
Енергетика, контроль та діагностика об'єктів нафтогазового комплексу

УДК 681.513.6: 681.3.068

DOI: 10.31471/1993-9868-2018-1(29)-26-41

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ БАЗ ЗНАТЬ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ЗАСАДАХ FUZZY LOGIC

В.Б. Кропивницька, О.В. Єфремов, Г.Н. Семенцов

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727167,
e-mail: kafatp@ukr.net*

Розглядаються питання Fuzzy-моделювання контролерів для вирішення практичних завдань автоматизованого управління. Досліджуються особливості Fuzzy-моделювання каскадних контролерів у середовищі Matlab. Виклад супроводжується прикладами розробки окремих Fuzzy-моделей і ілюстрацією виконання всіх необхідних операцій з нечіткими множинами.

Ключові слова: база знань, Fuzzy-контролер, метод прийняття рішень, інтелектуальна система.

Рассматривается вопрос Fuzzy-моделирования контроллеров для решения практических задач автоматизированного управления. Исследуются особенности Fuzzy моделирования каскадных контроллеров в среде Matlab. Изложение сопровождается примерами разработки отдельных Fuzzy-моделей и иллюстрацией выполнения всех необходимых операций с нечеткими множествами.

Ключевые слова: база знаний, Fuzzy-контроллер, метод принятия решений, интеллектуальная система.

The article deals with the issue of Fuzzy-simulation of controllers for solving practical problems of automated control. The peculiarities of Fuzzy-simulation of cascade controllers in the Matlab environment are studied. The presentation is accompanied by examples of the development of individual Fuzzy models and an illustration of conducting all necessary operations with fuzzy sets.

Key words: knowledge data base, Fuzzy-controller, decision-making method, intelligent system.

Вступ. Значне зниження витрат на розробку програмного забезпечення для вирішення проблем управління хаотичними системами може бути досягнуто шляхом використання технологій штучного інтелекту. Технології штучного інтелекту (ШІ) поєднують штучні нейронні мережі (ШНМ), експертні системи (ЕС), нечітку логіку (НЛ) [Fuzzy Logic (FL)], генетичні алгоритми (ГА) та ін. До їхньої основи покладені ідеї, що суттєво відрізняються від загальновідомих методів обчислень. Наприклад, ШНМ мають властивість навчатися, ЕС-системи приймають рішення на основі наборів правил і досвіду експертів, а FL-системи оперують такими поняттями, як невизначеність і наближена істина. Ці методи взаємодоповнюються і призначені для вирішення дуже склад-

них нелінійних задач, які або вимагають для свого рішення надто великих матеріальних і часових витрат, або перевищують можливості загальновідомих алгоритмічних методів. Одна із тенденцій на сьогодні – створення гібридних систем, в яких технології ШІ поєднані між собою, або з іншими методами не зі сфери технологій ШІ. Такі гібридні системи є доволі ефективними засобами системного моделювання і групового моніторингу.

Найбільш доцільним є використання систем гібридного інтелекту для управління груповими процесами з сильною нелінійністю і складним регулюванням шляхом удосконалення системи MES (виконавча виробнича система) і EPM-моделей (first-principle-models). Тут можуть бути два напрямки:

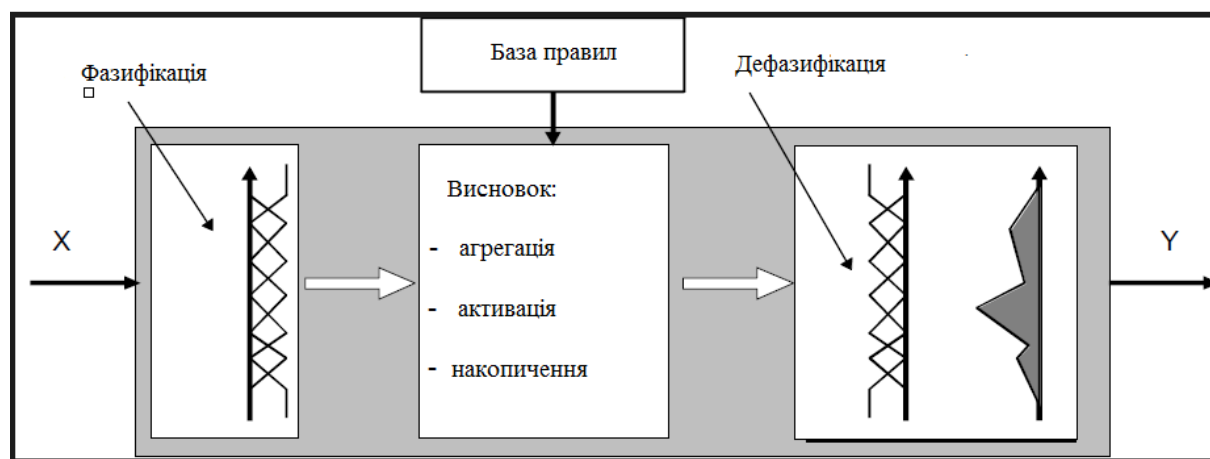


Рисунок 1 – Структура і функціональні елементи нечіткого управління (Fuzzy control)

- моделювання окремих нелінійних процесів, для яких ЕРМ-моделі або не існують, або є нелінійними, або для розробки вимагають великих витрат;

- вироблення коригуючого фактора для ЕРМ-моделей.

Більш складними за різноманітні методи ШІ є адаптивні системи, які відносяться до класу хаотичних систем. Їх ще називають системами без організації (СБО), комплексні системи або системи з непередбачуваною поведінкою (emergent systems). Прикладом таких систем є адаптивні системи управління процесом буріння глибоких похило-скерованих і горизонтальних свердловин. Їхня поведінка в певних режимах є неочікуваною, але не заздалегідь запланованою. Проте, загальна поведінка системи формується на основі сполучення поведінок окремих її елементів: долота, вибійного бура, бурильної колони, а також геосередовища. Тому метою використання адаптивних систем такого типу є суттєве зниження витрат на розробку програмного забезпечення для вирішення проблем надзвичайно високого ступеня складності.

Оскільки в адаптивних системах такого класу основна увага приділяється поведінці, а не зміні параметрів об'єкта, то опису для отримання системного рішення підлягають лише різноманітні типи сутностей, але не поведінка усієї системи. Тобто такий підхід передбачає початок з об'єкта керування (знизу догори). Наявність у системі керування FL-елементів сприяє визначенню розмірів необхідних керувальних дій на основі бази знань користувача про параметри процесу. В основі синтезу FL-структур лежить стандарт IEC1131-7 [1].

Стандарт IEC1131-7 передбачає програмування на основі Fuzzy logic, визначає FL-компоненти, а також взаємодію FL-модулів з іншими стандартними мовами програмування. Як вхідні дані можуть бути використані вимірювальні технологічні параметри, розрахункові величини і контрольні значення. Вхідними даними є реальні параметри у формі коригуючих величин.

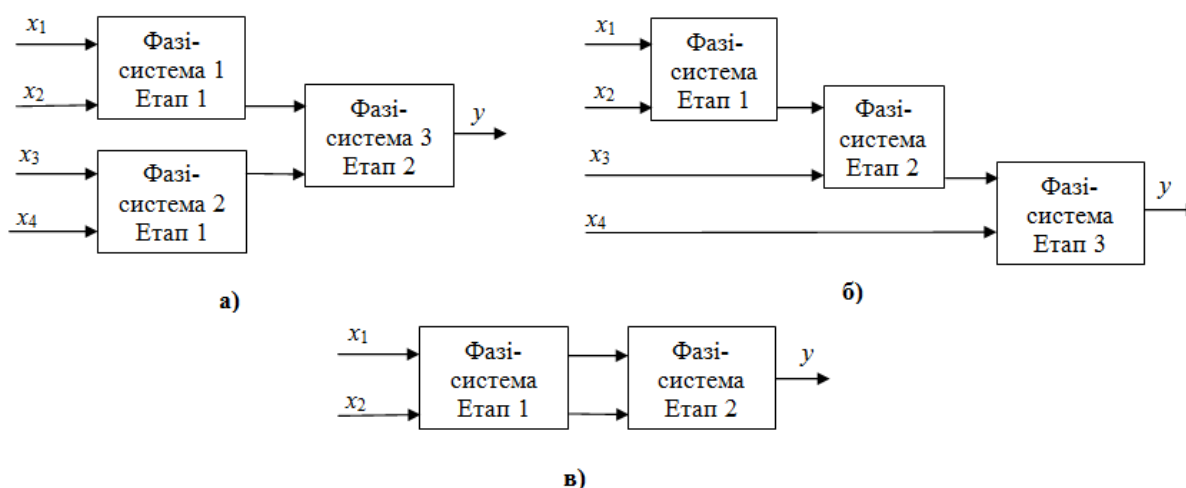
Швидкість обчислень на базі Fuzzy Logic може порівнятися зі швидкістю обчислення традиційними методами, дозволяючи керуючі цикли скоротити до часток мілісекунди. Основними FL-модулями у системах автоматичного керування є контролери з двома входами і базою правил Мамдані-типу. Вони можуть бути вбудовані практично у будь-яку систему, зокрема в SCADA-системи та системи розподіленого управління (DCS). Проте кількість вхідних параметрів FL-модулів може досягати декількох десятків [2]. Тоді виникає складна проблема формування нечітких правил і бази знань для формування стратегії FL-управління з багатьма вхідними змінними. Результируюча нечітка система надзвичайно складна кількістю нечітких правил збільшується експоненціально в залежності від кількості входів. Це явище називають прокляттям розмірності [3]. Ця проблема існує і для створення адаптивної системи автоматизованого управління процесом буріння нафтових і газових свердловин, тому актуальним є розроблення ієрархічних FL-систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Поняття ієрархічної нечіткої системи вперше було введено G.V.S.Raju та співавторами у 1944 р. [10], як розв'язання прокляття розмірності. Така система складалася із кількох низько розмірних нечітких систем, пов'язаних між собою ієрархічно. На кожному етапі існувала лише одна система. Доведено, що загальна кількість нечітких правил мінімальна, коли кожен етап має лише два входи.

