

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП -04.00.00.000 ПЗ

група АКП -21-1

Олександр Довбняк

2025 рік

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Довбняк Олександр Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5:004.89

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Синтез каскадного fuzzy-контролера для моніторингу систем керування

(назва роботи)

об'єктами в умовах невизначеності

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

к.т.н.

О. В. Кучмистенко

(науковий ступінь,
вчене звання)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

к.т.н., доцент

(науковий ступінь,
вчене звання)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

О. І. Довбняк

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

к.т.н., доцент

(науковий ступінь,
вчене звання)

(підпис)

(дата)

М. В. Шавранський

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідуючий кафедри

к.т.н., доцент

(науковий ступінь,
вчене звання)

(підпис)

(дата)

А. І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТ

А.І. Лагойда.

«___» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Добвняку Олександрю Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Синтез каскадного fuzzy-контролера для моніторингу систем керування об'єктами в умовах невизначеності.**

керівник роботи Шавранський Михайло Васильович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвердені наказом закладу вищої освіти від «52/8» травень 2025 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: матеріали переддипломої практики, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Аналіз підходів до синтезу систем управління процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності. 2. Дослідження статичних та динамічних характеристик об'єкта управління. 3. Синтез каскадного fuzzy-контролера для задач виявлення відхилень технічного процесу від нормальних режимів функціонування. Висновки. Список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. БР.АКП-04.00.00.001 – Структурна схема процесу буріння свердловин.

2. БР.АКП-04.00.00.002 – Графіки стаціонарних залежності $x(t)$ і $y(t)$.

3. БР.АКП-04.00.00.003 – Гістограми густини відносних частот.

4. БР.АКП-04.00.00.004 – Структура каскадного ієрархічного Fuzzy-контролера.

5. БР.АКП-04.00.00.005 – Графічний інтерфейс редактора FIS для вхідної змінної

X1 і X2. 6. БР.АКП-04.00.00.006 – Графічний інтерфейс редактора правил Rule Editor

для нечіткого висновку Fuzzy-PI-Controller. 7. БР.АКП-04.00.00.007 – Візуалізація

поверхні нечіткого висновку для Fuzzy-PI-регулятора Surface Viewer.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз підходів до синтезу систем управління процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності	13.05.2025	
2	Дослідження статичних та динамічних характеристик об'єкта управління.	10.06.2025	
3	Синтез каскадного fuzzy-контролера для задач виявлення відхилень технічного процесу від нормальних режимів функціонування.	30.05.2025	
4	Висновки. Список літератури.	05.06.2025	
5	Оформлення бакалаврської роботи	13.06.2025	

Студент _____
(підпис)

О. І. Довбняк _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

М. В. Шавранський _____
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 71 сторінки, 52 рисунків, 1 таблиця, 12 джерел.

Тема: «Синтез каскадного fuzzy-контролера для моніторингу систем керування об'єктами в умовах невизначеності».

Об'єкт дослідження: є процеси функціонування цифрових пристроїв з нечіткою логікою для систем управління, що функціонують в умовах невизначеності.

Метою роботи є розвиток методу і засобів синтезу алгоритмів функціонування каскадних fuzzy-контролерів, що забезпечують підвищення ефективності системи управління в умовах невизначеності.

Методи дослідження. Проведені у роботі дослідження з синтезу каскадного fuzzy-контролера ґрунтуються на комплексному використанні методів теорії нечітких методів та нечіткої логіки; при синтезі fuzzy-контролера для управління нечіткими об'єктами та аналіз ефективності застосовані числові методи; при аналізі властивостей об'єкти управління використовують методи математичної статистики і кореляційного аналізу.

Результати бакалаврської роботи. Запропонований каскадний fuzzy-контролер може бути покладений в основу розробки швидкодіючих регуляторів з підвищеними метрологічними показниками при необхідності управління в реальному часі об'єктами, моделі та умови функціонування яких характеризуються власним ступенем невизначеності.

Ключові слова: об'єкт керування, буріння, ієрархічні нечіткі системи, нечітка логіка, fuzzy-контролер.

ANNOTATION

Bachelor's thesis contains: 71 pages, 52 figures, 1 tables, 12 sources.

