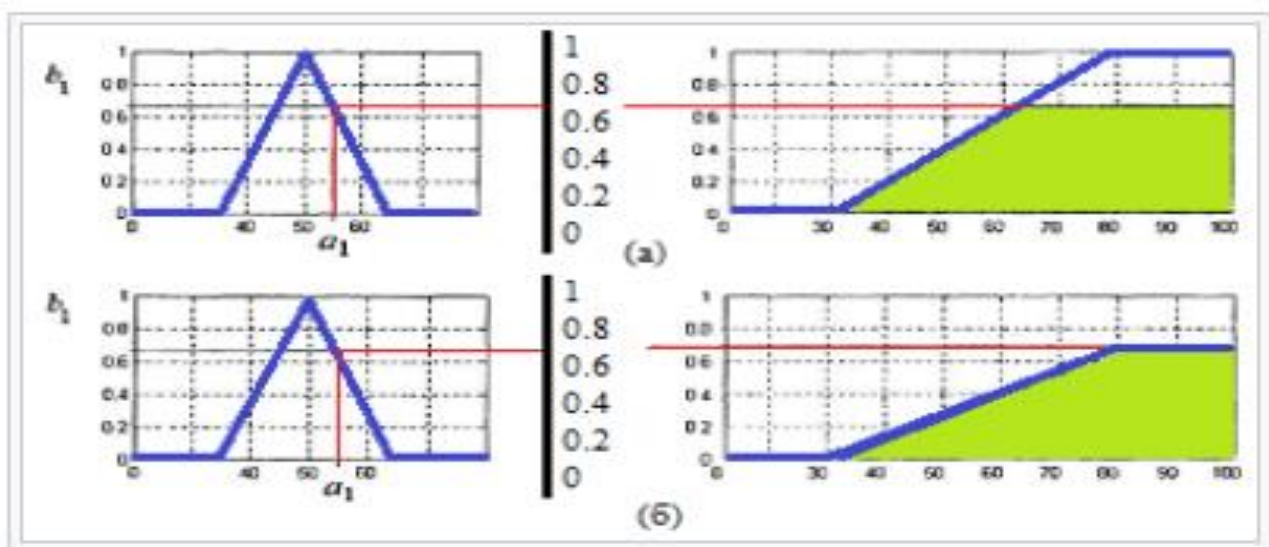


Рис. 6. Приклад активізації висновка для правила нечіткої продукції[13]

2.5. Акумулявання висновків нечітких продукційних правил

Акумуляція ([англ. accumulation](#)) в системах нечіткого виведення являє собою процедуру або процес знаходження функції приналежності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини. Реалізація цього процесу потрібна для того, щоб об'єднати всі ступені істинності висновків для отримання функції приналежності кожної з вихідних змінних. Це пов'язано з тим, що висновки, які відносяться до однієї і тієї ж вихідної лінгвістичної змінної, належать різним правилам системи нечіткого виведення. Процес акумуляції виконується в декілька кроків:

- до початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх висновків для кожного з правил, що входять в дану базу правил системи нечіткого виведення, в формі сукупності нечітких множин: $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, де c_q – загальна кількість висновків в базі правил.

- послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних і пов'язані з нею нечіткі множини. Результат акумуляції для вихідної лінгвістичної змінної визначається як об'єднання нечітких множин за однією з формул:

- **логічна диз'юнкція:** $\mu(A \cup B) = \max \{\mu(A), \mu(B)\}$,
- **алгебраїчна сума:** $\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B) - \mu(A) \cdot \mu(B)$,
- **гранична сума:** $\mu(A \cup B) = \min\{\mu(A) + \mu(B), 1\}$,

де $\mu(A), \mu(B)$ – функції належності нечітких висловлювань A та B відповідно.

- етап акумуляції вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені підсумкові функції приналежності нечітких множин їх значень, тобто сукупність нечітких множин $C_1', C_2', \dots, C_s$, де s - загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого виведення.

Приклад процесу акумуляції висновків

В якості прикладу скористаємося висновками трьох нечітких множин, отриманих в результаті виконання процедури активізації для вихідної лінгвістичної змінної «швидкість руху автомобіля» в деякій системі нечіткого виведення. Припустимо, що функції приналежності цих нечітких множин зображені на рис. 4 (а), (б) та (в) відповідно.

Акумуляція цих функцій приналежності шляхом **max-об'єднання** нечітких множин дозволяє отримати в результаті функцію приналежності вихідної лінгвістичної змінної «швидкість руху автомобіля», яка представлена на рис.7(г).[13]

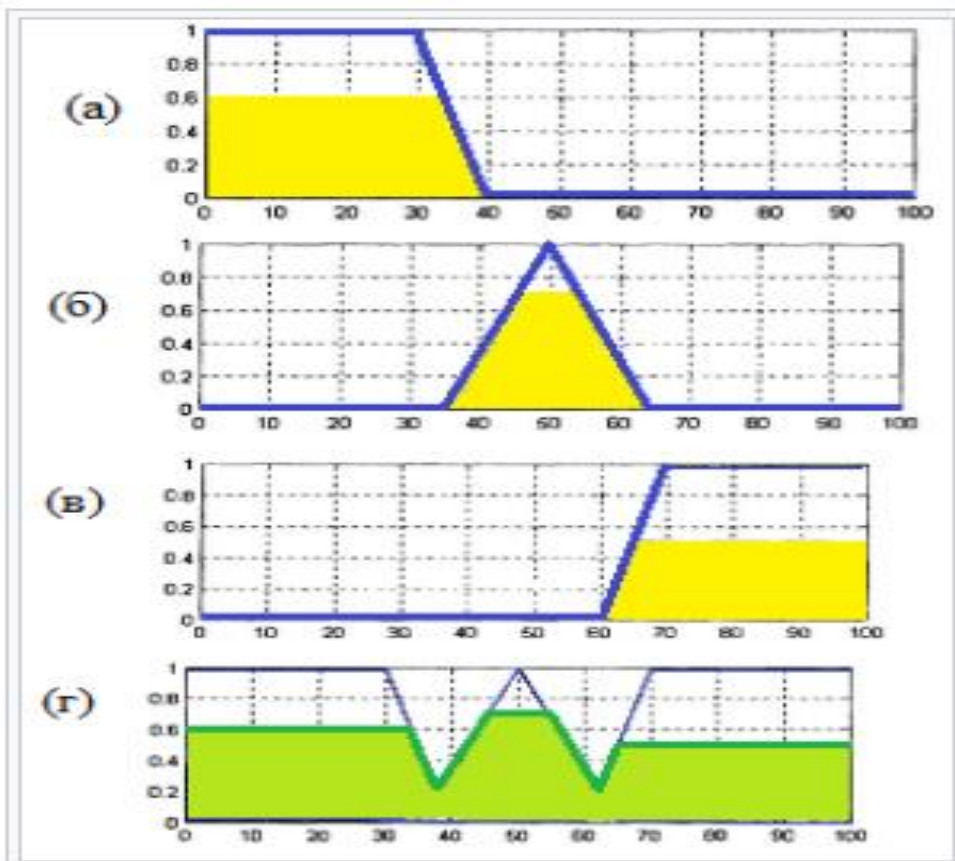


Рис. 6 – Приклад
акумуляції
висновка для
вихідної
лінгвістичної
змінної
«швидкість руху
автомобіля» [13]

2.6.

Дефазифікація вихідної змінної

Дефазифікація в системах нечіткого виведення являє собою процедуру або процес знаходження звичайного (*НЕ нечіткого*) значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних. Мета дефазифікації полягає в тому, щоб, використовуючи результати акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних, отримати *звичайне кількісне значення* кожної з вихідних змінних, яке може бути використане спеціальними пристроями, що не належать до системи нечіткого виведення. [13]

III. Основні алгоритми нечіткого виведення

Розглянуті вище етапи нечіткого виводу можуть бути реалізовані неоднозначним чином, оскільки включають в себе окремі параметри, які повинні бути фіксовані або специфіковані. Тим самим вибір конкретних варіантів параметрів кожного з етапів визначає алгоритм, який в повному обсязі реалізує нечіткий висновок в системах правил нечітких продукцій. Сьогодні існує декілька алгоритмів нечіткого виведення, які отримали найбільше застосування в системах нечіткого виведення. Це такі алгоритми, як алгоритм Мамдані(Mamdani), Цукамото(Tsukamoto), Ларсена(Larsen) та Саджено(Sugeno). Розглянемо сутність тих алгоритмів, які використовуються в додатку **Fuzzy Logic Toolbox** в системі **MatLab**.

3.1. Алгоритм Мамдані (Mamdani)

Цей алгоритм одним з перших, який знайшов застосування в системах нечіткого виведення. Він був запропонований у 1975 році англійським математиком Е. Мамдані (Ebrahim Mamdani) як метод для управління паровим двигуном.

У моделі Мамдані математично взаємозв'язок між входами $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ та виходом Y визначається нечіткою базою правил наступного формату:

$$\begin{array}{l} \{x_1 = a_{1,j1}\} \text{ AND } \{x_2 = a_{2,j1}\} \text{ AND } \dots \text{ AND } \{x_n = a_{n,j1}\} \text{ OR} \\ \text{IF } \{x_1 = a_{1,j1}\} \text{ AND } \{x_2 = a_{2,j1}\} \text{ AND } \dots \text{ AND } \{x_n = a_{n,j1}\} \text{ OR} \\ \dots\dots\dots \text{ OR } ' \\ \text{THEN } y = d_j, j = \overline{1, m} \end{array}$$

де $a_{1,jp}$ – лінгвістичний терм, яким оцінюється змінна x_i в рядку з номером $jp(p = \overline{1, k_j})$; k_j – кількість рядків-кон'юнкція, в яких вихід Y оцінюється лінгвістичним термом d_j ; m – кількість термів, що використовуються для оцінки вихідної лінгвістичної змінної.

