

О. О. Шапурова,

к. е. н., доцент кафедри фінансів, менеджменту та банківської справи економіко-гуманітарний факультет, ДВНЗ "Запорізький національний університет"

## ФОРМУВАННЯ ПРОГНОЗУ ЕКОНОМІЧНИХ ТЕНДЕНЦІЙ І ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

E. Shapurova,

PhD Zaporizhzhya National University

FORMATION FORECAST OF ECONOMIC TRENDS AND PROCESSES BY USING THE METHOD OF FUZZY SETS

---

*У статті розглянуто метод нечіткої логіки.*

---

*The main purpose of this article is to research method of fuzzy logic.*

---

*Ключові слова: нечітка логіка, лінгвістичні змінні, алгоритм Мамдані.*  
*Key words: fuzzy logic, linguistic variables, Mamdani algorithm.*

### ВСТУП

Істотними особливостями економічних процесів в економіці України є неповнота вихідної інформації, обмеженість даних (короткі вибірки), невідомий характер взаємозв'язків між вхідними й вихідними змінними та відсутність нормального розподілу серед статистичних даних. Ці особливості обмежують застосування класичних методів статистичного аналізу, зокрема моделі ARIMA та інших однофакторних екстраполяційних регресійних моделей, та вимагають розробки нових нетрадиційних підходів і методів на основі штучного інтелекту. До їх числа належать системи з нечіткою логікою, головними рисами яких є:

- можливість роботи з апріорною невизначеністю вихідної інформації;
- облік кількісних та якісних змінних і критеріїв;
- можливість введення знань експерта у вигляді відповідних правил висновку безпосередньо в систему;
- можливість навчання системи нечіткої логіки й поповнення бази правил (БП) і параметрів БП нечітких правил висновку безпосередньо в процесі експлуатації системи.

Незважаючи на широке розповсюдження систем з НЛ, їх застосування у задачах прогнозування економічних процесів має епізодичний характер. Так, не досліджено, які з алгоритмів нечіткого висновку є найбільш ефективними для задач прогнозування економічних процесів, не виявлено вплив кількості правил і числа значень лінгвістичних змінних на ефективність моделювання (прогнозування).

Нечітка логіка (fuzzy logic) — це математична наука, яка є розширенням класичної (булевої) логіки і заснована на концепції часткової правди — правди, що знаходиться десь посередині між "і" і "немає". Творець теоретичних основ нечіткої логіки L. Zaden неодноразово підкреслював, що теорія нечітких висловлень не повинна трактуватися як самостійна, відособлена область знань. У деякому роді вона служить методологічним розширенням будь-якої іншої специфічної теорії, отриманої шляхом розмивання (fuzzification) її базисних об'єктів (наприклад, чисел), їхнім перекладом із дискретного стану в безупинне.

У наші дні дослідження проводяться, зокрема, в області нечітких обчислень (fuzzy calculations), нечітких диференціальних рівнянь (fuzzy differential equations) та інше.

Основні етапи формування теорії нечітких множин:

1. Етап формування основних теоретичних постулатів (1965 — початок 80-х рр.);

— Zadeh L.A. (1965, 1973);

— Dubois D., Prade H. (1979, 1980) — операції над нечіткими числами.

2. Етап практичних розробок у різних сферах життя, заснованих на нечіткій логіці; народження нового наукового напрямку в рамках нечіткої логіки "Fuzzy Economics" (1973 — початок 90-х рр.);

— Buckley, J. (1987, 1992) — "Рішення нечітких рівнянь в економіці і фінансах" і "Нечітка математика в фінансах" [10];

— Kosko, Bart. (1993) — доведена основоположна FAT-теорема (Fuzzy Approximation Theorem), яка підтвердила повноту нечіткої логіки.

3. етап масового використання продукції, в основі роботи яких лежить нечітка логіка (1995 — наш час).

— 48 японських компаній утворили спільну лабораторію LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering — Міжнародна лабораторія розробок, заснованих на нечіткій логіці).

Основна відмінність методу введення лінгвістичних змінних (суб'єктивних категорій).

Лінгвістичні змінні — змінні, які не можна описати за допомогою математичного мови, тобто їм складно надати точну (об'єктивну) кількісну оцінку. Наприклад, поняття "малий" і "середній" (говорячи про бізнес), "висока" або "низька" (про процентну ставку) не мають чіткої межі і не можуть бути представлені точним математичним описом.

Згідно Л. Заде, лінгвістичної змінної називається така змінна, значеннями якої є слова або пропозиції природної мови.

У літературі нечітких множин лінгвістичні змінні також називають терм-множинами (від англ. Term — називати) [14].

Безпосереднє використання алгоритмів нечіткої логіки в прикладних програмах рідко досить рідкісна.