Topic: "Synthesis of a cascade fuzzy controller for monitoring object control systems under conditions of uncertainty".

Object of research: there are processes of functioning of digital devices with fuzzy logic for control systems operating under conditions of uncertainty.

Purpose of the work is to develop a method and means of synthesizing algorithms for the functioning of cascade fuzzy controllers, which ensure increased efficiency of the control system under conditions of uncertainty.

Research methods. The research conducted in thesis on the synthesis of a cascade fuzzy controller is based on the integrated use of methods of the theory of fuzzy methods and fuzzy logic; numerical methods are used in the synthesis of a fuzzy controller for controlling fuzzy objects and in the analysis of efficiency; methods of mathematical statistics and correlation analysis are used in the analysis of the properties of control objects.

Results of the bachelor's thesis. The proposed cascade fuzzy controller can be used as a basis for the development of high-speed regulators with increased metrological indicators when it is necessary to control in real time objects, the models and operating conditions of which are characterized by their own degree of uncertainty.

Keywords: control object, drilling, hierarchical fuzzy systems, fuzzy logic, fuzzy controller.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....7

ВСТУП.....8

1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО СИНТЕЗУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ПРОЦЕСОМ ПОГЛИБЛЕННЯ СВЕРДЛОВИН В УМОВАХ

НЕВИЗНАЧЕНОСТІ10

1.1 Основні підходи до синтезу систем управління.....10

1.2 Поняття ієрархічні нечіткі системи11

1.3 Аналіз структур систем керування з fuzzy-контролерами.....14

Висновок до розділу.....16

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ

ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ17

2.1 Характеристика досліджуваного об'єкта.....17

2.2 Дослідження статистичних і динамічних властивостей об'єкта керування.....18

2.3 Обробка інформації, зібраної під час пасивного вимірювання.....21

Висновок до розділу41

					БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Довбняк О.І.			Синтез каскадного fuzzy-контролера для моніторингу систем керування об'єктами в умовах невизначеності	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Шавранський М.В.					6	71
Реценз.						ІФНТУНГ АКП-21-1		
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.						

3 СИНТЕЗ КАСКАДНОГО FUZZY-КОНТРОЛЕРА ДЛЯ ЗАДАЧ	
ВИЯВЛЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ ТЕХНІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІД	
НОРМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ.....	42
3.1 Мета і задачі синтезу Fuzzy-контролера	42
3.2. Синтез каскадного Fuzzy-контролера.....	43
3.3. Моделювання роботи Fuzzy-регулятора в середовищі MATLAB	52
3.4. Оптимізація параметрів цифрових Fuzzy-регуляторів.....	57
Висновки до розділу.....	61
ВИСНОВОК.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	63
БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА.....	65

					БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕС – експертні системи;

ГА – генетичні алгоритми;

НЛ – нечітка fuzzy логіка;

НР – нечіткий регулятор;

ПЛК - програмований логічний контролер;

ПД - пропорційно-інтегрально-диференціюючі;

СБО – системи без організації;

ФН – функція належності;

ШНМ – штучні нейронні мережі;

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ доквм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Актуальність теми бакалаврської роботи. Автоматичні системи управління, що побудовані на загальних методах Fuzzy Logic, успішно використовуються в багатьох галузях промисловості. Більшість з них використовують одностаїнсть міркування, тобто існують лише вхідні змінні, що подаються на вхід системи, а вихідні змінні є результатом процесу міркування. Вони охоче використовуються інженерами, оскільки експертні знання у вигляді нечітких правил з мовними термінами є зрозумілими та легко інтерпретуються. Найпопулярнішими з них є системи Mamdani s TSK, що послужили основою численних мережевих структур, розроблених таким чином. Такі нечіткі нейронні мережі мають здатність вчитися, завдяки їхній зв'язницькій архітектурі. Правила, форми функцій належності та їх позиції можна регулювати шляхом нагляду або без нагляду за навчанням. Але коли кількість вхідних змінних дуже велика, результуюча нечітка система надзвичайно складна. Коли весь вхідний простір повинен бути охоплений нечіткими правилами, кожна комбінація вхідних лінгвістичних термінів є нечіткими правилами. Давши n вхідних змінних та мовні терміни для кожного вводу, ми маємо m “можливих правил”. Це показує, що кількість нечітких правил збільшується експоненціально з кількістю входів. Це змушує багатовимірні системи мати величезну кількість регульованих параметрів. Вивчення таких систем є незручним через невизначеність, велику кількість локальних мінімумів, обчислювальних складностей та вимог до пам'яті.