За допомогою операцій $\cup$ (АБО) та $\cap$ (І) нечітку базу правил можна переписати в більш компактному вигляді:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ з вагою } w_{jp} \right) \rightarrow y = d_j$$

Логічний висновок, згідно з алгоритмом Мамдані, здійснюється за такі шість етапів:

1. Формування бази правил систем нечіткого виводу у наступному вигляді:

ПРАВИЛО <1>: ЯКЩО $(x \in A_1 \text{ I } y \in B_1)$, ТО, $z = C_1$,

ПРАВИЛО <2>: ЯКЩО $(x \in A_2 \text{ I } y \in B_2)$, ТО, $z = C_2$,

де x_1, x_2 – вхідні лінгвістичні змінні;

z – вихідна лінгвістична змінна;

$A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$ – функції належності, визначені відповідно на x, y, z .

2. Введення нечіткості (фазифікація). Функції приналежності, що визначенні на вхідних змінних x_0, y_0 , застосовуються до їх фактичних значень $\mu_{A_1}(x_0), \mu_{A_2}(x_0), \mu_{B_1}(y_0), \mu_{B_2}(y_0)$ для визначення функції приналежності для кожного правила.

3. Агрегування передумов в нечітких правилах продукцій. Для знаходження ступеня істинності умов кожного з правил нечітких продукцій використовуються парні нечіткі логічні операції:

$$c_1 = \min \{ \mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_1}(y_0) \}, c_2 = \min \{ \mu_{A_2}(x_0), \mu_{B_2}(y_0) \}.$$

Ті правила, ступінь істинності умов яких відмінна від нуля, вважаються активними і використовуються для подальших розрахунків.

4. Активізація висновків нечітких правил продукцій. Здійснюється за формулою $\mu(z) = \min \{ c_i, \mu(z) \}$, коли функція приналежності виведення «відсікається» по висоті відповідно обчисленої функції приналежності передумови правила (нечітка логіка «І»):

$$C'_1(z) = (c_1 \cdot C_1(z)), C'_2(z) = (c_1 \cdot C_2(z)).$$

При цьому для скорочення часу виведення враховуються тільки активні правила нечітких продукцій.

5. Акумуляція висновків нечітких правил продукцій. Всі нечіткі підмножини, отримані для кожної вихідної змінної (у всіх правилах), об'єднуються разом, щоб сформуванати одну нечітку підмножину для кожної вихідної змінної. При подібному об'єднанні використовуються операції:

- **max:** $\mu_{\Sigma}(z) = C'_1(z) \cup C'_2(z)$ або
- **sum:** $\mu_{\Sigma}(z) = (C'_1(z) \cup C'_2(z)) \setminus (C'_1(z) \cap C'_2(z))$.

6. Приведення до чіткості (дефазифікації). Дана процедура використовується, коли необхідно перетворити нечітку вихідну множину в чітке число. Найчастіше для моделі Мамдані використовується дефазифікація центроїдним методом (метод центру ваги (тяжіння)), коли чітке значення вихідної змінної визначається як центр ваги для кривої $\mu_{\Sigma}(z)$. При цьому центроїд розраховується за формулою

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) \cdot dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) \cdot dx},$$

Де y -результат дефазифікації; x -змінна, що відповідає вихідній лінгвістичній змінній $\mathcal{W}$; $\mu(x)$ -функція приналежності нечіткої множини, що відповідає вихідній змінній $\mathcal{W}$ після етапу акумуляції; $\min, \max$ – ліва та права точки інтервалу носія нечіткої множини вихідної змінної $\mathcal{W}$.

Також при дефазифікації можуть бути використані такі методи, як метод *центру ваги для однотичкових множин*, *метод центру площі*, *метод модального значення (лівого або правого)* і *метод середнього максимуму*. [13]

Процедура отримання логічного висновку показана на рис. 8.

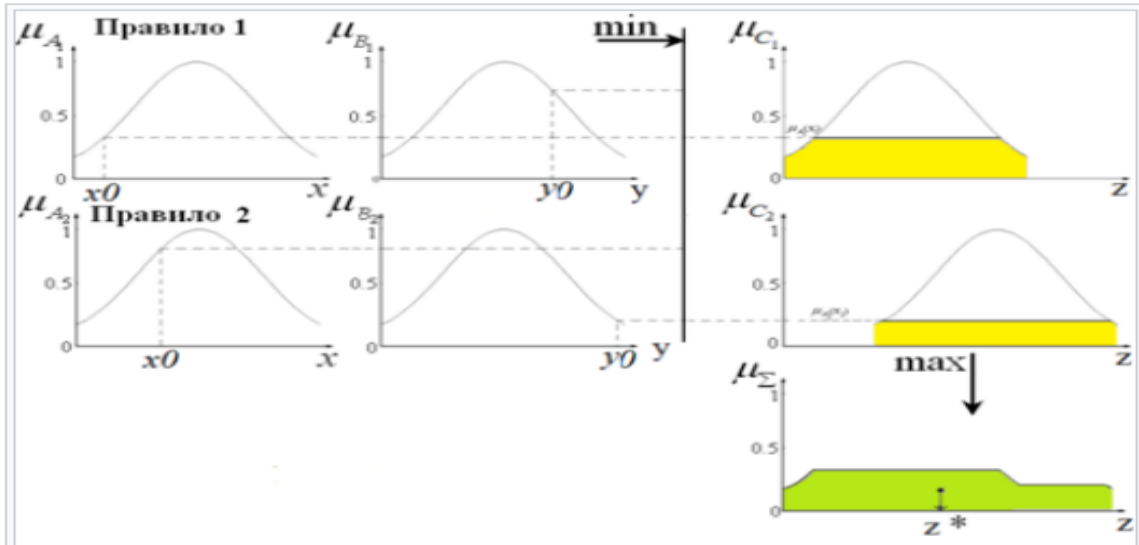


Рис. 8. Процедура логічного висновку Мамдані [13]

3.2. Алгоритм Саджено (Sugeno) [13]

Формально алгоритм Саджено, запропонований Саджено і Такагі виконується по нечіткій базі і може бути визначений таким чином.

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ з вагою } w_{jp} \right) \rightarrow y = d_{j,0} + b_{j,1} * x_1 * x_2 + \dots + b_{j,n} * x_n$$

где d_{ji} - некоторые числа.

База знань Саджено аналогічна базі знань Мамдані крім висновків правил, d_j які задаються не нечіткими термами, а лінійною функцією від входів:

$$d_j = b_{j,0} + \sum_{i=1,n}^{b_{j,i}} b_{j,i} * x_i$$

Формування бази правил систем нечіткого виводу. У базі правил використовуються тільки правила нечітких продукцій в формі:

ПРАВИЛО <1>: ЯКЩО $(x \in A_1 \mid y \in B_1)$, ТО, $z_1 = f(x_1, \dots, x_n)$,
 ПРАВИЛО <2>: ЯКЩО $(x \in A_2 \mid y \in B_2)$, ТО, $z_2 = f(x_1, \dots, x_n)$,

де x, y –вхідні змінні;

A_i, B_i – чисельні значення вхідних параметрів;

$z_1 = f(x_1, \dots, x_n)$ – довільна чітка функція.

Приклад алгоритму Саджено 1-порядку наведено на рис. 9.

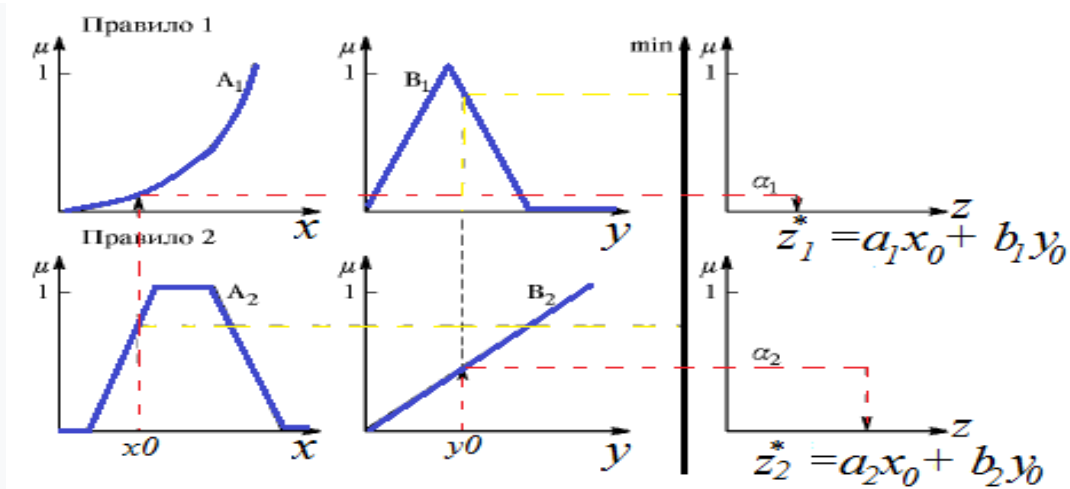


Рис. 9 Алгоритм Саджено 1-порядку [13]

В даному випадку виходами правил є функції:

$$z_1^* = a_1 \cdot x_0 + b_1 \cdot y_0 \text{ та } z_2^* = a_2 \cdot x_0 + b_2 \cdot y_0.$$

Таким чином, результат дефазифікації обчислюється наступним чином:

$$z_0 = \frac{c_1 \cdot z_1^* + c_2 \cdot z_2^*}{c_1 + c_2}.$$

Якщо як опція **f** використовується поліном **f(x)=C**, то говорять про алгоритм Саджено 0-порядку. Тоді правила будуть мати такий вигляд:

ПРАВИЛО <1>: ЯКЩО $(x \in A_1 \mid y \in B_1)$, ТО, $z_1 = C_1$, ПРАВИЛО <2>: ЯКЩО $(x \in A_2 \mid y \in B_2)$, ТО, $z_2 = C_2$,

де C_1, C_2 – звичайні (чіткі) числа.