Зі структурної точки зору ієрархічні FL-системи можна поділити на три групи [3,4] (рис. 2).

У агрегатних ієрархічних нечітких системах найнижчий рівень є введенням всієї структури. Виходи цього першого рівня пов'язані з входами другого етапу і т.д. до найвищого рівня, виходи якого стають входами всієї FL-структури. Оскільки така структура є комбінацією кількох однофазних нечітких систем, кількість правил менша за одностадійних систем. У послідовній ієрархічній FL-системі виводи підсистем з попереднього етапу також пода-



а) агрегатні; б) послідовні; в) каскадні
Рисунок 2 – Приклад ієрархічних FL-систем

ються на один з входів підсистеми наступного етапу, але на кожному етапі існує одна підсистема. Підсистеми мають один із своїх входних сигналів сигнал, підключений до виходу попереднього етапу, а другий вхід (або входи) слугує одним із входів всієї FL-структури. Таким чином, кожен етап має один або декілька пов'язаних входних змінних доки всі входні змінні не будуть використані. У [13] доведено, що такі ієрархічні системи є універсальними апроксиматорами та аналізують чутливість окремих входних даних. I.C.Duan та F.L.Chung застосували [14] поняття силогістичних міркувань для створення каскадних нечітких нейронних мереж у два етапи (рис. 2 в). Вторинна мережа має свої входи, підключені до виходів першого етапу. Таким чином, одне рішення приймається виключно на підставі іншого рішення. Вся система підготовлена гібридним алгоритмом об'єднання, тобто оптимальна база правил здійснюється за допомогою генетичного алгоритму, а потім параметри відкориговують шляхом зворотного розповсюдження.

Через те, що отримати ієрархічну базу правил досить важко, було також запропоновано кілька генетичних підходів до ієрархічного проектування бази правил [5÷12]. У роботі [3] запропоновано нечіткі ієрархічні системи з нечіткими гаусовими множинами в послідовностях.

Формування цілі. Метою статті є удосконалення методу формування баз знань для інтелектуальної системи підтримки процесів прийняття рішень на засадах методів нечіткої логіки. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- визначити основні складові структури фазі-системи керування і компоненти фазі-контролера;
- сформулювати структуру багатовимірною каскадного фазі-контролера і базу правил Мамдані-типу;
- провести моделювання каскадного фазі-контролера в середовищі Matlab.

Основні результати дослідження. Як приклад застосування систем нечіткого виводу у задачах управління бурінням свердловин розглянемо задачу формування бази знань багатовимірною каскадного Fuzzy-контролера на основі алгоритму Мамдані-типу. Необхідність роз'язання таких задач виникає у зв'язку з потребою забезпечити систему підтримки процесів прийняття рішень поточною інформацією про такі перед аварійні ситуації і ускладнення як прихват бурильного інструменту, обвалювання стінок свердловини, втрата промивальної рідини в свердловині, газопрояви, звуження стовбура свердловини, перетин водонасосних горизонтів із великим напором, карстові пустоти, зони з аномальними пластовими тисками, зношеність озброєння і опор долота та ін. Встановлено, що інформаційними ознаками таких ситуацій є обмежена кількість параметрів: витрата і тиск бурового розчину, момент на роторі, осьове навантаження на долото, температура бурового розчину, механічна швидкість буріння. Оскільки для найбільш складних ситуацій кількість інформативних параметрів не перевищує 4, то кількість входних змінних Fuzzy-контролера вибрано 4, при одній вихідній змінній системи нечіткого вибору (рис. 3).

Задачею каскадного Fuzzy-контролера є отримання у реальному часі інформації про аварійну ситуацію або ускладнення процесу буріння, показниками яких є не більше 4-х входних змінних. Як входні лінгвістичні змінні використовуватимемо множини X_1, X_2, X_3, X_4 . Для фазифікації входних змінних використаємо терм-множини: NM – негативно мінімальне, NS – негативно мале, Z – нульове, PS – позитивно мале, PM – позитивно максимальне.

$$X_1 = \{NM, NS, Z, PS, PM\}; X_2 = \{NM, NS, Z, PS, PM\},$$

$$Y_1 = \{NM, NS, Z, PS, PM\}; X_3 = \{S, Z, L\},$$

$$Y_2 = \{NM, NS, Z, PS, PM\}; X_4 = \{S, Z, L\},$$

$$Y_3 = \{NM, NS, Z, PS, PM\}.$$

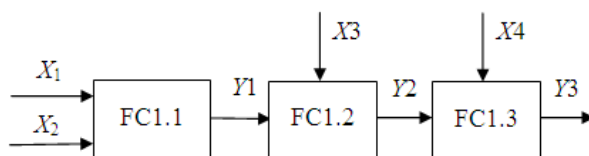


Рисунок 3 – Структура каскадного Fuzzy-контролера

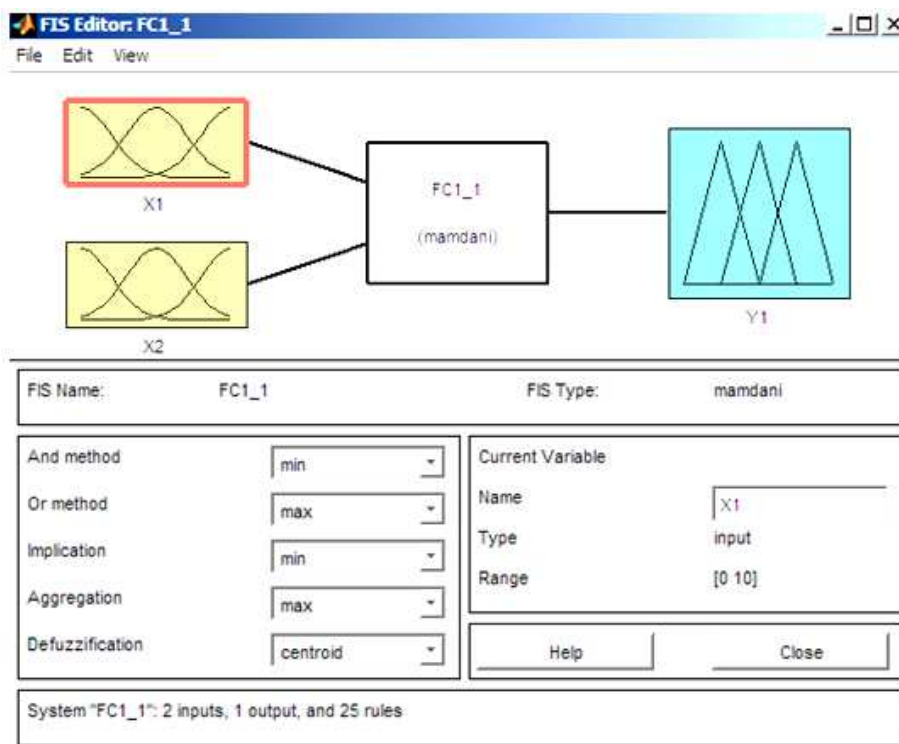


Рисунок 4 – Графічний інтерфейс редактора FIS для FC1_1 після визначення вхідних і вихідних змінних системи нечіткого виводу, що розробляється

Графічний інтерфейс редактора FIS для FC1.1 після визначення вхідних і вихідних змінних системи нечіткого виводу, що розробляється, наведено на рис. 4.