Одним з можливих шляхів побудови високоефективних систем управління та систем підтримки прийняття рішень (СППР) з урахуванням умов невизначеності є застосування теорії нечіткої логіки та нечітких множин для синтезу алгоритмів їх функціонування. Математичний апарат складає основу синтезу базових елементів нечітких систем управління та СППР нечітких контролерів та блоків нечіткого логічного висновку (БНЛВ), що здатні

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

формувані управляючі та інформаційні сигнали на основі стратегій, заданої лінгвістичними базами правил. Цифрові нечіткі контролери та БНЛВ, як правило формуються на основі ієрархічних структур, кожен з ієрархічних рівнів яких складається з окремих елементів та пристроїв, призначених для перетворення та обробки нечітких сигналів. Розширення класу функціонуючих в умовах невизначеності об'єктів, для яких нечіткі контролери здатні ефективно розв'язувати задачі управління та прийняття рішень в реальному часі, вимагає покращених технічних характеристик, зокрема швидкодії та точності, їх основних компонентів цифрових пристроїв на нечіткій логіці.

Тему синтез каскадних Fuzzy-контролерів для задач управління і виявлення відхилень від нормальних режимів роботи є основною задачею.

					БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докв.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО СИНТЕЗУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПОГЛИБЛЕННЯ СВЕРДЛОВИН В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

1.1. Основні підходи до синтезу систем управління

Забезпечення ефективного та безпечного управління процесом поглиблення свердловин потребує створення адаптивних, надійних і гнучких систем, здатних функціонувати в умовах часткової або повної невизначеності. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває аналіз існуючих підходів до синтезу систем управління, які враховують специфіку бурового процесу, складність його моделювання та потребу в гнучкому реагуванні на змінні умови.

У сучасних умовах розробка ефективних систем управління ускладнюється впливом різних типів невизначеностей, які можуть бути спричинені як внутрішніми, так і зовнішніми чинниками. До таких чинників належать: варіативність параметрів об'єкта, зовнішні збурення, обмежена або неточна інформація, складність динаміки процесів тощо. У зв'язку з цим важливим напрямом досліджень є створення методів синтезу елементів і пристроїв систем керування, здатних забезпечити надійне функціонування в умовах часткової або повної невизначеності.

Сучасні підходи до синтезу елементів систем керування в умовах невизначеності можна поділити на декілька груп:

1. Робастне управління.

Цей підхід передбачає створення таких систем, які залишаються стабільними та ефективними навіть за змін параметрів об'єкта в певних межах. Основними методами є H_∞ -синтез, μ -аналіз, методи лінеаризованих моделей.

2. Адаптивне управління

Системи цього типу здатні самостійно підлаштовувати свої параметри залежно від змін умов функціонування. До таких підходів належать методи

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

ідентифікації, МРАС (Model Reference Adaptive Systems), самоналагоджувальні регулятори.

3. Байєсівські та нечіткі системи

Ці системи використовують імовірнісну або лінгвістичну інформацію для врахування невизначеності. Зокрема, нечітка логіка дозволяє описувати невизначені параметри у вигляді нечітких множин, що особливо корисно у випадках відсутності чіткої математичної моделі.

Останнім часом значного поширення набули методи, що базуються на машинному навчанні, нейронних мережах та гібридних системах. Ці підходи дозволяють ефективно аналізувати складні нелінійні об'єкти в умовах високої невизначеності без необхідності точного моделювання.

1.2. Поняття ієрархічні нечіткі системи

Ієрархічні нечіткі системи — це тип нечітких систем керування, в яких структура системи має кілька рівнів або шарів, де кожен рівень відповідає за обробку певної частини інформації. Такий підхід дозволяє зменшити складність керування та підвищити гнучкість і масштабованість системи. У звичайній (плоскій) нечіткій системі всі входи обробляються одночасно однією базою правил. У ієрархічній системі входи поділяються між кількома підсистемами, кожна з яких приймає рішення на основі часткових даних. Потім виходи цих підсистем передаються на вищий рівень для остаточного прийняття рішення [3,4].