1. Фазифікація вхідних змінних. На цьому етапі усім відомим конкретним значенням вхідних змінних системи нечіткого виведення ставлять у відповідність нечітку множину, тобто множину значень **A₁, A₂, B₁, B₂** .

2. Агрегування передумов в нечітких правилах продукцій. Для знаходження міри істинності умов всіх правил нечітких продукцій, як правило, використовують логічну операція *min-кон'юнкції*. Ті правила, ступінь істинності умов яких відмінна від нуля, вважають активними й використовують для подальших розрахунків.

3. Активізація висновків в нечітких правилах продукцій. Для заданого (чіткого) значення аргументу $x=x_0$, $y=y_0$ знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила. Далі знаходяться значення ступенів істинності всіх висновків правил нечітких продукцій з використанням методу *min-активізації*:

$$\alpha_1 = \min(\mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_1}(y_0)),$$

$$\alpha_2 = \min(\mu_{A_2}(x_0), \mu_{B_2}(y_0)).$$

4. Акумуляція висновків нечітких правил продукцій фактично відсутня, так як розрахунки здійснюються зі звичайними дійсними числами y_i .

5. Дефазифікація вихідних змінних. Використовується модифікований варіант у формі метода центру тяжіння для одноточкових множин:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot C_i)}{\sum_{i=1}^n (\alpha_i)}$$

де n – загальна кількість активних правил нечітких продукцій.

Ілюстрація алгоритму **Саджено** 0-порядку наведена на рис. 10. [13]

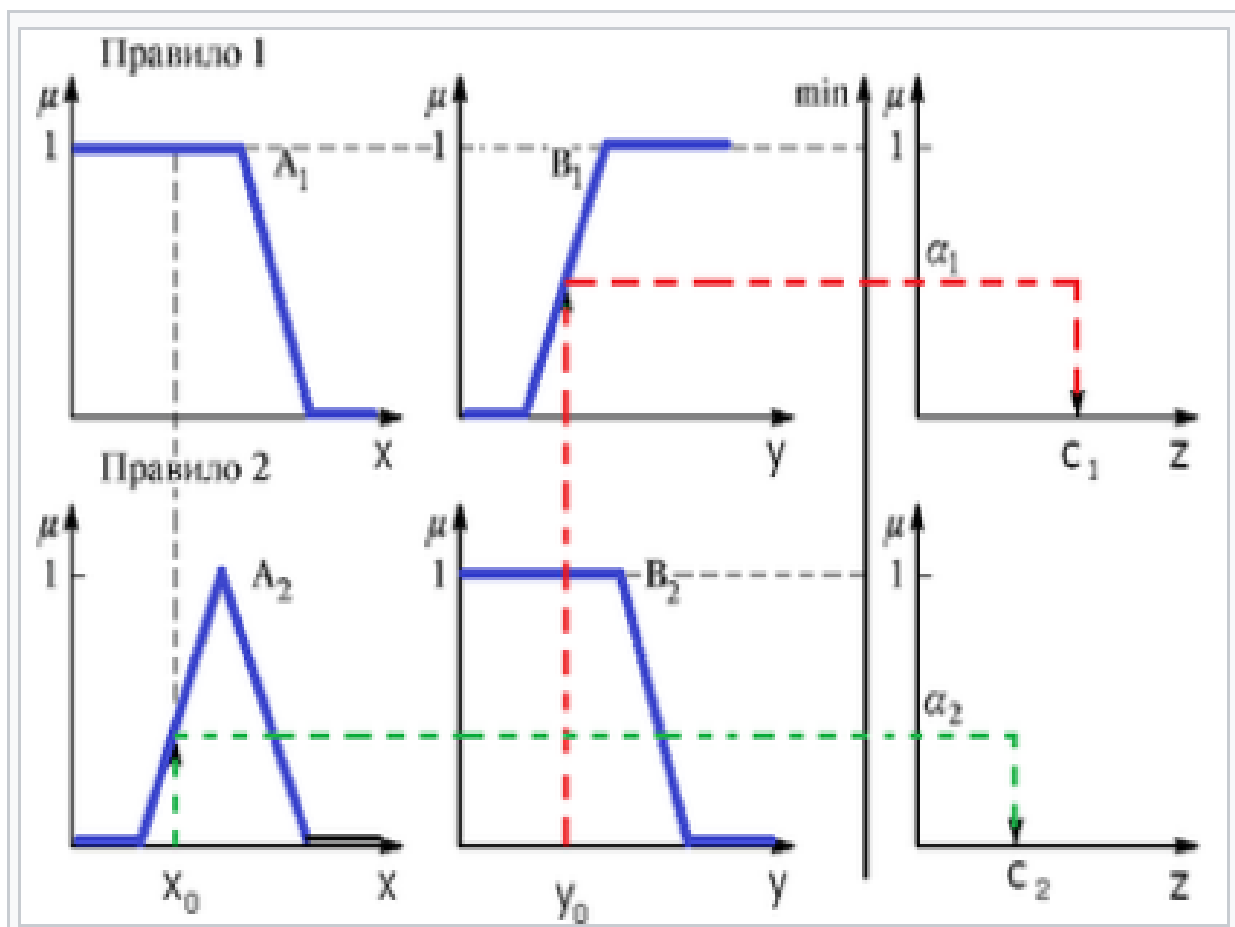


Рис.10 Алгоритм Саджено 0-порядку[13]

3.3. Порівняння систем нечіткого виведення для практичного використання

Всі алгоритми, які використовуються для нечіткого виведення розрізняються видом використовуваних правил логічних операцій і способом дефазифікації. При цьому вибір моделі визначається, як правило, характером вирішуваних завдань, а саме:

- якщо значення всіх вхідних змінних знаходяться в одному діапазоні і не вимагають масштабування, то немає потреби застосовувати модель Ларсена;
- якщо всі функції приналежності однорідні, то немає потреби застосовувати модель Цукамото;
- якщо результатом обчислення нечітких правил є проста нечітка множина, елементи якої не обчислені за допомогою спеціального функціоналу, то немає потреби застосовувати модель Саджено.

ІУ. Приклад використання методу нечіткої логіки для обробки та аналізу даних

Засоби для обчислень: Пакет **Fuzzy Logic Toolbox** for MatLaB. Цей пакет є розширенням для системи **MatLab**, що включає в собі інструменти для проектування та моделювання системи нечіткої логіки. Пакет розширення дозволяє створювати експертні системи на основі нечіткої логіки, проводити кластеризацію нечіткими алгоритмами, а також проектувати нечіткі нейромережі.

Загальні відомості про складові пакету **Fuzzy Logic Toolbox** for MatLaB.

1. Запуск системи. Після активації **MatLab** потрібно в командній стрічці ввести **FUZZY**.

2. Загальний вид вікна. Після старту системи відкривається редактор системи, який дозволяє задавати та редагувати властивості системи нечіткого виводу, такі як число вхідних та вихідних змінних, тип системи нечіткого виводу, обирати метод дефазифікації і таке інше. Загальний вигляд редактора FIS наведено на рис.11.

- Меню «**Файл**» містить такі складові, як *створення нового проекту(вибір типу алгоритму Мамдані, або Саджено), завантаження(Import), збереження(Export), друк(Print) і вихід(Close)*.
- Меню «**Edit**» містить такі складові, як *додавання змінних(Add variable), видалення змінних(Remove...), редагування функції приналежності змінних(Membership Function), редактор правил нечіткого виводу(Rules) та редактор навчання та тестування нечіткої системи Sugeno(Anfis)*.
- Меню «**View**» призначено для *перегляду правил нечіткого виводу(Rules) і побудування Поверхні нечіткого виводу(Surface)*.