Втім, очевидною областю впровадження є всілякі експертні системи, у тому числі:

— нелінійний контроль за процесами (виробництво);

— системи, що самонавчаються, названі також класифікаторами (classifiers), дослідження ризикових і критичних ситуацій. У цій області особливо цінується спроможність системи з нечіткою логікою одночасно вдосконалювати декілька каналів узагальнення правил, що помітно відрізняє цей підхід від систем штучного інтелекту, по черзі охоплюючих одну закономірність за іншою;

— розпізнавання образів;

— фінансовий аналіз (ринки цінних паперів);

— дослідження даних (корпоративні сховища);

— вдосконалювання стратегій керування і координації дій, наприклад складне промислове виробництво.

## ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою статті є всебічний детальний аналіз та вивчення основних закономірностей методу нечітких множин.

Методи нечітких множин особливо корисні за відсутності точної математичної моделі функціонування системи. Теорія нечітких множин дає можливість застосувати для прийняття рішень неточні та суб'єктивні експертні знання про предметну область без формалізації їх у вигляді традиційних математичних моделей.

## РЕЗУЛЬТАТИ

З використанням теорії нечітких множин вирішуються питання узгодження суперечливих критеріїв прийняття рішень, створення логічних регуляторів систем. Нечіткі множини дають змогу застосовувати

лінгвістичний опис складних процесів, встановлювати нечіткі відношення між поняттями, прогнозувати поведінку системи, формувати множину альтернативних дій, виконувати формальний опис нечітких правил прийняття рішень.

Методи теорії нечітких множин є зручним засобом проектування інтерфейсів у людино-машинних системах. На основі нечіткого логічного виведення будуються системи керування, подання знань, підтримки прийняття рішень, апроксимації, структурної та параметричної ідентифікації, розпізнавання образів, оптимізації. Нечітка логіка знаходить застосування у побутовій електроніці, діагностиці, різноманітних експертних системах. Нечіткі експертні системи для підтримки прийняття рішень знаходять широке застосування у військовій справі, медицині та економіці. З їх допомогою здійснюють бізнес-прогнозування, оцінювання ризиків та прибутковості інвестиційних проектів. На основі нечіткої логіки досліджують глобальні політичні рішення та моделюють кризові ситуації [1, 5].

Важливим застосуванням теорії нечітких множин є контролери нечіткої логіки, які використовуються у різноманітних системах керування. Замість математичної моделі для опису системи такі контролери використовують інтегровані знання експертів, які за структурою подання наближаються до розмовної мови і описуються за допомогою лінгвістичних змінних та нечітких множин.

Загальна структура fuzzy-контролера містить у своєму складі такі складові: блок фазифікації; база знань; блок рішень; блок дефазифікації.

Блок фазифікації перетворює чіткі величини, виміряні на виході об'єкта керування, на нечіткі величини, описані лінгвістичними змінними у базі знань.

Блок рішень використовує нечіткі умовні (if — then) правила, закладені у базі знань, для перетворення нечітких вхідних даних на необхідні керуючі впливи, що мають також нечіткий характер.

Блок дефазифікації перетворює нечіткі дані з виходу блоку рішень на чітку величину, яка подається на вихід пристрою для керування об'єктом.

З огляду на широке поширення систем штучного інтелекту з інтегрованою нечіткою логікою, розроблення ефективних систем прийняття рішень на їх основі є актуальною науково-практичною проблемою.

Перспектива застосування нечіткої логіки полягає у розробленні гібридних методів штучного інтелекту, до яких можна віднести нечіткі штучні нейронні мережі, адаптивне поповнення баз нечітких правил, підтримка нечітких запитів до баз даних, побудова нечітких когнітивних карт, нечіткі графи, нечіткі мережі Петрі, нечіткі дерева прийняття рішень, нечітка кластеризація та ін. [4].

Для побудови впливу часткових потенціалів на рівень розвитку сукупного економічного потенціалу можна використовувати нечіткий множинний підхід.

Реалізацію системи збалансованих показників для рівня розвитку сукупного економічного потенціалу було здійснено з використанням нечітко-множинного підходу в середовищі пакету Fuzzy Logic Toolbox, що є розширенням пакету MATLAB.

Набір показників BSC було подано у вигляді лінгвістичних змінних (табл. 1).

Кожному показнику поставлено у відповідність терм-множину з діапазонами значень, що для якісних показників виражені в балах, а для кількісних — у відповідних одиницях виміру. Через неточність оцінок діапазони значень елементів терм-множини для деяких показників перетинаються. Для логічного виведення було застосовано алгоритм Мамдані [6].