Оскільки використовуємо систему нечіткого виводу типу Мамдані [1,6,16], то залишаємо без зміни тип, що запропонований системою Matlab за замовчуванням. Немає потреби змінювати й інші параметри нечіткої Fuzzy-моделі, які запропоновані системою Matlab за замовчуванням: min – для нечіткого логічного І, max – для нечіткого логічного АБО, а також методи імплікації (min), агрегування (max) і дефазифікації (centroid).

Далі слід визначити функції належності термів для кожної із змінних X_1 , X_2 , Y_1 системи нечіткого виводу. Для цієї мети скористаємося редактором функцій належності системи Matlab. Вигляд графічного інтерфейсу редактора функцій належності при числових значеннях [0;10] для вхідних змінних X_1 , X_2 і вихідної змінної Y_1 наведений на рис. 5.

Тепер задамо 25 правил для системи нечіткого виводу, що розробляється. Для цього скористаємося редактором правил системи Matlab. Вигляд графічного редактора правил після завдання 25 правил нечіткого виводу зображений на рис. 6.

Тепер можна оцінити побудовану систему нечіткого виводу для Fuzzy-контролера FC1.1. З цією метою відкриваємо програму перегляду правил системи Matlab і вхідних змінних $X_1 = 5$; $X_2 = 5$. Процедура, що виконана системою Matlab для розробленої нечіткої моделі, видає у результаті значення вихідної змінної $Y_1 = 5$ (рис. 7).

Для загального аналізу розробленої Fuzzy-моделі доцільно розглянути поверхню нечіткого виводу (рис. 8).

Дана поверхня нечіткого виводу дозволяє встановити залежність значень вихідної змінної Y_1 від значень вхідних змінних X_1 , X_2 нечіткої моделі Fuzzy-контролера FC1_1. Ця залежність може слугувати основою для програмування контролера або апаратної реалізації нечіткого алгоритма керування у вигляді таблиці рішень. Вона фактично є розв'язком задачі синтезу керувальних дій на основі методів Fuzzy Logic і теорії нечітких множин.

Для повноти уявлення про поверхню виводу на рис. 9 наведено графіки: а) з іншим позначенням осей X_1 , X_2 і б) вид зверху.

Тепер розглянемо задачу формування бази знань для контролера FC1_2. Графічний інтерфейс редактора FIS після визначення вхідних X_3 , Y_1 і вихідної Y_2 системи нечіткого виводу наведено на рис. 10.

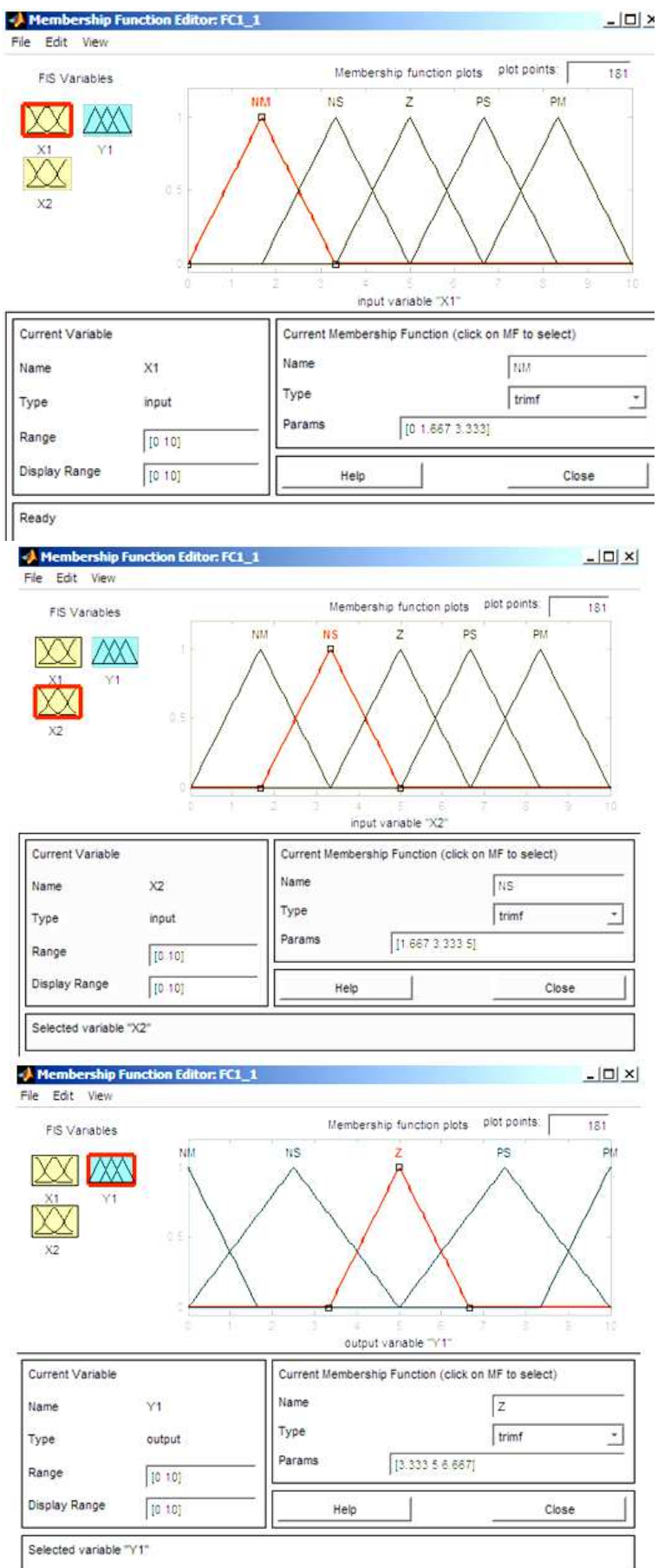


Рисунок 5 – Графічний інтерфейс редактора функцій належності для вхідних змінних X1, X2 і вихідної змінної Y1

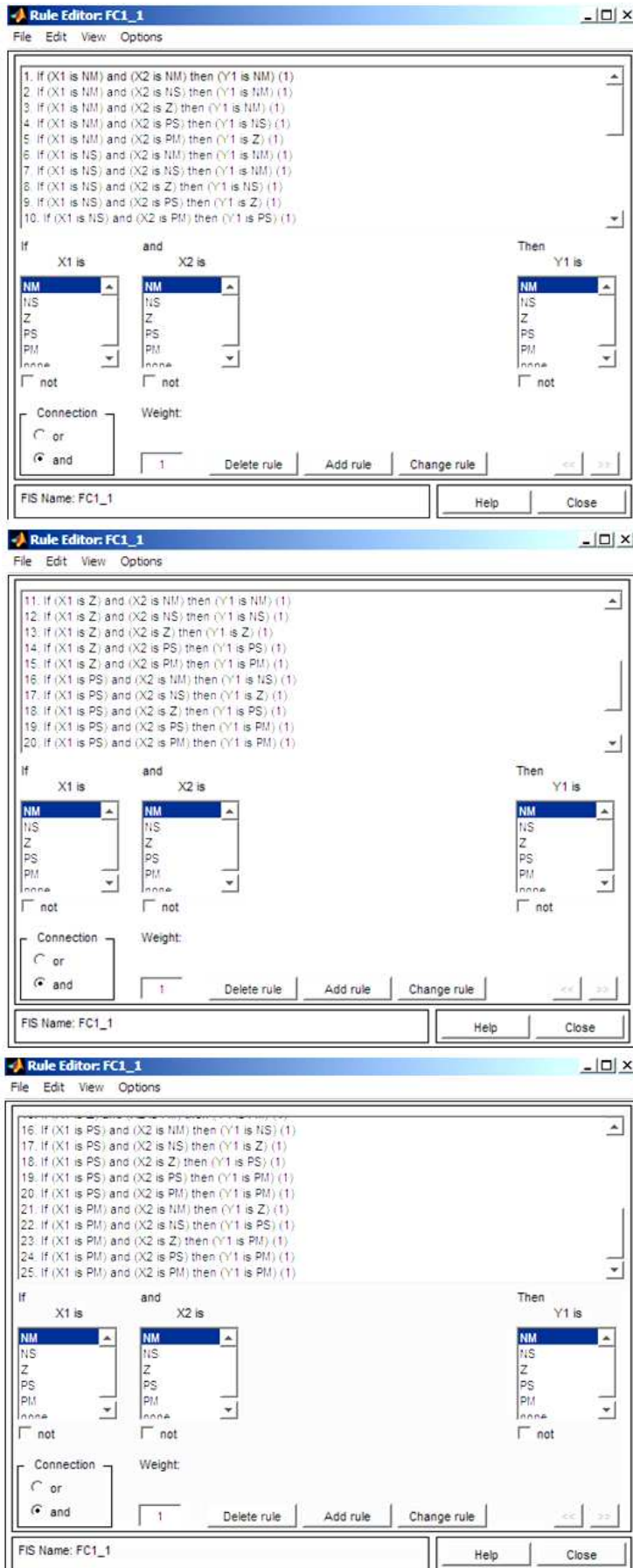


Рисунок 6 – Графічний редактор правил після завання бази правил для системи нечіткого виводу контролера FC1_1