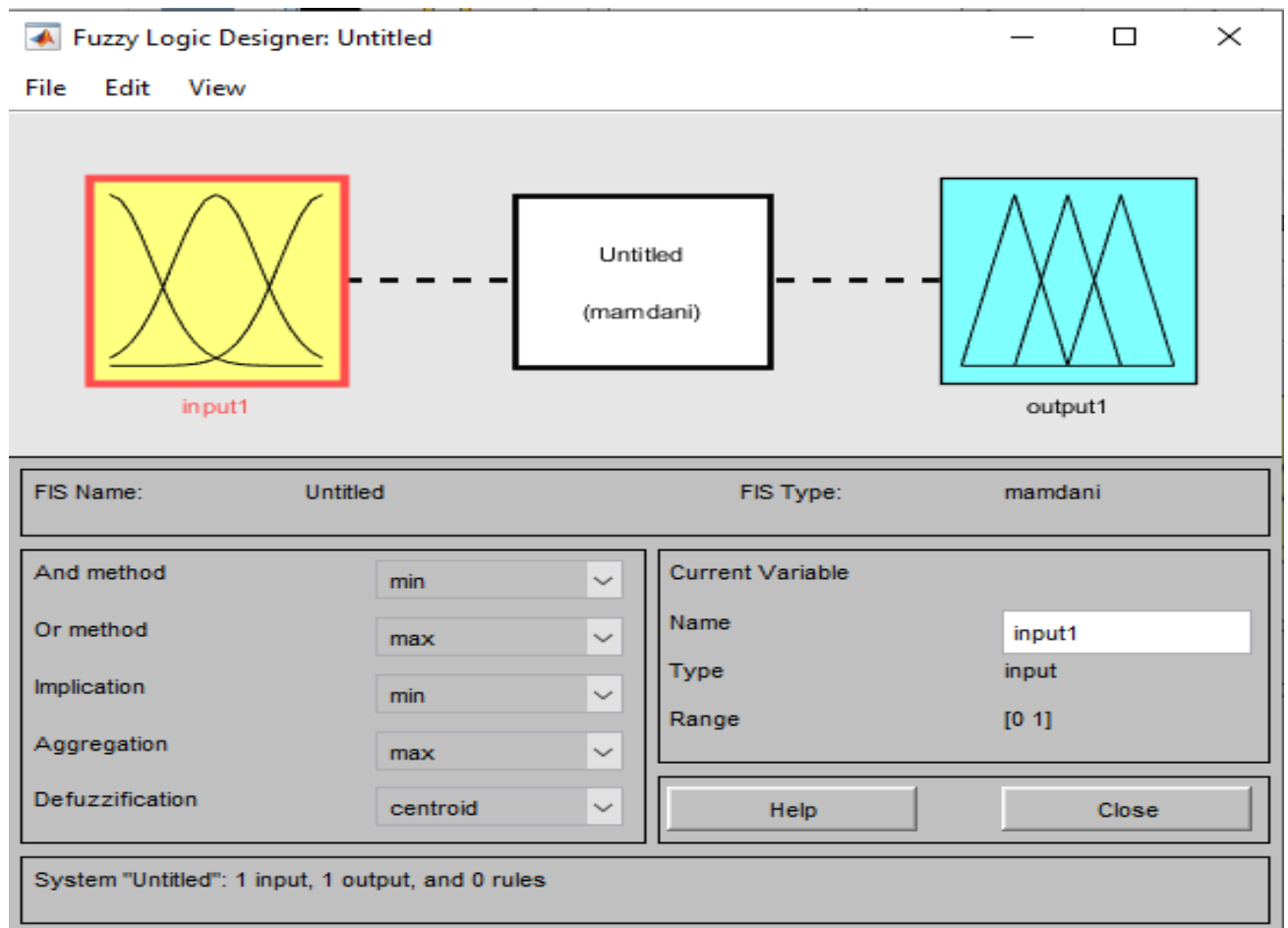


Рис. 11. Загальний вигляд редактора FIS

В лівій нижній частині визначені відповідні налаштування, які відносяться до вибору методу виконання логічних операцій кон'юнкції (мінімального значення (*min*), алгебраїчного добутку (*prod*)), диз'юнкції (максимального значення (*max*), алгебраїчної суми (*probor*)), виводу (мінімального значення (*min*), алгебраїчного добутку (*prod*)), методу агрегування (максимального значення (*max*), алгебраїчної суми (*sum*)) та дефазифікації. Залежно від обраного типу виводу параметр методу дефазифікації має такі значення:

- для типу *Мамдані* – метод *центру тяжіння* для дискретної множини (*centroid*), метод *центру площі* (*bisector*), метод *середнього максимуму* (*tom*), метод *найменшого (лівого) - som* або *найбільшого (правого) - Iom* модального значення.

- для типу *Саджено* – метод *зваженого середнього* (*wtaver*) і метод *зваженої суми* (*wtsum*).

В правій нижній частині надані параметри, які встановлюються для відповідних змінних.

3. Редагування функції приналежності. Для редагування функції приналежності потрібно активувати необхідну змінну і скористатися пунктом меню *Edit - Membership Function Ctrl+<2>*), або клікнути на змінній двічі (*double click*). На рис. 12 наведено вікно редактора функції приналежності.

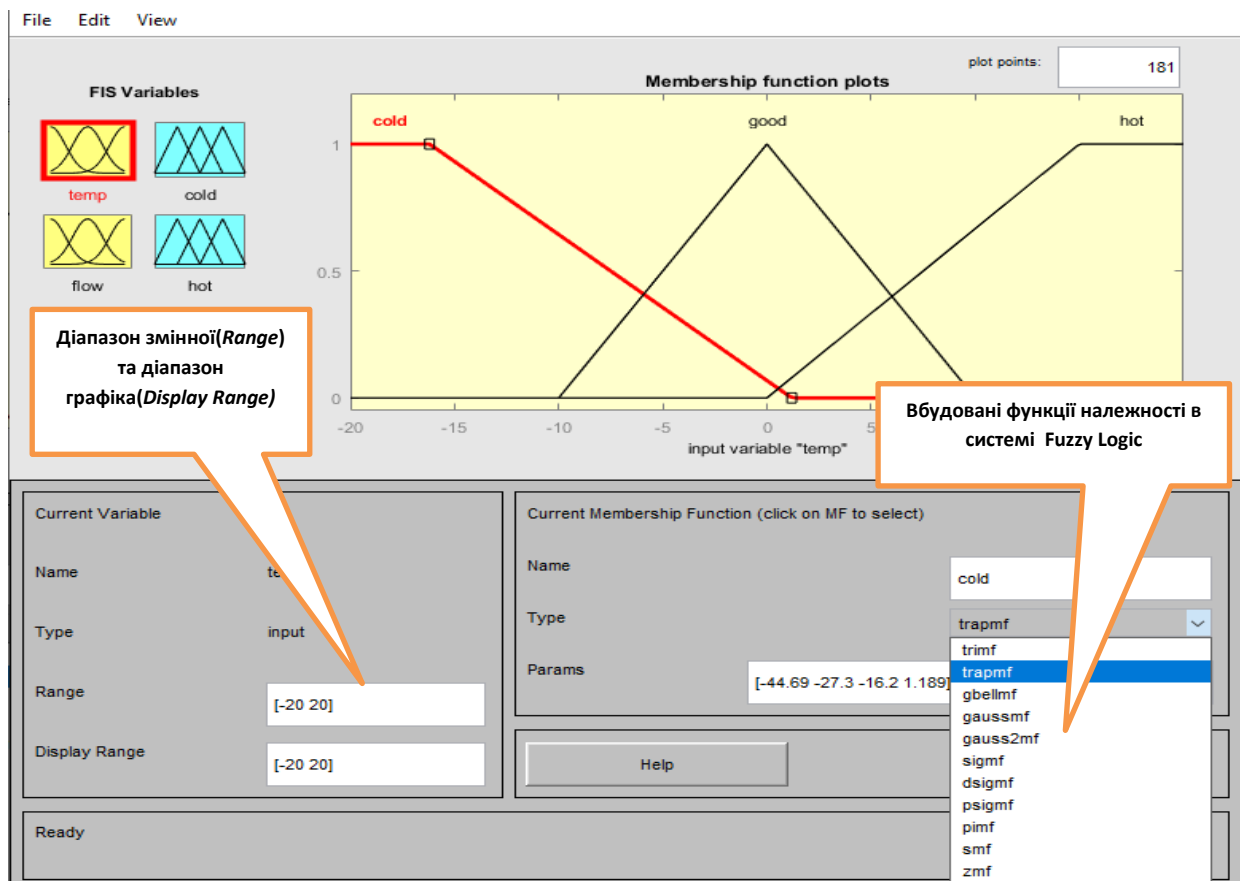


Рис. 12. Загальний вигляд редактора функції приналежності

Меню редагування цього елементу моделі має такі ж складові, які були описані в пп.2. Але слід додати, що в меню «**Edit**» додані відповідні функції, які виконують такі дії, як додавання вбудованої функції приналежності для обраної змінної(Add MF...), додавання функції користувача для обраної змінної(Add Custom MF...), видалення функції приналежності(Remove Current MF), видалення усіх функції приналежності(Remove All MFs), виклик редактора FIS(FIS Properties).

В лівій нижній частині визначені відповідні характеристики змінної, а саме – її назва, тип та діапазон змінної(Range) і діапазон поточного графіка(Display Range). Таким чином після завдання діапазону для змінної можна змінювати діапазон графічного відображення функції приналежності.

Параметр діапазону в більшості випадків визначається експертним шляхом.

В правій нижній частині надані параметри, такі як назва змінної, тип функції приналежності(Type) і інтервал зміни поточної функції приналежності (Params). В системі передбачено наявності 11 вбудованих функції приналежності(див. рис. 12).

4. Редагування правил нечіткого виводу. Цей інструмент дозволяє створювати правила нечіткого виводу в графічному режимі. Для активації даного

режиму потрібно скористатися пунктом меню *Edit – Rules*(Ctrl+<3>)(рис. 13).

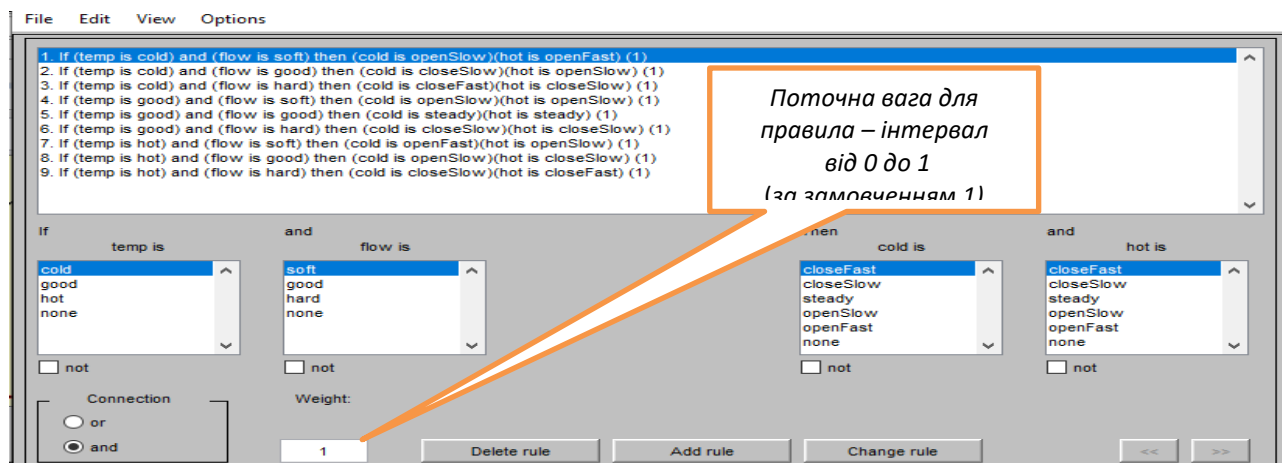


Рис. 13. Загальний вигляд редактора правил нечіткого виводу

Пункти меню редактора в більшості повторюють складові, які були описані вище. На відміну від попередніх складових в цьому режимі є меню *Options*(сервіс), яке містить наступні операції:

— *Language* — визначення мови для запису правил формі тексту(*English, Deutsch* або *Francais*);

— *Format* — визначення формату запису правил системи нечіткого висновку, а саме *Verbose* (у формі тексту), *Symbolic*(у символічному вигляді) і *Indexed*(в структурі FIS).