У складі Matlab є п'ять основних засобів графічного інтерфейсу користувача (ГІК), які забезпечують доступ до ІНА: редактори системи нечіткого виводу (СНВ), функції приналежності, правил виводу, а також засоби

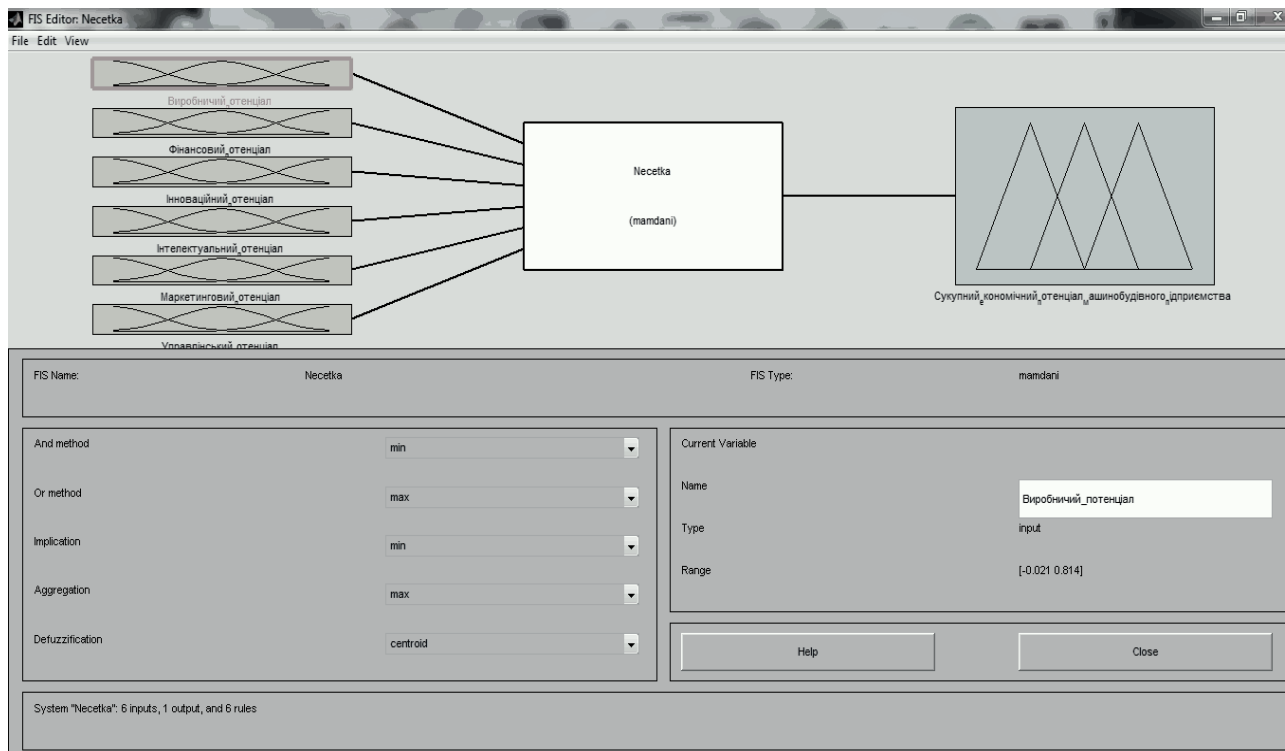


Рис. 1. Поточний стан вікна редактора СНВ

перегляду правил і поверхні виводу. Ці засоби пов'язані між собою динамічно і вироблені зміни в одному з них спричиняють зміни в інших [5].

Редактор СНВ надає можливість формування проектованої системи на високому рівні абстракції: кількість вхідних і вихідних змінних, найменування змінних.

Редактор функцій приналежності (ФП) використовується для визначення форми ФП, асоційованих з кожної змінної.

Редактор правил виводу застосовується для редагування списку правил, які визначають поведінку проектованої системи.

Засіб перегляду правил виводу використовується з метою діагностики і може показувати, наприклад, активність правил або форму впливу окремих ФП на результат нечіткого виводу.

Засіб перегляду поверхні виведення використовується для відображення залежності виходу системи від одного або двох входів. Іншими словами, воно генерує і виводить карту поверхні виведення розробленої СНВ.

Розглянемо редактор системи нечіткого виводу (редактор СНВ) та побудову нечітких систем за методом Мамдані.

Для побудови створюваної системи у командному рядку основного вікна Matlab необхідно набрати команду fuzzy. Вікно редактора нової СНВ містить вхідну, позначену input1 і вихідну — output1 змінні. За замовчуванням ІНВ пропонує створювати СНВ типу Мамдані. Для того щоб додати нову змінну, необхідно вибрати в меню Edit відповідний пункт (для вхідної змінної — Addinput, для вихідної — Addoutput). Зміна найменування змінної відбувається по кроках.

Крок 1. Відзначається змінна, яку необхідно перейменувати.

Крок 2. У поле редагування змінюється найменування змінної за замовчуванням на ім'я, запропоноване користувачем.