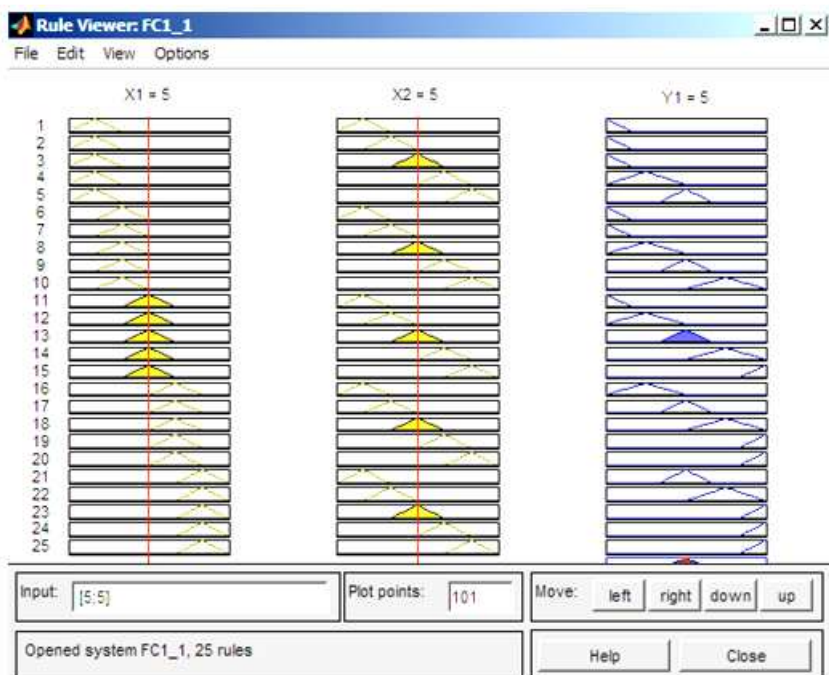


Рисунок 7 – Графічний інтерфейс програми перегляду правил після виконання процедури нечіткого виводу для значень вхідних змінних [5; 5]

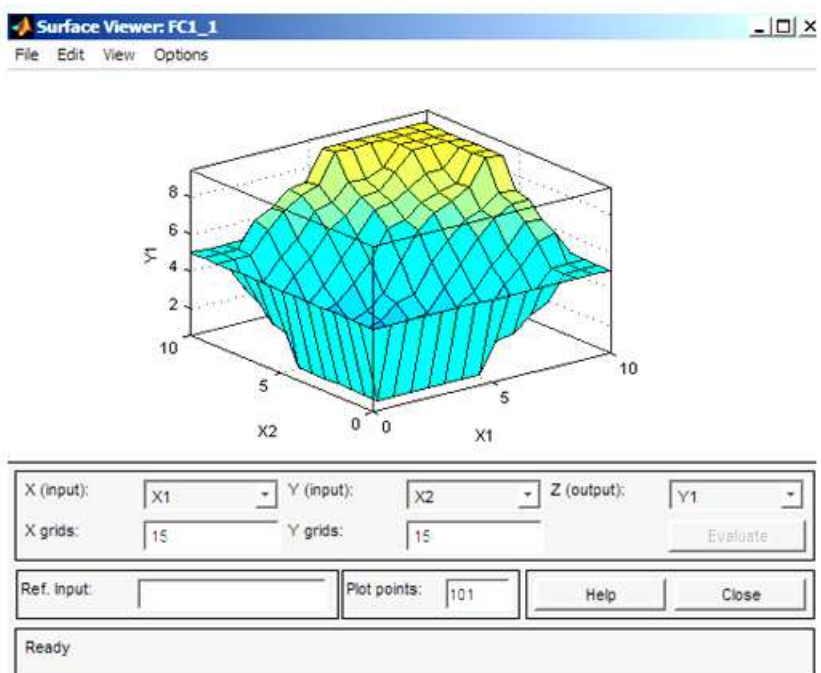


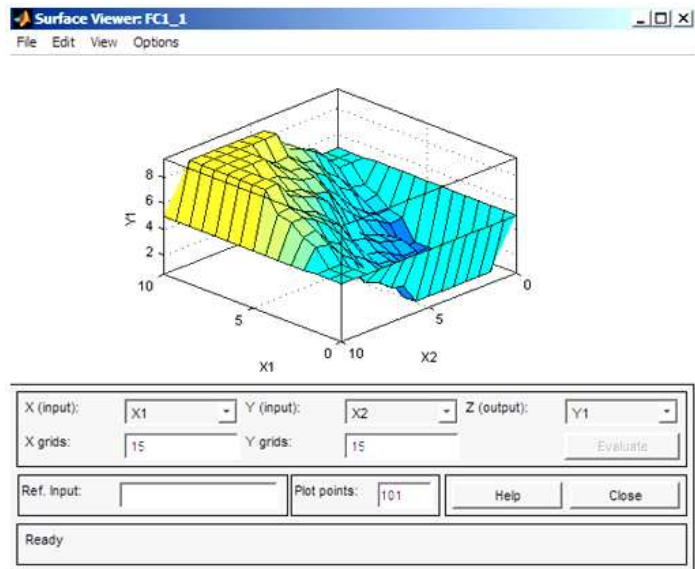
Рисунок 8 – Візуалізація поверхні нечіткого виводу для системи нечіткого виводу контролера FC1_1

Далі визначаємо функції належності термів для кожної із змінних $X3$, $Y1$, $Y2$ системи нечіткого виводу, скориставшись редактором функцій належності системи Matlab. Графічний інтерфейс редактора функцій належності при числових значеннях $[0;10]$ для вхідних змінних $X3$, $Y1$ і вихідної $Y2$, наведено на рис. 11.

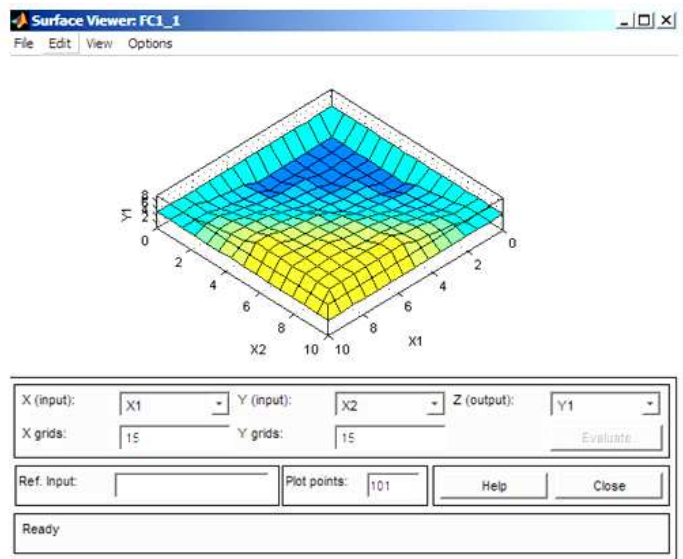
Тепер задамо 25 правил для системи нечіткого виводу контролера FC1_2, що розробляється. Для цього скористаємося редактором правил системи Matlab. Графічний інтерфейс

редактора правил після завдання бази правил нечіткого виводу контролера FC1_2 зображений на рис. 12.

Тепер оцінимо побудовану систему нечіткого виводу для Fuzzy-контролера FC1.2. Для цього відкриваємо програму перегляду правил системи Matlab і вводимо числові значення вхідних змінних $X1 = 5$; $X2 = 15$. Процедура, що виконана системою Matlab для розробленої нечіткої моделі, видає у результаті значення вихідної змінної $Y1 = 2,5$ (рис. 13).