5. Перегляд правил системи нечіткого виводу. Цей інструмент призначено для перегляду правил у вигляді діаграми нечіткого виводу для структури FIS. Користувач має можливість оцінити значення вихідних змінних нечіткої моделі та вплив кожного із правил на результат нечіткого висновку за допомогою зміни значень вхідних змінних. Графічний інтерфейс програми перегляду правил наведено на рис. 14. Програма перегляду правил має головне меню, яке дозволяє користувачеві викликати інші графічні середовища.

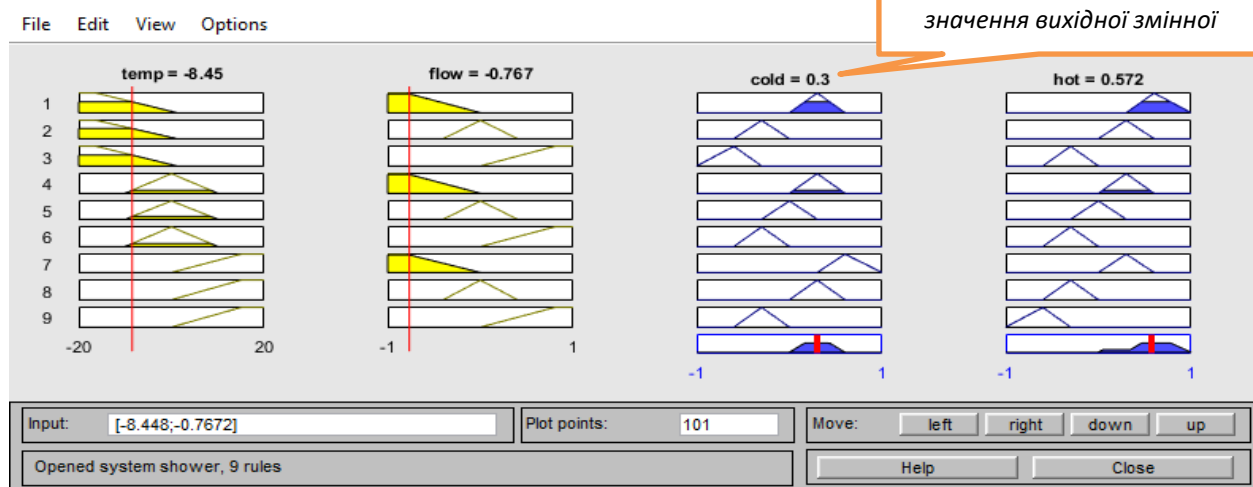


Рис. 14. Графічний інтерфейс перегляду правил нечіткого виведення

У центральній частині графічного інтерфейсу перегляду правил розташовані прямокутники, які відповідають вхідним змінним (функції приналежності жовтого кольору) та вихідним змінним (функції приналежності синього кольору) правил нечіткого виведення. Кожне правило розташовано в окремому рядку.

У правій нижній частині графічного інтерфейсу розташовано прямокутник, що зображує нечітку множину, яка відповідає вихідній змінній після акумулювання всіх висновків правил нечіткого висновку. Отримане внаслідок дефазифікації значення вихідний змінної вказується у верхній частині стовпчика з ім'ям цієї вихідної змінної.

Прямокутники вхідних змінних перетинає вертикальна пряма **червоного кольору**, положення якої відповідає конкретному значенню вхідний змінної відповідного стовпчика. Задати конкретні значення вхідних змінних можна або за допомогою їх запису в полі введення *Input* або за допомогою миші, переміщаючи вертикальні прямі у потрібному напрямку. Також можна просто клацнути в потрібній точці всередині прямокутника відповідної вхідної змінної.

Отримані після зміни значення вхідних змінних безпосередньо відображаються у верхній частині прямокутників після імені вхідних змінних та у полі введення з міткою *Input*. Слід відмітити, що система MatLab реагує на кожну зміну значення вхідних змінних виконанням процедури нечіткого висновку і отриманням та відображенням відповідних значень вихідних змінних.

6. Перегляд правил системи нечіткого виводу(поверхня нечіткого виводу).

Цей інструмент дозволяє переглядати поверхню системи нечіткого виведення і візуалізувати графіки залежності вихідних змінних від відповідних вхідних змінних. Графічний інтерфейс програми перегляду поверхні зображено на рис. 15.

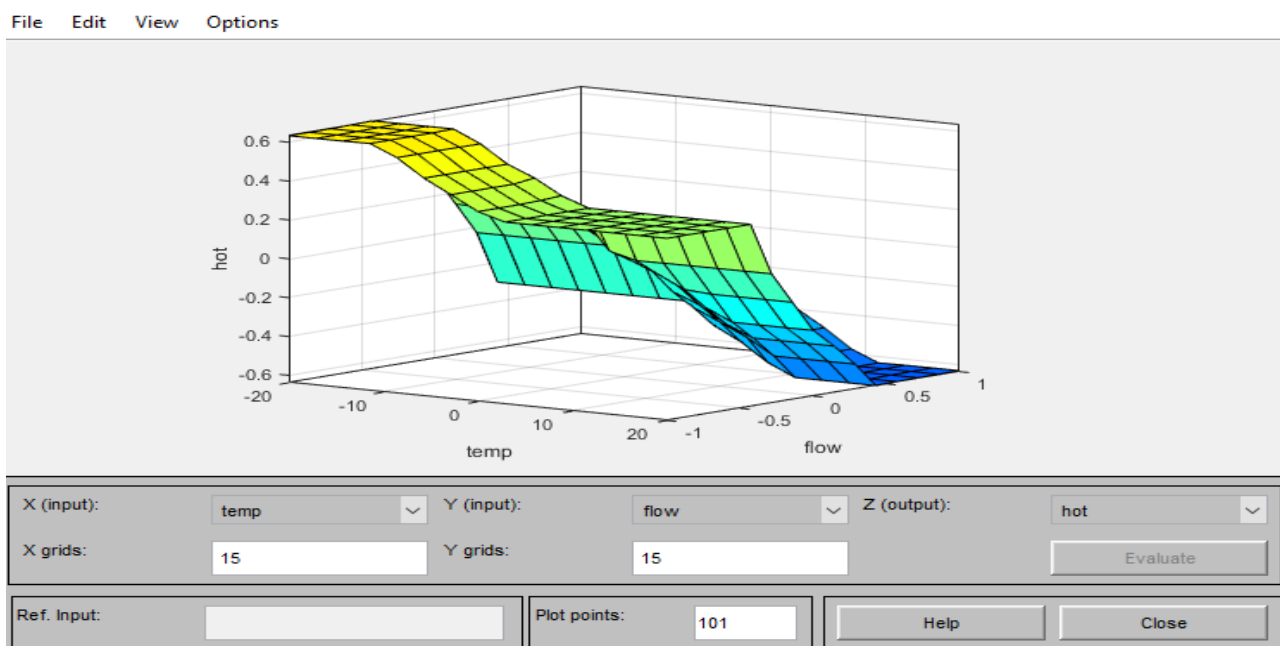


Рис. 15. Графічний інтерфейс перегляду поверхні нечіткого виведення

Програма перегляду поверхні виводу має головне меню, яке дозволяє користувачеві викликати інші графічні засоби роботи із системою нечіткого виведення FIS, завантажувати та зберігати структуру у зовнішніх файлах тощо.

На відміну від інших складових меню попередніх інструментів графічний інтерфейс цього інструменту включає пункт меню *Options (Servic)*, який містить такі операції:

- *Plot* — дозволяє вибрати один із восьми стилів зображення графіка поверхні виводу;

- *Color Map* — дозволяє вибрати одну із чотирьох кольорних схем зображення графіка поверхні виведення;

- *Always evaluate* — позначка галочкою цього пункту вкладеного меню призводить до автоматичного формування нової поверхні виводу щоразу, коли вносяться зміни у систему нечіткого виведення, які впливають форму графіка поверхні виведення (такі як зміна кількості точок сітки графіка). Це значення прийнято за замовчуванням.

Програма перегляду поверхні виводу не дозволяє вносити зміни до системи нечіткого виводу та відповідної структури FIS. Використовуючи головне меню програми, користувач може вибрати вхідні змінні і відповідні горизонтальні осі системи координат ($X(Input)$ і $Y(Input)$), а також вихідну змінну, якій відповідає вертикальна вісь системи координат ($Z(Output)$).

Для зміни кута перегляду поверхні виводу потрібно клацнути лівою кнопкою миші і утримуючи її на осях графіка поверхні перемістити курсор потрібному напрямку. Якщо розглядається система нечіткого виводу, що має більше двох вхідних змінних, то для невізуалізованих вхідних змінних слід задати деякі постійні значення (константи).

4.1. Практичне завдання

Постановка задачі: Розробити експертну систему, яка б реалізовувала систему нечіткого виведення і дозволила визначати ймовірність втрати прибутку трейдера на основі суб'єктивних оцінок експертів і дослідників, а також на основі впливу певних чинників на фондовий ринок.