Збереження проектованої системи в робочий простір середовища MATLAB (в змінну) проводиться за допомогою пункту меню File-Savetoworkspacea У цьо-

му випадку дані зберігаються до закінчення сеансу роботи з Matlab.

Для збереження даних на диску після закінчення сеансу роботи застосовується відповідний пункт того ж меню — Savetodisks.

Редактор ФП. Наступним кроком у побудові нечіткої моделі засобами ІНЛ є асоціювання набору ФП з кожної вхідної і вихідної змінної. Дана операція проводиться в редакторі ФП трьома способами, активізувати який можна:

- вибором в меню View пункту Edit Membership Functions подвійним клацанням миші на зображенні відповідної змінної (вхідний або вихідний);

- набором в командному рядку оператора mfeedit.

За допомогою редактора ФП можна відобразити і редагувати будь-які ФП, асоційовані (пов'язані) з усіма вхідними та вихідними змінними розробляється СНВ. Зв'язування ФП з ім'ям змінної відбувається так: вибирається змінна по імені з набору графічних об'єктів вікна редактора ФП;

- вказується діапазон зміни значень для базової і видимий діапазон для поточної змінних;

- в меню Edit вибирається пункт AddMFs. У вікні вибирають вид ФП та їх кількість.

Редагують ФП поточної змінної двома способами: використовуючи графічне вікно ФП або змінюючи характеристики ФП (найменування, тип та числові параметри). При виборі необхідної ФП в графічному вікні допускається плавну зміну кривої за допомогою миші.

Таким чином, при побудові СНВ необхідно за допомогою редактора ФП визначити відповідні функції для кожної з вхідних і вихідних змінних.

Редактор правил виводу.

Після того як зазначено кількість вхідних і вихідних змінних, визначено їх найменування і побудовані відповідні ФП, в СНВ необхідно включити правила виводу. Для цього в меню View вибирається пункт EditRules або в командному рядку Matlab набирається команда ruleedit.

Грунтуючись на описах вхідних і вихідних змінних, визначених у редакторі ФП, редактор правил виводу формує структуру правила автоматично.