а)



б)

Рисунок 9 – Поверхні нечіткого виводу контролера FC1_1:
а) з іншим позначенням осей X1, X2 і б) вид зверху

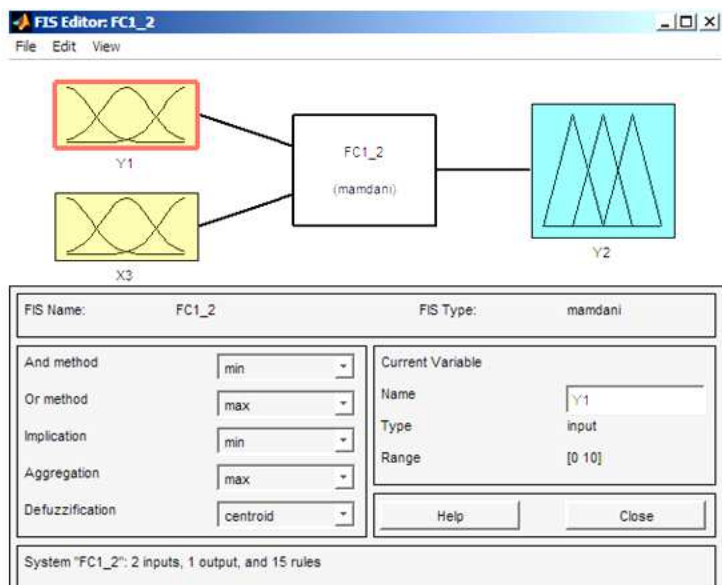


Рисунок 10 – Графічний інтерфейс редактора FIS після визначення вхідних і вихідної змінних системи нечіткого виводу, що розглядається

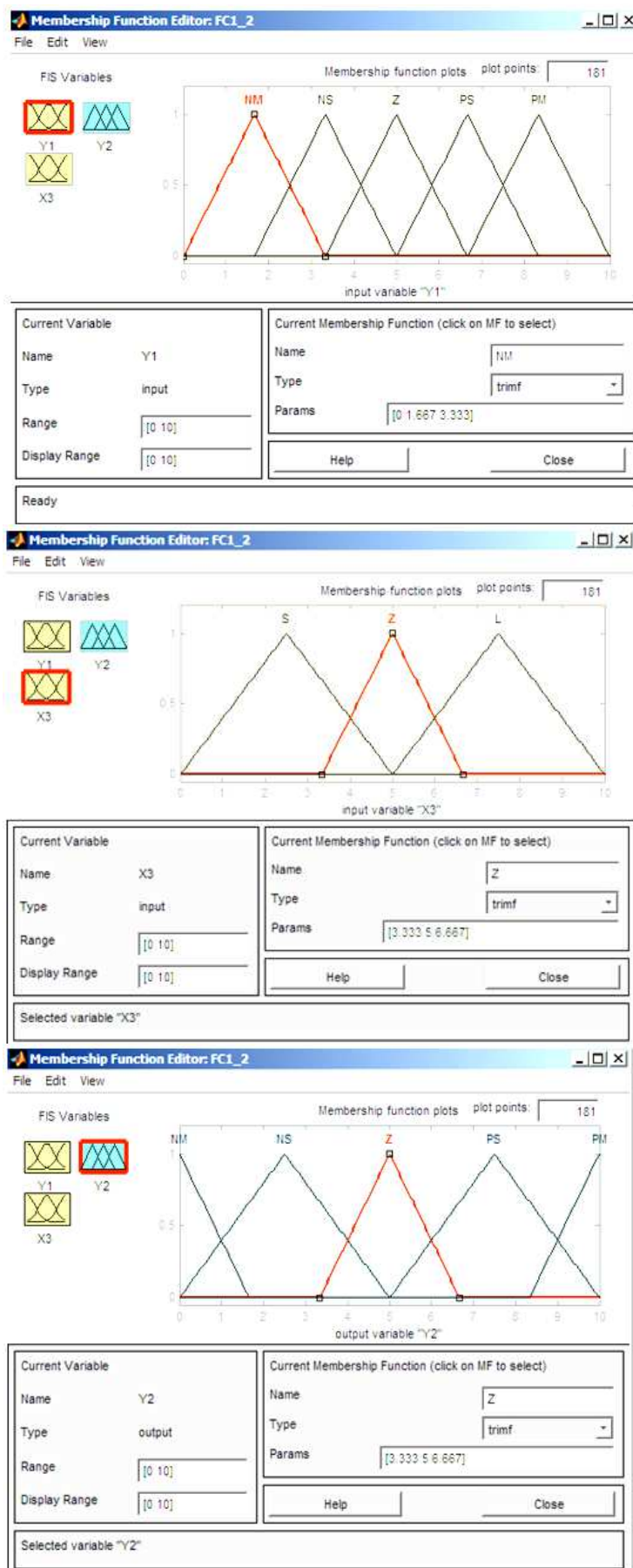


Рисунок 11 – Графічний інтерфейс редактора функцій належності при числових значеннях [0;10] для входних змінних X3, Y1 і вихідної Y2

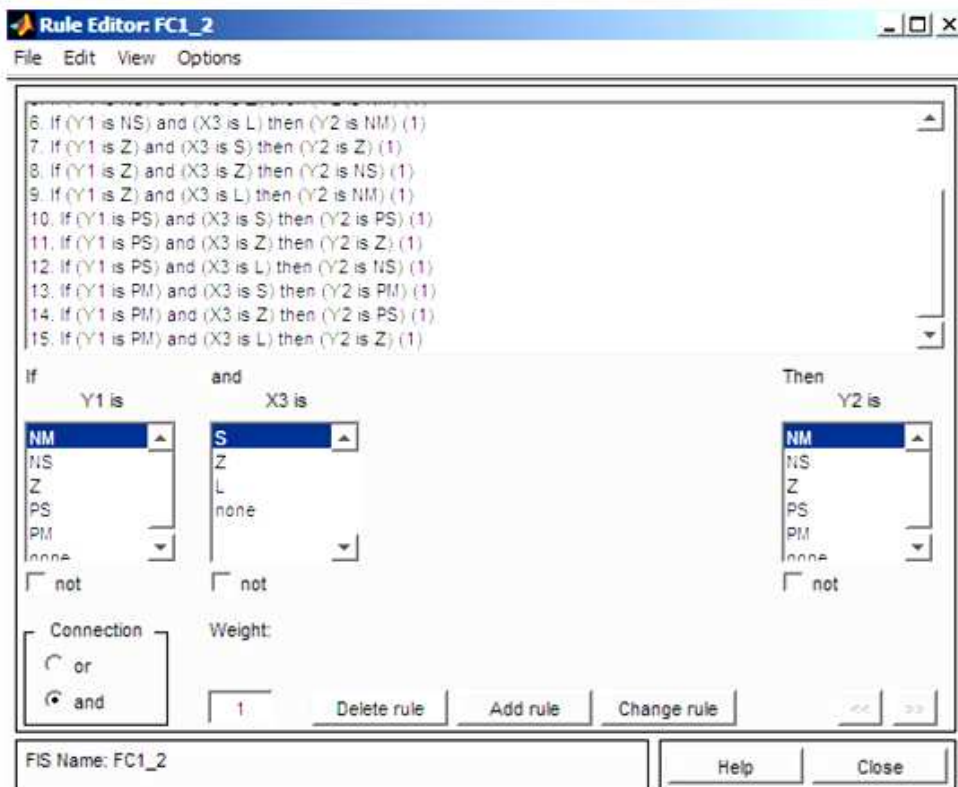
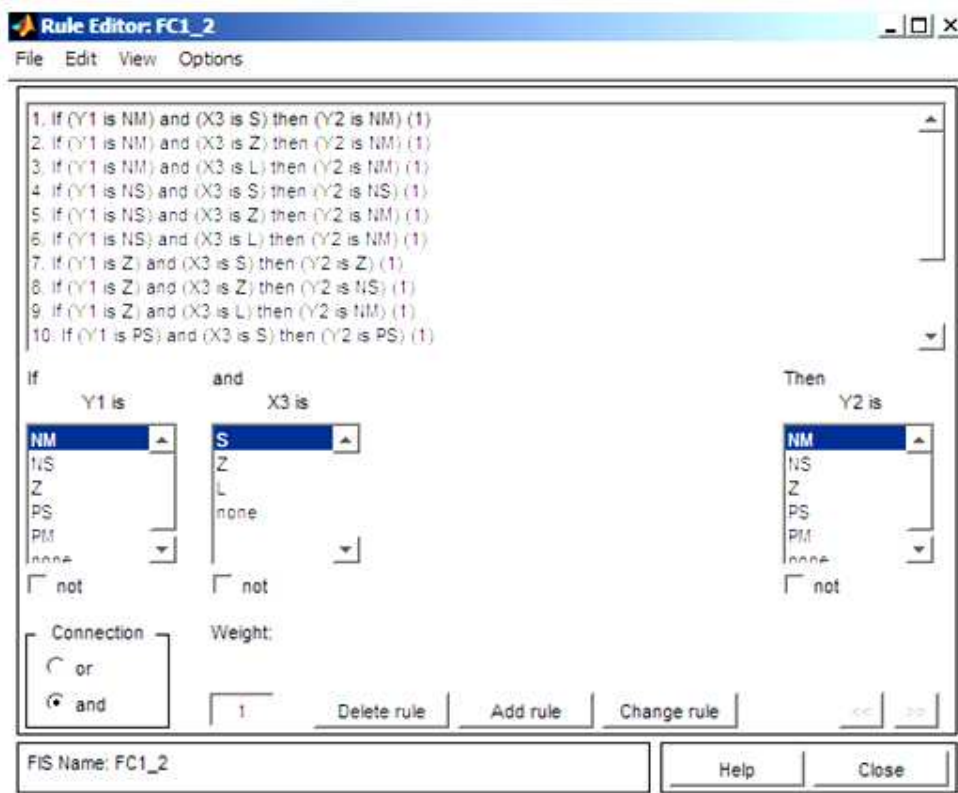