1. В якості факторів(вхідних даних), які в певній мірі впливають на ймовірність втрати прибутку визначимо такі:

- Використання новин (трейдер використовує новини; трейдер не використовує новини) – 40%;

- Використання певної стратегії (використання перевіреної стратегії; використання неперевіреної стратегії) – 30%;

- Використання засобів автоматичної торгівлі (використання роботів надійних розробників; використання роботів ненадійних розробників) – 30%.

2. В якості правил, які сформовані на підставі емпіричних знань, використаємо наступні:

- Якщо трейдер не використовує новини, та використовує неперевірену стратегію, та використовує роботів ненадійних розробників то ймовірність втрат – висока;

- Якщо трейдер використовує новини, та використовує перевірену стратегію, та використовує роботів надійних розробників то ймовірність втрат – низька.

3. В якості вихідних параметрів - нечітка лінгвістична змінна «**VirogodnistVtrat**» («ймовірність втрат»).

4. В якості терм-множин для лінгвістичних змінних використаємо такі параметри(середній рівень не використовуємо):

- «**Noviny**» використовується множина **T1** = {«**NeIspolzuet**», «**Ispolzuet**»} («не використовує», «використовує») -
- «**Strategiya**» використовується множина **T2** = {«**NeProverennaya**», «**Proverennaya**»} («неперевірена», «перевірена»)
- «**AvtomaticnaTorgivlia**» використовується множина **T3** = {«**NenadezhniRarabotchik**», «**NadezhniRarabotchik**»} («ненадійний розробник», «надійний розробник»)

Для терм-множини вихідної лінгвістичної змінної «**VirogodnistVtrat**» використовується множина **T4** = { «**Nizkaya**», «**Visokaya**»} («низька ймовірність», «висока ймовірність»).

5. З урахуванням зроблених уточнень розглянута суб'єктивна інформація про величину ймовірності може бути представлена у формі двох правил нечітких продукцій наступного виду (скористаємося системою нечіткого виведення типу Мамдані):

ПРАВИЛО_1: ЯКЩО «не використовує новини» ТА «використовує неперевірену стратегію» ТА «використовує роботів ненадійних розробників» ТО «висока ймовірність втрат»;

ПРАВИЛО_2: ЯКЩО «використовує новини» ТА «використовує перевірену стратегію» ТА «використовує роботів надійних розробників» ТО «низька ймовірність втрат».

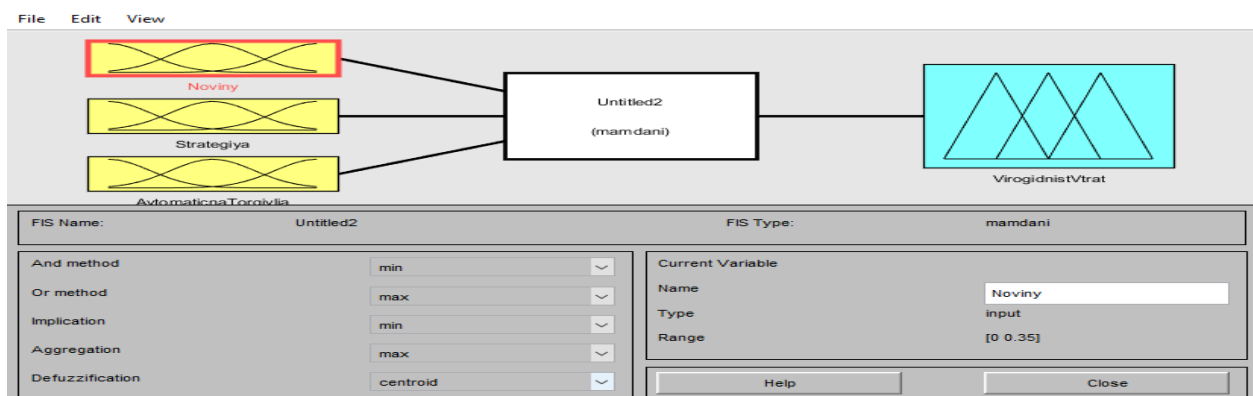


Рис 16. Вид редактора FIS після зміни імен змінних

На рис 16. наведено приклад створення трьох вхідних змінних «**Noviny**», «**Strategia**» і «**AvtomaticznaTorgivlia**» і вихідної лінгвістичної змінної «**VirogidnistVtrat**». Для додавання додаткових змінних потрібно скористатися меню «**Edit**»

На рис. 17 наведено приклад назви термів першої вхідної змінної «**Noviny**», яка має такі значення , як «**NeIspolzuet**» і «**Ispolzuet**» відповідно. В якості типу функції обрано **gaussmf** і інтервал коливання – від 0 до 0,4(*Range*).

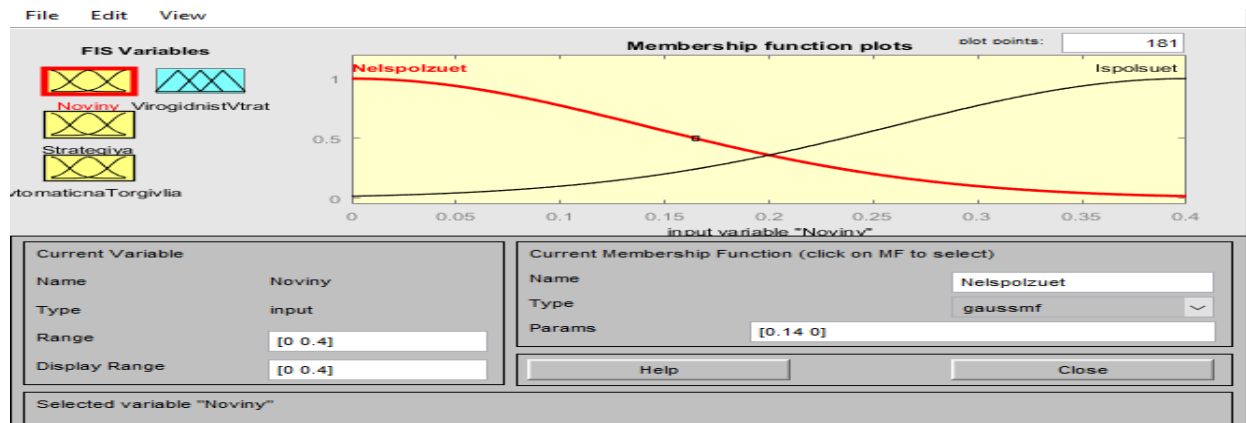


Рис 17. Вид редактора FIS після зміни імен змінних

Аналогічно налаштуйте назви і параметри інших змінних, тобто «**Strategia**» («**NeProverennaya**», «**Proverennaya**») і «**AvtomaticznaTorgivlia**» («**Nenadezhny**», «**Nadezhny**»).

Далі змінюються назви термів і параметри функцій приналежності для вихідної змінної «**VirogodnistVtrat**», обравши тип **gaussmf**. В параметрі **Range** перевірити інтервал, який повинен бути $[0, 1]$. Змінити назви термів на «**Nizkaya**» і «**Visokaya**»(середній рівень можна прибрати) і встановити параметри функції. Наприклад для низької вірогідності це може бути інтервал від $[0,3 0]$, а для високої - $[0,3 1]$.

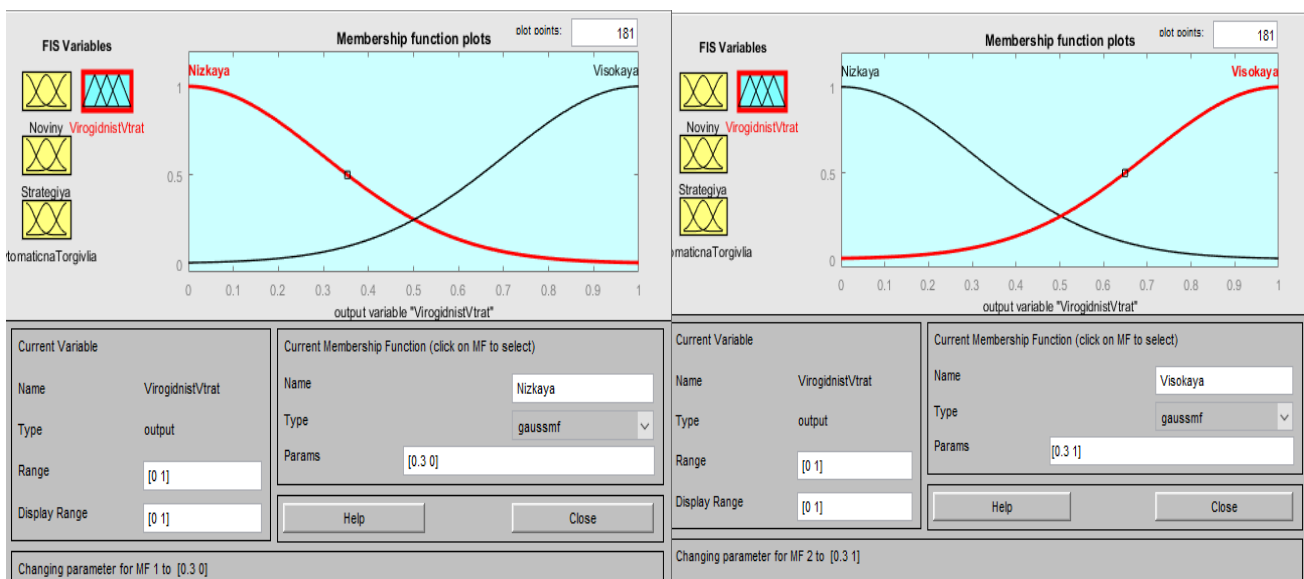


Рис. 18. Вид редактора функції приналежності для вихідної змінної

6. В якості правил визначимо відповідні умови. Для цього потрібно скористатися меню «**Edit – Rules**». При визначенні відповідних умов скористайтеся потрібними зв'язками – **OR** або **AND**.