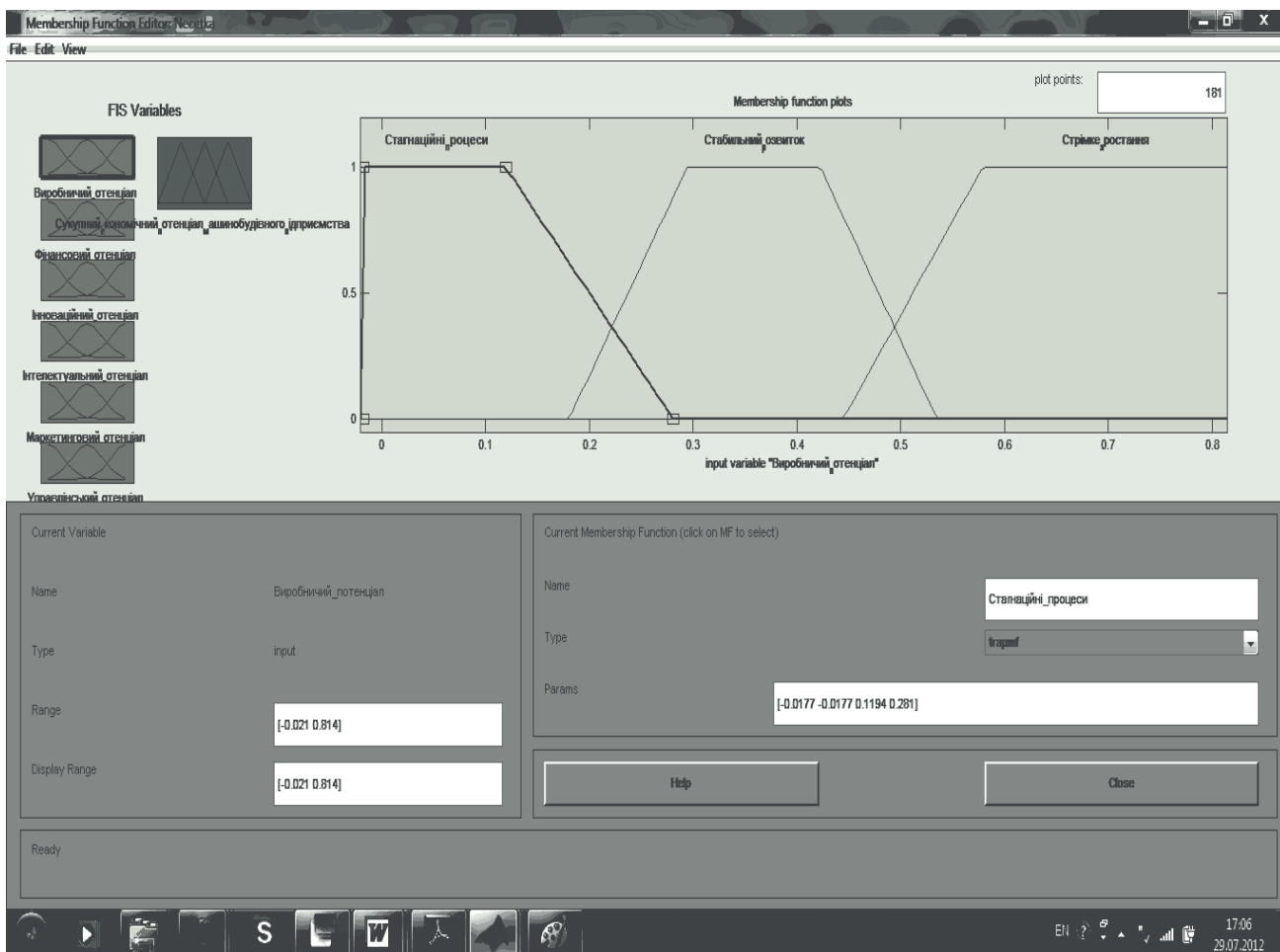


Рис. 2. Редактор функцій приналежності

Від користувача потрібно лише зв'язати значення вхідних і вихідних змінних, вибираючи зі списку заданих раніше ФП та визначити логічні зв'язки між ними.

Також допускається використання логічного заперечення (НЕ) і зміна ваг правил в діапазоні від 0 до 1.

Правила виведення можуть відображатися у вікні в різних форматах, які визначаються шляхом вибору відповідного пункту підменю Format меню Options.

За замовчуванням використовується розширений формат відображення правил виводу (verbose form):

```
If (input_1 is[not] mf_1j1) <and, or>... (input_i is[not] mf_iji)... <and, or>
(input_n is[not] mf_njn) then
(output_1 is[not] mf_n + 1jn+1) <and, or>...
(output_m is[not] mf_m + njm+n) (w),
```

- де  $i$  — номер вхідної змінної;
- $ji$  — номер ФП  $i$ -ї змінної;
- $k$  — номер вихідної змінної;
- $n$  — кількість вхідних змінних;
- $t$  — кількість вихідних змінних;
- $w$  — вага правила.

(Круглі дужки містять у собі обов'язкові параметри, квадратні — необов'язкові, а кутові — альтернативні параметри (один на вибір)).

Крім формату за замовчуванням, існують ще два види форматів відображення правил: символічний (symbolic form) і індексний (indexed form). Символьний формат має наступний вигляд:

```
(input_1<~<=>mf_1j1)<&, | >...
(input_i<~<=>mf_iji)...<&, | >
(input_n<~<=>mf_njn)=>
(output_1<~<=>mf_n + 1jn+1)...<&, | >
(output_k<~<=>mf_k + njk+n) <&, | >...
(output_m<~<=>mf_m + njt не равно n) (W)
```

Відмінність символічного формату від розширеного полягає в тому, що замість словесної інтерпретації зв'язок використовується символічна (символи "&" і "|" — відповідно визначають логічне І і логічне АБО, символ "~" — логічне заперечення, а символ ">" є роздільником умовної та заключної частини правила (антецедент і консеквента).

Загальний опис правила виведення в індексному форматі може бути представлено в наступному вигляді:

```
[ - ] 1j1... [ - ] iji... [ - ] njn [ - ] n+1jn+1... [ - ] k+ njk+1... [ - ] m+njm+n (w) : <1, 2> .
```

Тут порядок проходження чисел відповідає черговості введення змінних, причому символ ";" поділяє правило на умовну і заключну частини. До двокрапки записується порядковий номер відповідної ФП, після двокрапки — вид логічної зв'язки ("1" — логічне І, "2" — логічне АБО). Логічне заперечення задається символом "~".

Після визначення правил виводу в однойменному редакторі можна стверджувати, що СНВ повністю створена.

Розглянемо рівень розвитку сукупного економічного потенціалу, виходячи з часткових потенціалів.

Етап 1. Викаликаємо редактор для створення СНВ, набираючи в командному рядку fuzzy.

Додаємо вхідні змінні за допомогою вибору в меню Edit пункту Addinput. У результаті отримуємо таку структуру СНВ: шість входів, механізм нечіткого висновку за Мамдані, один вихід.

Оголошуємо змінні (часткові потенціали): виробничий потенціал; фінансовий потенціал; інноваційний потенціал; інтелектуальний потенціал; маркетинговий потенціал; управлінський потенціал.

Найменування вихідної змінної, на підставі якої приймається рішення про рівень розвитку сукупного економічного потенціалу машинобудівного підприємства, задається як сукупний потенціал.