Рисунок 12 – Графічний інтерфейс редактора правил після завдання бази правил Rule Editor нечіткого виводу контролера FC1_2

Для загального аналізу розробленої Fuzzy-моделі розглянемо поверхні нечіткого виводу (рис. 14).

Для повноти уявлення про дану поверхню виводу на рис. 15 наведені графіки з іншими позначеннями осей X3, Y2

Далі розглянемо задачу формування бази знань для контролера FC.1_3. Графічний інтерфейс редактора FIS після визначення входних Y2, X4 і вихідної Y3 змінних системи нечіткого виводу, що розробляється, наведено на рис. 16.

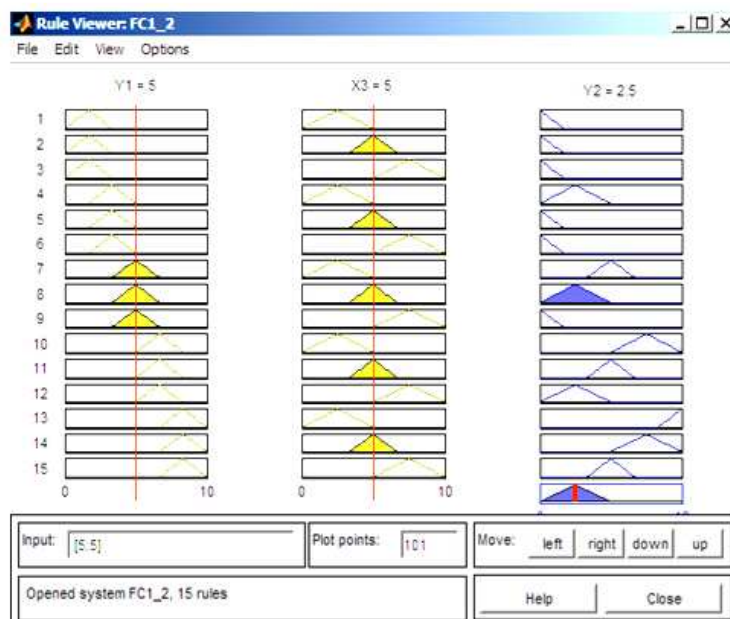


Рисунок 13 – Графічний інтерфейс програми перегляду правил після виконання процедури нечіткого виводу для значень вхідних змінних [5; 5]

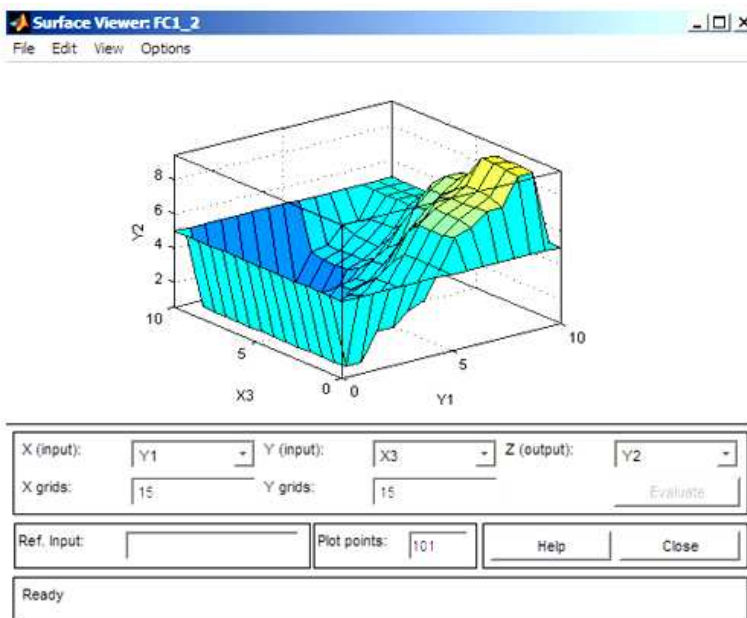


Рисунок 14 – Візуалізація поверхні нечіткого виводу для системи нечіткого виводу контролера FC1_2

Для визначення функцій належності термів для кожної із змінних Y_2 , X_4 , Y_3 системи нечіткого виводу, що розробляється, скористаємося редактором функцій належності системи Matlab – Membership Function Editor. Графічний інтерфейс редактора функцій належності при числових значеннях $[0;10]$ для вхідних змінних Y_2 , X_4 і вихідної змінної Y_3 наведено на рис. 17.

Тепер задамо 15 правил для системи нечіткого виводу контролера FC1_3, що розробляється. Для цього скористаємося редактором правил системи Matlab-Rule Editor. Графічний інтерфейс редактора правил після задання бази правил нечіткого виводу контролера FC1_3 зображений на рис. 18.

Тепер оцінимо побудовану систему нечіткого виводу для Fuzzy-контролера FC1.3, який є останнім у структурі каскадного Fuzzy-контролера і характеризує результат роботи усього каскадного контролера. Для цього відкриваємо програму перегляду правил системи Matlab Rule Viewer і вводимо числові значення вхідних змінних $Y_2 = 5$; $X_4 = 5$. Процедура, що виконана системою Matlab для розробленої нечіткої моделі, видає у результаті значення вихідної змінної $Y_3 = 5$ (рис. 19).

Для аналізу розробленої Fuzzy-моделі каскадного контролера з чотирма вхідними змінними X_1 , X_2 , X_3 , X_4 розглянемо поверхні нечіткого виводу (рис. 20).

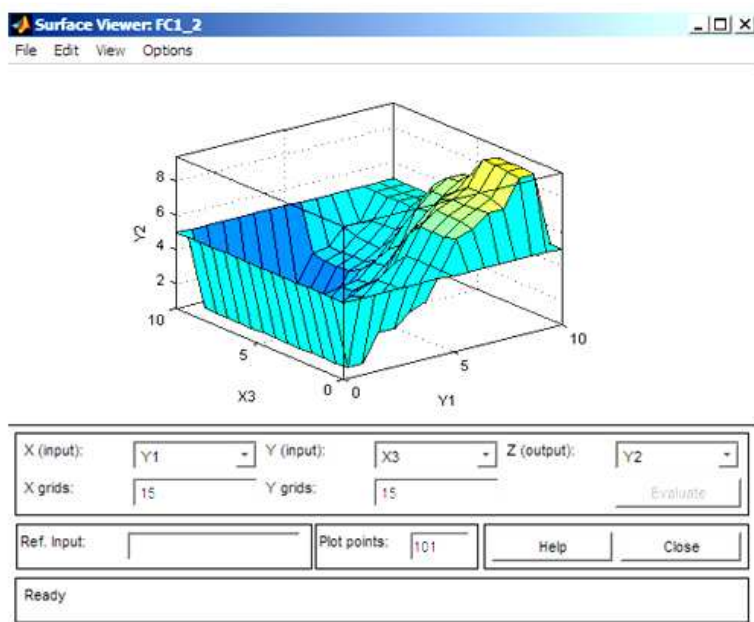


Рисунок 15 – Візуалізація поверхні нечіткого виводу для системи нечіткого виводу контролера FC1_2 з іншими позначенням осей X3, Y2