В якості прикладу умовами можуть бути такі (зв'язок типу **AND**):

- *If (Noviny is NeIspolzuet) and (Strategiya is NeProverennaya) and (AvtomaticnaTorgivlia is Nenadezhniy) then (VirogidnistVtrat is Visokaya).*

- *If (Novinei is Ispolzuet) and (Strategiya is Proverennaya) and (AvtomaticnaTorgivlia is Nadezhniy) then (VirogidnistVtrat is Nizkiaya).*

(Для більшої наочності можна поекспериментувати у визначенні певних умов обмежень)

7. Для виводу результату потрібно скористатися меню «**View-Rules**» (рис. 19).

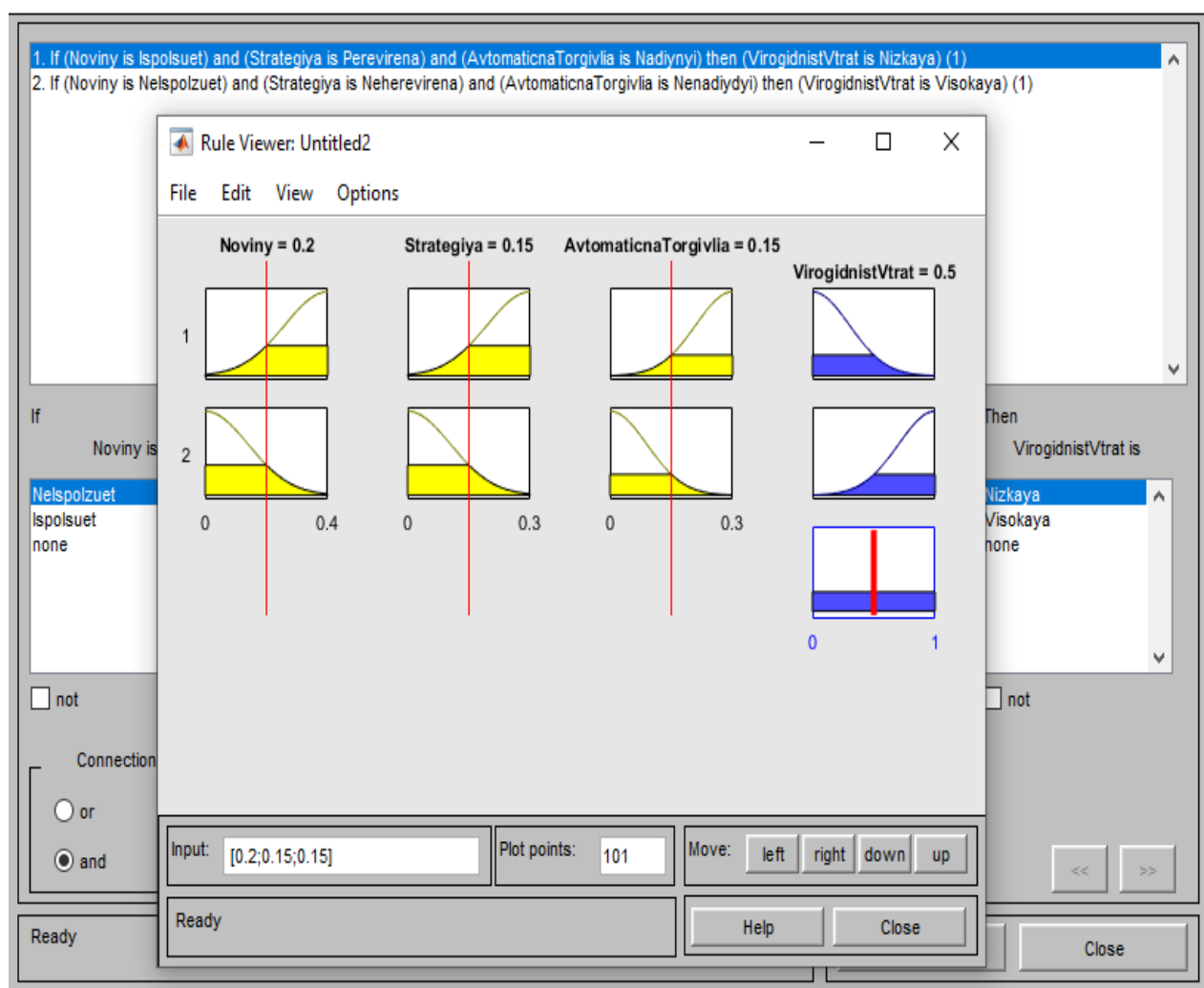


Рис 19. Результати експерименту

Користуючись вікном правил через меню «**View-Rules**» передивимося результати моделювання.

Результати показали, що для визначених правил вірогідність втрат становить **0.5**.

Для наочного представлення можна побудувати поверхню нечіткого виведення, яка дає можливість переглянути графік залежностей вихідної змінної від обраних вхідних змінних (рис. 20).

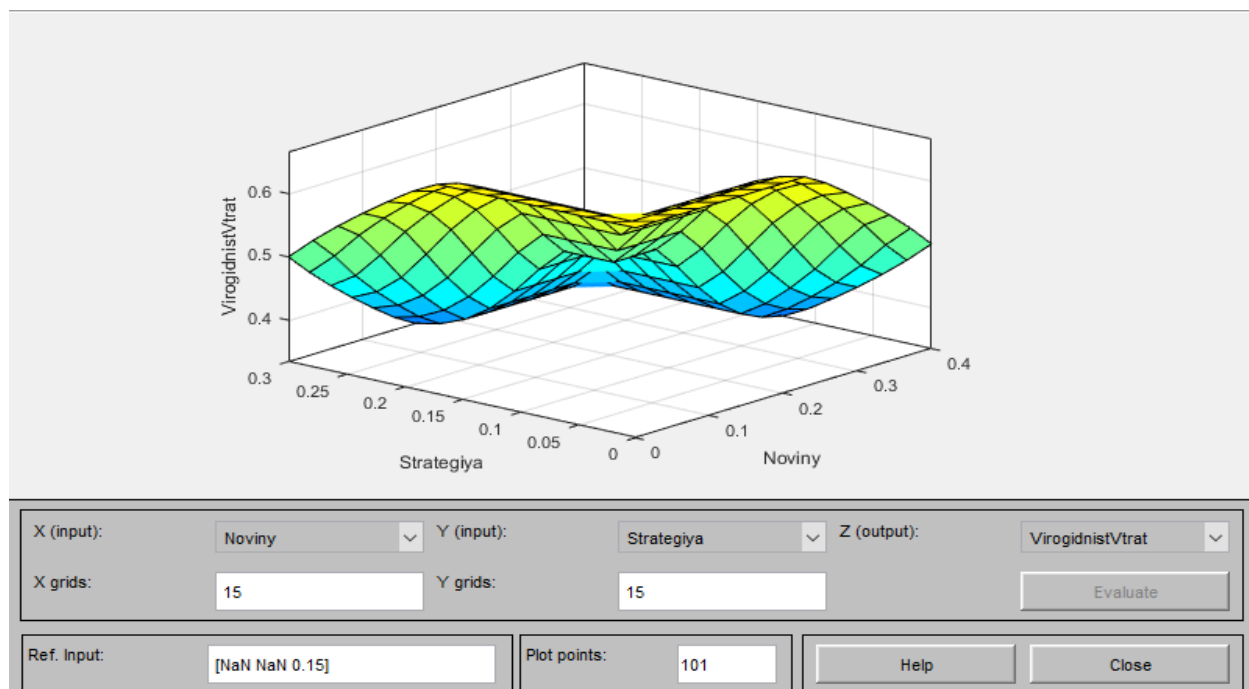


Рис. 20. Поверхня нечіткого виведення

Користуючись зміною вхідних параметрів($X(input)$) можна провести порівняння залежності вірогідності втрат від відповідних вхідних змінних. Для цього потрібно налаштувати відповідну вхідну змінну в полі $X(input)$, а поле $Y(input)$ не заповнювати(див. рис. 21).

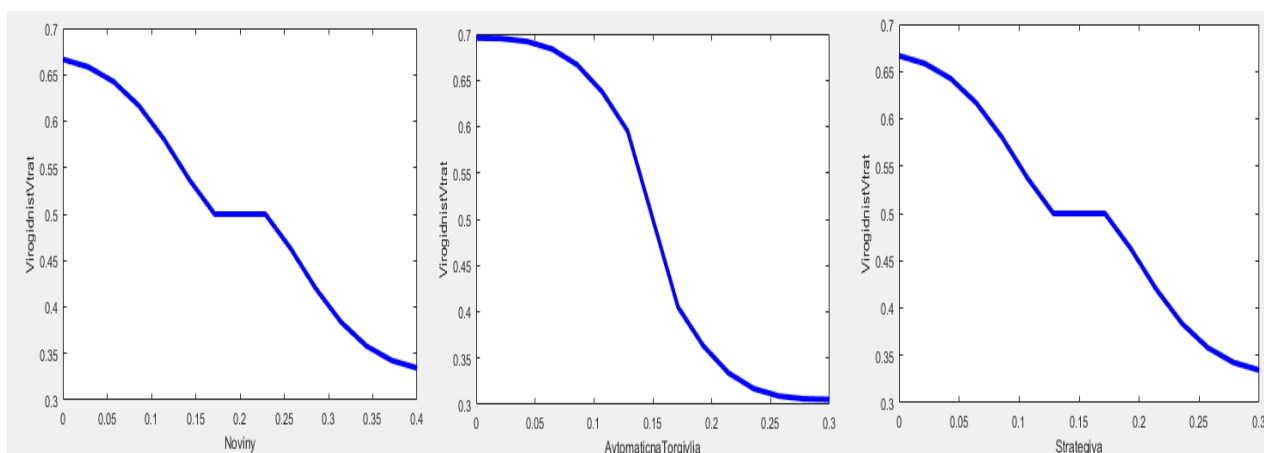


Рис. 21. Вплив кожної з вхідних змінних на вірогідність втрат

На підставі побудованої моделі можна провести відповідні експерименти, для яких необхідно виконати відповідні зміни первинних умов. Для цього у вікні перегляду результатів(рис. 19) потрібно змінити умови завдання. Нижче наведені результати експериментів, які відповідають певним налаштуванням.