Таблиця 1. Набір лінгвістичних змінних для нечіткої системи оцінки BSC

Вид змінної	Найменування лінгвістичної змінної	Терм множина (найменування / діапазон значень)		
		Стагнаційні процеси	Стабільний розвиток	Стрімке зростання
Вхідні дані	Виробничий потенціал	[-0.0177; -0.0177; 0.1194; 0.281]	[0.18; 0.294; 0.4175; 0.535]	[0.444; 0.5786; 0.814; 0.814]
	Фінансовий потенціал	[-0.033; -0.0323; 0.0286; 0.0852]	[0.0515; 0.0916; 0.1253; 0.163]	[0.138; 0.174; 0.239; 0.24]
	Інноваційний потенціал	[-0.0233; -0.0221; 0.132; 0.278]	[0.207; 0.322; 0.4412; 0.569]	[0.507; 0.604; 0.803; 0.815]
	Інтелектуальний потенціал	[0.835; 0.838; 1.24; 1.582]	[1.39; 1.63; 1.95; 2.15]	[1.99; 2.21; 2.71; 2.71]
	Маркетинговий потенціал	[25.4; 25.4; 29.2; 31.4]	[29.4; 32; 34; 36.3]	[34.3; 37.4; 40.2; 40.2]
	Управлінський потенціал	[0.284; 0.292; 1.95; 2.735]	[2.236 3.37; 4.17; 5.06]	[4.38; 5.335; 6.98; 7.01]
Вихідні дані	Сукупний економічний потенціал машинобудівного підприємства	[-1.13; -1.13; 0.6738; 1.25]	[1.04; 1.53; 2.827; 3.63]	[3.158; 4.038; 5.728; 5.738]

Збережемо створювану модель під ім'ям Potenzial.fis. На рис. 1 представлено поточний стан вікна редактора СНВ.

Етап 2. Кожній вхідній та вихідній змінній присвоюється набір ФП. Така процедура реалізується в редакторі ФП. Діапазони змінних наведено в табл. 2.

Етап 3. Заключний етап побудови СНВ є побудова набору правил, які формують зв'язок вхідних змінних з вихідними. Для цього визначимо правила:

1. If (Виробничий\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) and (Фінансовий\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) and (Інноваційний\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) and (Інтелектуальний\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) and (Маркетинговий\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) and (Управлінський\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) then (Сукупний\_економічний\_потенціал\_машинобудівного\_підприємства is Стагнаційні\_процеси) (1)

2. If (Виробничий\_потенціал is Стабільний\_розвиток) and (Фінансовий\_потенціал is Стабільний\_розвиток) and

(Інноваційний\_потенціал is Стабільний\_розвиток) and (Інтелектуальний\_потенціал is Стабільний\_розвиток) and (Маркетинговий\_потенціал is Стабільний\_розвиток) and (Управлінський\_потенціал is Стабільний\_розвиток) then (Сукупний\_економічний\_потенціал\_машинобудівного\_підприємства is Стабільний\_розвиток) (1).

3. If (Виробничий\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Фінансовий\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Інноваційний\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Інтелектуальний\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Маркетинговий\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Управлінський\_потенціал is Стрімке\_зростання) then (Сукупний\_економічний\_потенціал\_машинобудівного\_підприємства is Стрімке\_зростання) (1).

4. If (Виробничий\_потенціал is Стабільний\_розвиток) and (Фінансовий\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) and (Інноваційний\_потенціал is Стабільний\_розвиток) and (Інтелектуальний\_потенціал is Стабільний\_розвиток) and (Маркетинговий\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) and