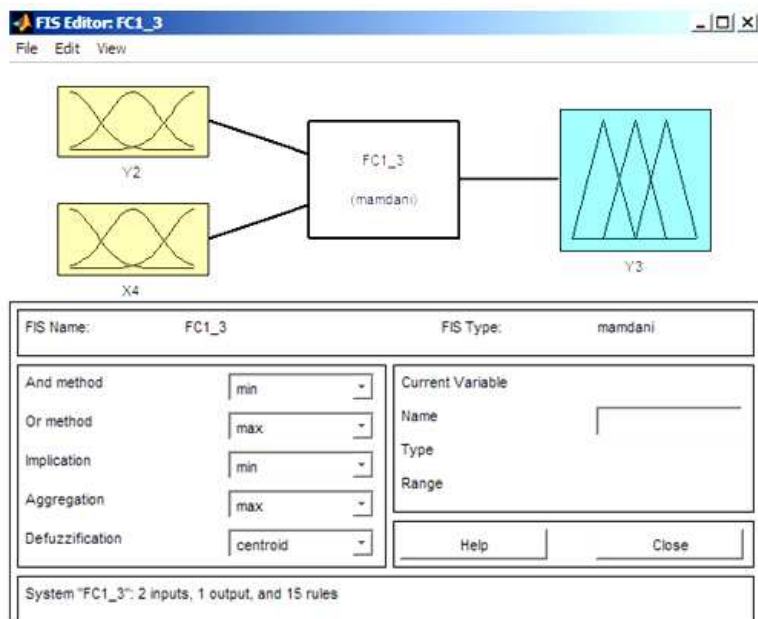


Рисунок 16 – Графічний інтерфейс редактора FIS після визначення входних і вихідних змінних Fuzzy-контролера FC1_3

Часові графіки значень лінгвістичних змінних системи нечіткого виводу каскадного Fuzzy-контролера можна переглянути за допомогою графічного вікна перегляду часових графіків значень лінгвістичних змінних нечіткого виводу (Time Plot Window). Це вікно може бути відкрито лише в інтерактивному режимі відладки проекту каскадного контролера за допомогою операції головного меню Analyzer>New Time Plot. Після виконання даної операції виникає пусте графічне вікно, яке після виконання певних налаштувань і виконання серії змін значень входних лінгвістичних відображає часові графіки відповідних значень цих лінгвістичних змінних (рис. 21).

Висновки

На основі аналізу літературних даних і вимог міжнародного стандарту визначено основні складові структури проекту фазі-системи керування і компоненти фазі-контролера.

Сформовано структуру багатовимірною фазі-контролера і базу правил Мамдані-типу, що дозволяє використати їх як елемент системи підтримки процесів прийняття рішень в інтелектуальних системах управління бурінням свердловин.

Здійснено моделювання каскадного фазі-контролера в середовищі Matlab, що дозволило сформувати базу правил, створити графічний

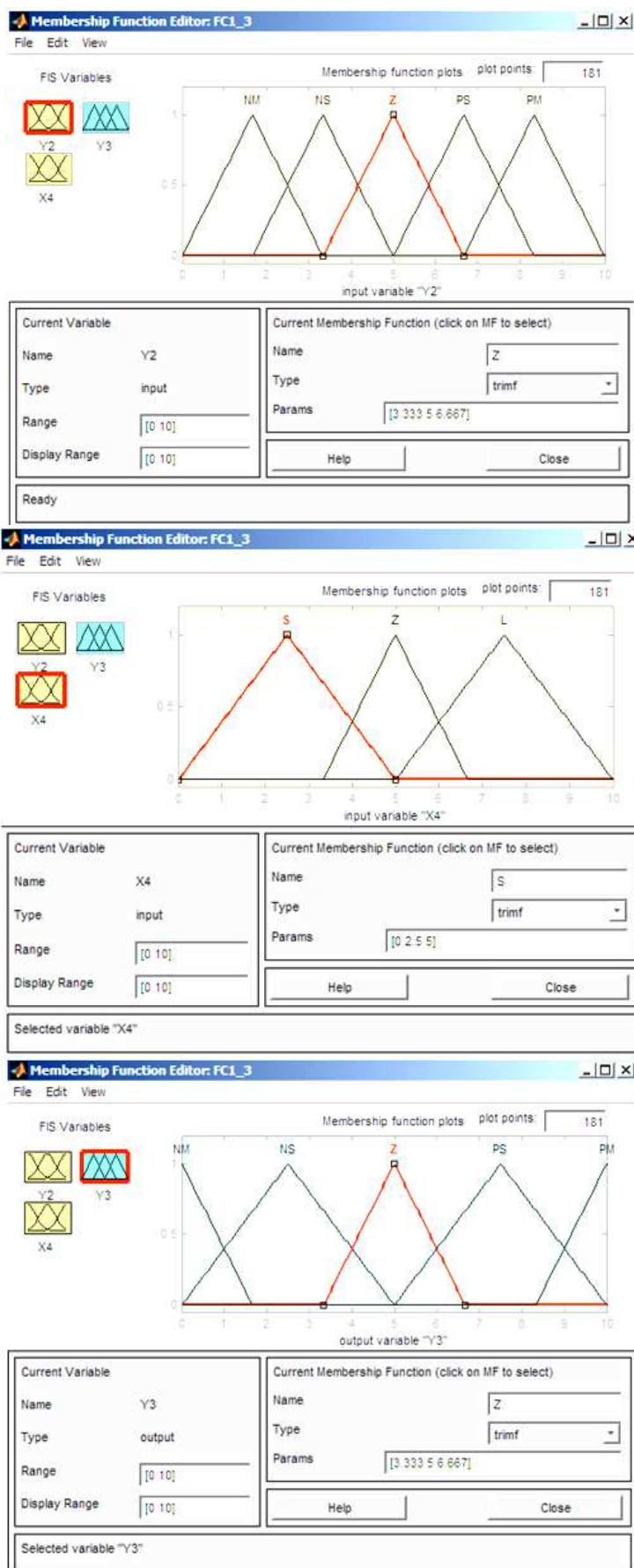


Рисунок 17 – Графічний інтерфейс редактора функцій належності при числових значеннях [0;10] для входних змінних Y2, X4 і вихідної змінної Y3