Умова 1: Трейдер не враховує фактор «новини», використовує перевірену стратегію та використовує роботів надійних розробників.

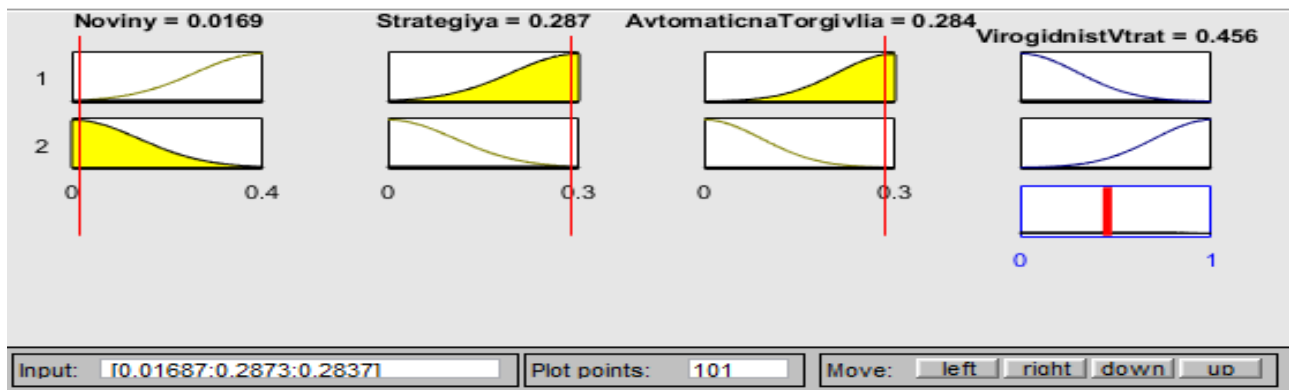


Рис. 22.

При виконанні вищезазначених умов ймовірність втрати прибутку становить **0.456**.

Умова 2: Трейдер використовує *неперевірену* стратегію, враховує фактор «новини» та використовує роботів надійних розробників.

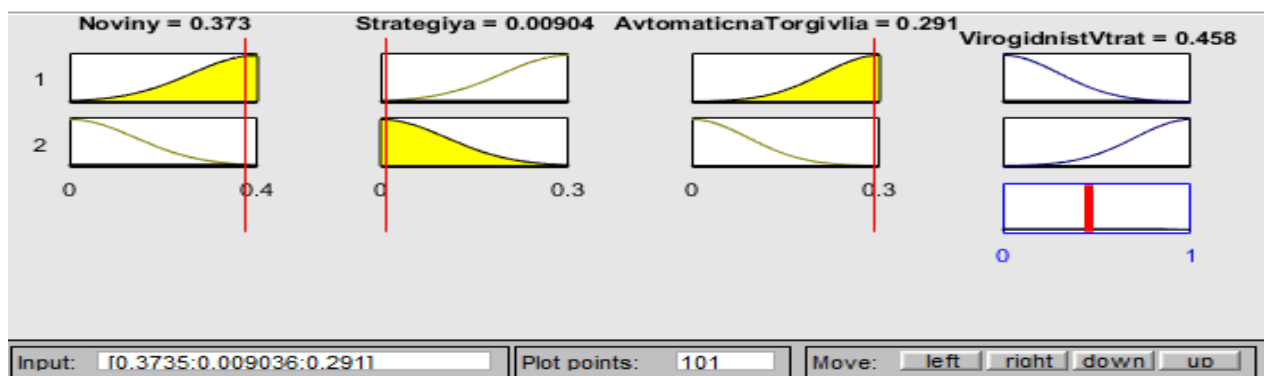


Рис. 23.

При виконанні вищезазначених умов ймовірність втрати прибутку становить **0.458**.

Умова 3: Трейдер використовує *роботів надійних розробників*, враховує фактор «новини» та використовує *перевірену* стратегію.

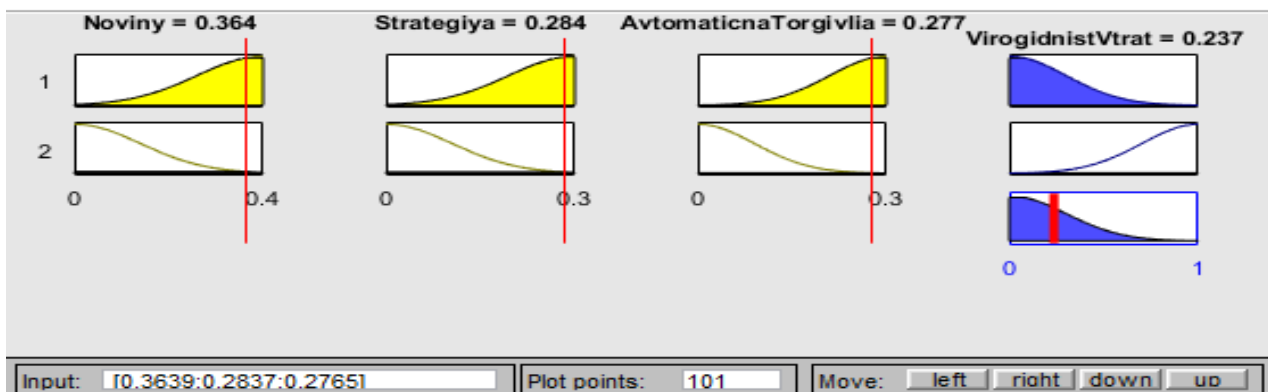


Рис. 24.

При виконанні вищезазначених ймовірність втрати прибутку становить 0,237.

Висновки: *Отже, за допомогою моделі, яка використовує нечітку логіку, провівши ряд експериментів з показниками входних змінних, можна зробити висновок, що на ймовірність втрати прибутку трейдера на біржі більше всього впливає вибір стратегії та використання новин. Це означає, що трейдеру необхідно приділяти більше уваги саме цим факторам при прийнятті відповідного рішення.*

4.2. Недоліки моделей, побудованих в середовищі Fuzzy Tools MatLab

Використання методу нечіткої логіки в рамках пакету MatLab має декілька обмежень, які впливають на проведення повномірного аналізу ситуації, яка розглядається. До основних недоліків можна віднести такі, як:

- при використанні в моделі більш ніж 10 змінних і правил може привести до недостатньо якісного відображення результатів експерименту у відповідних графічних редакторах;
- для більш точного результату неможливо врахувати всі фактори, які впливають на кінцевий результат, так як існує обмеження по кількості змінних;
- існує певна різниця в оцінках експертів та дослідників, які по різному можуть визначати і оцінювати вагу різних факторів, що впливає на кінцевий результат.

У. Завдання для індивідуальної роботи

Використовуючи інструктивні матеріали, які були описані в даному методичному керівництві, потрібно розробити експертну систему, яка дозволила оцінити ситуацію, яка була обрана для моделювання. В якості об'єкта дослідження бажано обрати галузь, яка пов'язана з темою дисертаційного дослідження.

В якості звіту потрібно надати викладачеві файл в форматі *.FIS і короткі висновки стосовно отриманих результатів моделювання.

Використана література

1. Желдак Т.А., Коряшкіна Л.С., Ус С.А. (2020) *Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень: Навчальний посібник*. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка».
2. Заковоротный А. Ю. Основы вычислительного интеллекта / З 19 А. Ю. Заковоротный : лабораторный практикум. – Х.: НТМТ, 2013. – 308 с. – На рус. языке. URL: http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/zakovorotny/wp-content/uploads/sites/8/2014/04/Lab_praktikum_OVI_03_06_13.pdf(дата звернення 25.12.2023)
3. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети.- М.: Горячая линия-Телеком, 2007.- 284 с.
4. Круглов В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 201с.
5. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
6. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень. Навчальний посібник. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2008.- 341 с. URL:https://artemis.at.ua/_ld/0/44_mopz_book.pdf (дата звернення 25.12.2023)
7. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Штовба. — М: Горячая линия-Телеком, 2007. — 288 с.
8. Mamdani, E. H., Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant. In Proc IEEE (1974), 121–159.
9. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide, Version 2. The MathWorks, Inc., 1999.
- 10.[Електронний ресурс] Системи нечіткого виведення. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Система_нечіткого_виведення (дата звернення 25.12.2023)
- 11.[Електронний ресурс] Робота з системою MatLab. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=fcrhXFxCbD8> (дата звернення 25.12.2023)
- 12.[Електронний ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/3674409/>
- 13.[Електронний ресурс] URL: https://www.wikizero.com/index.php/uk/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BD%D0%B5%D1%87%D1%96%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B2%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F (дата звернення 25.12.2023)

Гострик О.М.

НЕЧІТКА ЛОГІКА
ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять з дисципліни
«Сучасні комп'ютерні технології фінансового ринку»
для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня PhD
всіх форм навчання спеціальності 051 «Економіка»

Підписано до друку 31.08.2024 Зам. _____
Формат паперу 60 X 84 1/16 Обсяг 1,24 авт. арк.
Тираж_100_ прим. ОНЕУ, м. Одеса 82, вул. Преображенська, 8