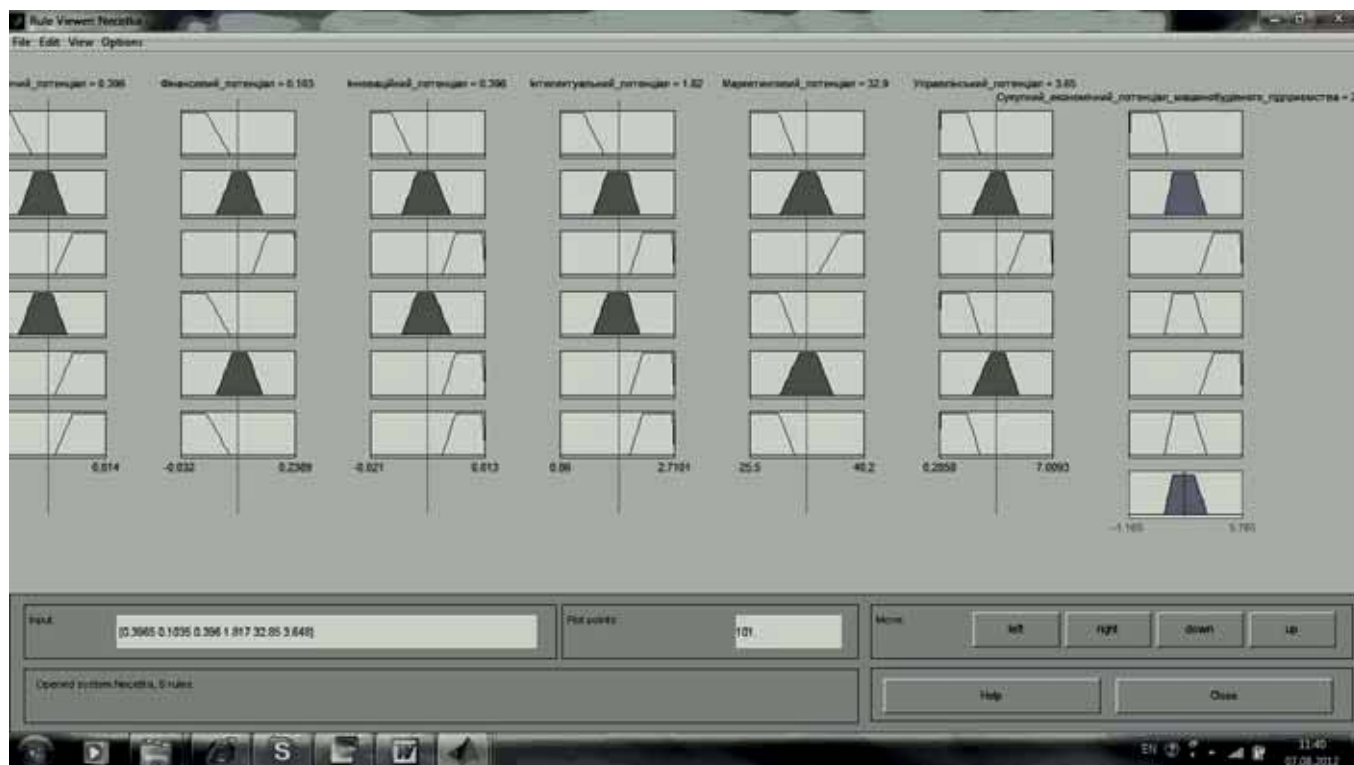


Рис. 3. Вікно засобів просмотру правил виводу

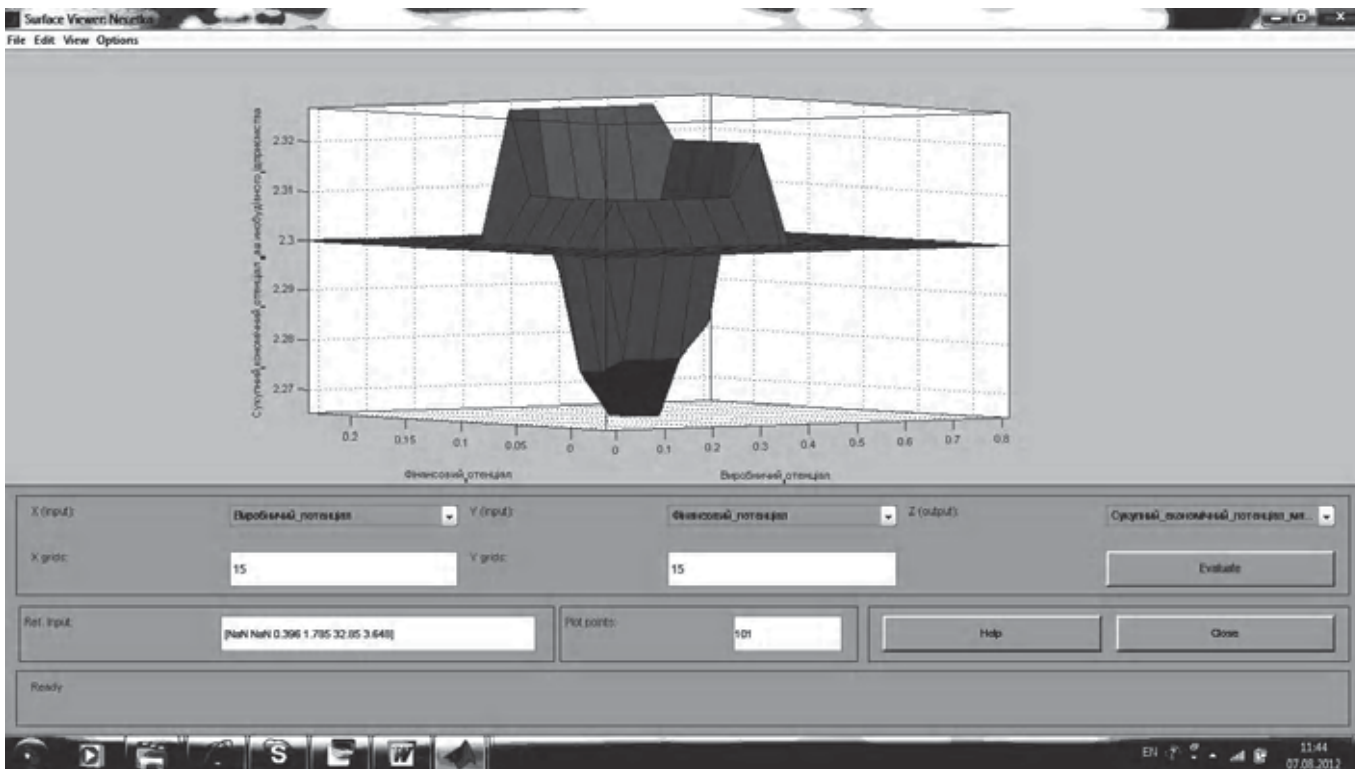


Рис. 4. Вікно перегляду поверхні рішень

(Управлінський\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) then (Сукупний\_економічний\_потенціал\_машинобудівного\_підприємства is Стабільний\_розвиток) (1).

5. If (Виробничий\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Фінансовий\_потенціал is Стабільний\_розвиток) and (Інноваційний\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Інтелектуальний\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Маркетинговий\_потенціал is Стабільний\_розвиток) and (Управлінський\_потенціал is Стабільний\_розвиток) then (Сукупний\_економічний\_потенціал\_машинобудівного\_підприємства is Стрімке\_зростання) (1).

6. If (Виробничий\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Фінансовий\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) and (Інноваційний\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Інтелектуальний\_потенціал is Стрімке\_зростання) and (Маркетинговий\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) and (Управлінський\_потенціал is Стагнаційні\_процеси) then (Сукупний\_економічний\_потенціал\_машинобудівного\_підприємства is Стабільний\_розвиток) (1).

Етап 4. Засіб перегляду правил виводу (рис. 3).

Такий засіб перегляду правил виводу дає можливість відобразити процес нечіткого виводу і отримати результат. Головне вікно засобу перегляду складається з декількох графічних вікон, розташованих по рядках і стовпцях. Кількість рядків відповідає числу правил нечіткого виводу, а кількість стовпців — числу вхідних і вихідних змінних, заданих в розробляється СНВ. Додаткове графічне вікно служить для відображення результату нечіткого виведення та операції дефазифікації. В кожному вікні відображається відповідна ФП, рівень її зрізу (для вхідних змінних) і внесок окремої ФП в загальний результат (для вихідних змінних).