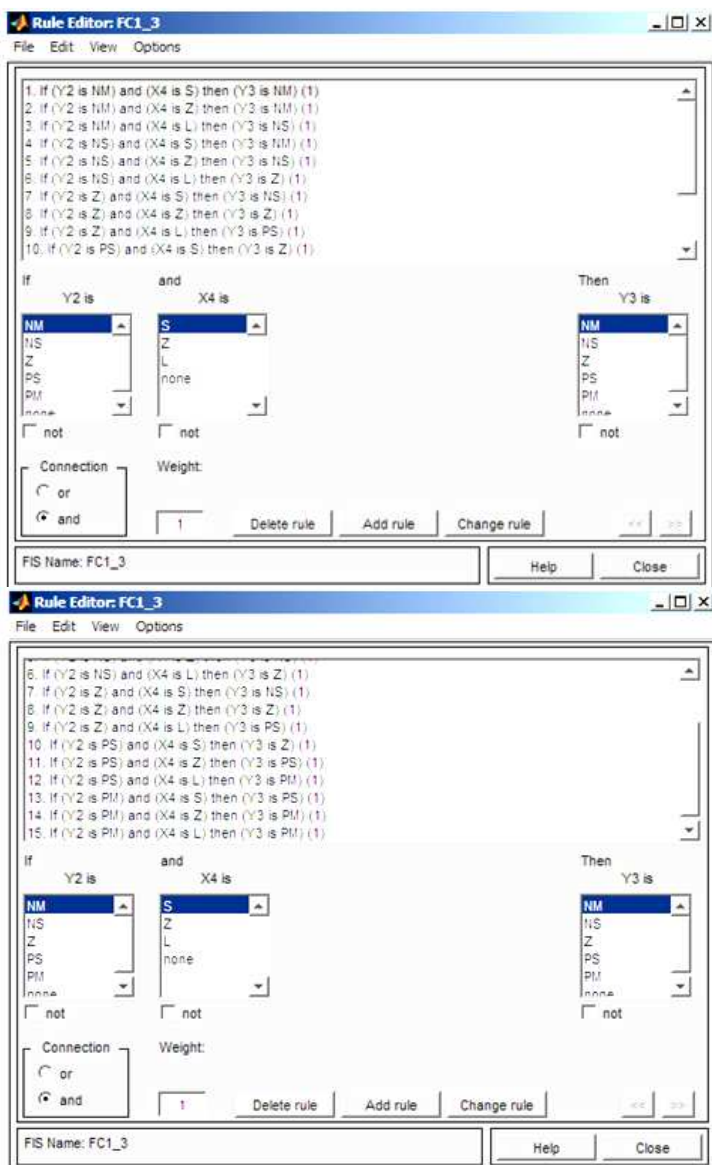


Рисунок 18 – Графічний інтерфейс редактора правил Fuzzy-контролера FC1_3

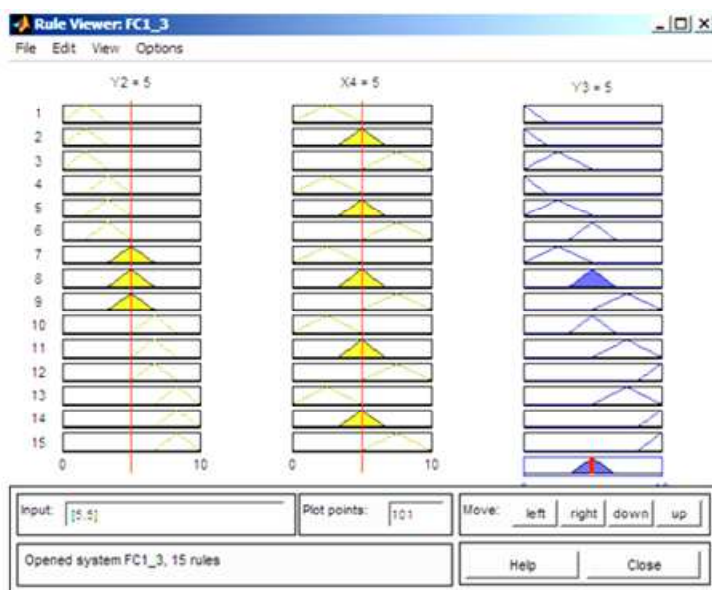


Рисунок 19 – Графічний інтерфейс редактора правил після задання бази правил нечіткого виводу FC1_3

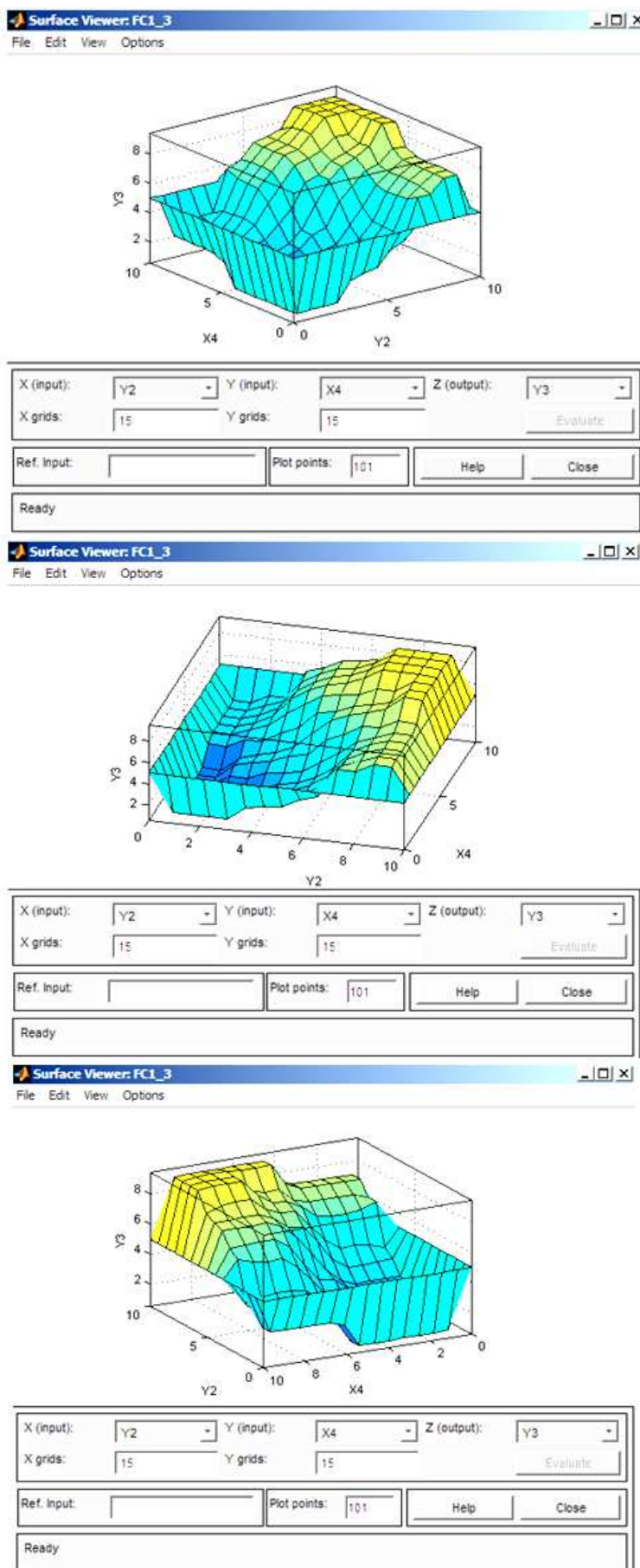


Рисунок 20 – Візуалізація поверхні нечіткого виводу для системи нечіткого виводу каскадного Fuzzy-контролера



Рисунок 21 – Графічне вікно перегляду часових графіків значень лінгвістичних змінних системи нечіткого виводу (каскадного Fuzzy-контролера)

інтерфейс програми перегляду правил після виконання процедури нечіткого виводу для певних значень вхідних змінних, забезпечити візуалізацію поверхні нечіткого виводу для каскадного Fuzzy-контролера.

Література

1. CEI/IEC 61131-7:2000 Informationfl standard Part 7: Fuzzy Control programming. – 113 p.
2. Bartos F.I. Control engineering / F.I. Bartos. – Режим доступу <http://asutp.ru/?p=600157>.
3. Nowicki R. A Hierarchical Fuzzy System with Fuzzy international Variables / R. Nowicki, R. Seherer // Proceedings 9th Zittau Fuzzy Colloquium 2001, September 17-19, 2001 – p. 88-93.
4. Chaker N. Fuzzy Controller Structure Transformation / N. Chaker, M. Wagenknecht, R. Hampel // World Scientific, Proceedings of the 3th International FLINS Workshop Antwert, Belgium, September, 1988, p. 99-10.
5. Fukuda T., Hasegawa Y., Shimojima K, Structure Organization of Hierarchical Fuzzy Model using Genetic Algorithm, Japanese Journal of Fuzzy Theory and Systems 7 (1995)
6. Hoffman F., Pfister G., Automatic Design of Hierarchical Fuzzy Controllers Using Genetic Algorithms, 2nd European Congress on Intelligent Techniques and Soft - Computing (EUFIT-94) (1994), Aachen.
7. Hoffinan F., Pfister G., A New Learning Method for the Design of Hierarchical Fuzzy Controllers Using Messy Genetic Algorithms, Sixth International Fuzzy Systems Association World Congress (IFSA'95), vol.1 (1995), pp.249-252, Sao Paulo.
8. Maeda H., Yonekura H., Nobusada Y., Murakami S., Study on the Spread of Fuzziness in Multi-Stage Approximate Reasoning, Proceedings of IEEE Int. Confl on Fuzzy Systems – FUZZ-IEEE'95, Yokohama, Japan (1995), pp. 1455-1460.

9. Nowicki R., Scherer R., Hierarchical Fuzzy System With A New Approach To Transferring The Intermediate Variables, Proceedings of The 10th International – Conference on Systems Modelling Control SMC 2001, pp. 103-108.

10. Raju G.V.S., Zhou J., Kisner R.A., Hierarchical fuzzy control, in: Advances in Intelligent Control, Taylor & Francis Ltd, 1994, pp. 243-258.

11. Shimojima IC, Fukuda T., Hasegawa Y., Self-tuning fuzzy modelling with adaptive membership function, rules, and hierarchical structure based on genetic algorithm, Fuzzy Set and Systems, 71(1995), 295-309.

12. Wang L.-X., Analysis and Design of Hierarchical Fuzzy Systems, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol 7, no. 5, (1999), October

13. Wang L.-X., Universal approximation by hierarchical fuzzy systems, Fuzzy Sets and Systems 93 (1998), 223-230.

14. Duan J.-C., Chung F.-L., Cascading Fuzzy Neural Networks, Proceedings of 1999 IEEE international Fuzzy Systems Conference Proceedings. Seoul, Korea (1999), pp. 155-160.

15. Hampel R. Cascading of Multidimensional Fuzzy Controllers / R. Hampel, N. Chaker // Proceedings 5th Zittau Fuzzy-Colloquium 1997, p. 140-149.

16. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB fuzzyTECH / А. Леоненков. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
30.04.18

Рекомендована до друку
професором **Олійником А.П.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
д-ром техн. наук **Лопатиним В.В.**
(Інститут геотехнічної механіки НАН України
ім. М.С. Полякова, м. Дніпро)