У нижній частині головного вікна можна відобразити номери правил виводу в різних форматах виводу, відзначаючи їх мишею. Для зміни формату в меню Options обирається пункт Ruledisplayformat. Зміна значень вхідних змінних допустимо двома способами:

1) шляхом введення в поле Input записи вхідного вектора, розмірність якого дорівнює кількості вхідних змінних;

2) клацанням миші в будь-якому графічному вікні, яке відноситься до вхідної змінної.

Засіб перегляду поверхні виведення.

Засіб перегляду поверхні виведення дозволяє будувати тривимірну поверхню як залежність однієї з вихідних змінних від двох вхідних. Вибір вхідних і вихідних змінних здійснюється за допомогою спадajoчих меню головного вікна розглянутого програмного засобу. Кількість виведених ліній по осях X і Y визначається в полях введення Xgrids, Ygrids (рис. 4).

## ВИСНОВКИ

Сформовано модель зміни сукупного економічного потенціалу як результат мінливості часткових потенціалів на основі методу нечіткої логіки. Застосування методу нечіткої логіки для формування моделі зміни економічного потенціалу має такі переваги: можливість роботи з апіорною невизначеністю вхідної інформації; облік кількісних та якісних змінних і критеріїв; можливість введення знань експерта у вигляді відповідних правил висновку безпосередньо в систему; можливість навчання системи нечіткої логіки й поповнення бази правил.

## Література:

1. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования: Учеб. пособие для вузов. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. — 206 с.
2. Заде Л. Понятия лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Пер. с англ. — М.: Мир, 1976. — 195 с.
3. Мамедова М.Г., Джабраилова З.Г. Нечеткая логика в прогнозировании демографических аспектов рынка труда // Искусственный интеллект. — 2005. — № 3. — С. 450—460.
4. Федоров Ю.В. Применение метода нечетких множеств в прогнозирование доходов населения // Региональная экономика. Теория и практика. — 2006. — № 6. — С. 43—47.
5. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
6. Mamdani, E.H. (1974). Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant.

Стаття надійшла до редакції 16.04.2013 р.