Ієрархічні нечіткі системи використовують багатоступеневий висновок нечіткої логіки, і тому пов'язані три види мовної змінної, а саме: вхідні, проміжні та вихідні змінні. Такі міркування подібні до людського мислення. Ми виберемо найважливіші вхідні змінні, які слід розмістити на першому етапі, а наступні важливі – на наступних послідовних етапах. Поняття ієрархічні нечіткі системи вперше були введені Раю та співавт. в 1994 році, як рішення прокляття

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Авк.
						11
Змн.	Авк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

розмірності. Система складалася з кількох низькомірних нечітких систем, пов'язаних ієрархічно. На кожному етапі існувала лише одна система. Було доведено, що загальна кількість нечітких правил мінімальна, коли кожен етап має лише два входи.

З структурної точки зору ієрархічні системи можна розділити на три рівня (рис. 1.1) [3]. У агрегованих ієрархічних нечітких системах найнижчий рівень служить введенням всієї структури. Виходи цього першого рівня пов'язані з входами другого етапу і так до самого високого рівня, виходи якого стають виходами всієї структури. Оскільки ця структура є комбінацією кількох однофазних нечітких систем, кількість правил менша, ніж в одностадійних системах.

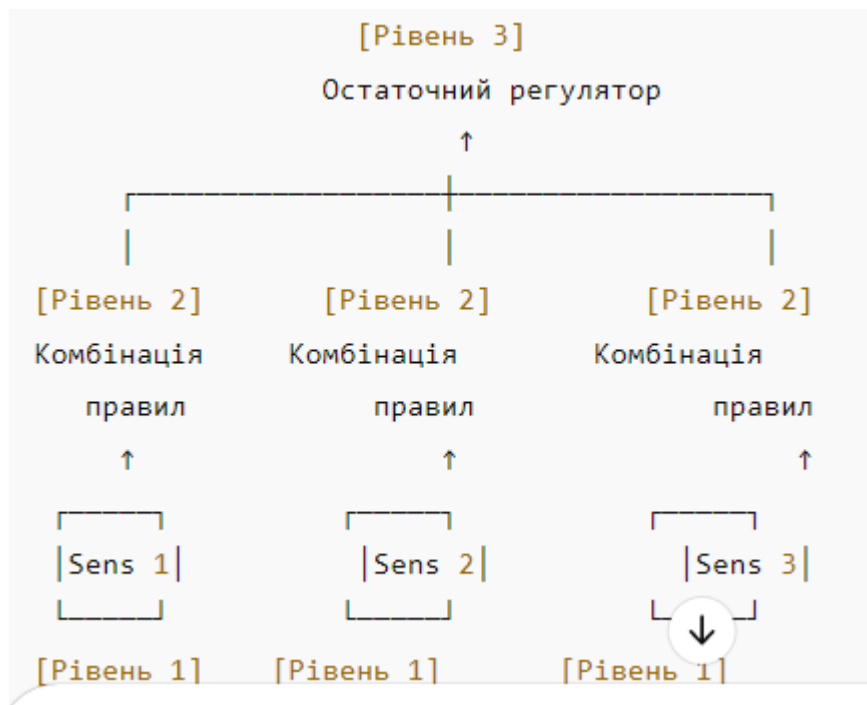


Рисунок 1.1 – Структурна схема 3-рівневу ієрархічну нечітку систему:

У послідовній ієрархічній нечіткій системі виводи підсистем з попереднього етапу також подаються на одну з вхідних підсистем наступного етапу, але на кожному етапі існує лише одна підсистема. Підсистеми мають один із своїх вхідних сигналів, підключених до виходу попереднього етапу, а

Іншою середою застосування fuzzy-контролерів є вимагання знань про процес та лінгвістичного управління безпосередньо в систему автоматизації. Це стосується багатьох таких логічних процесів, де втручання оператора було б необхідним (рис. 1.7).

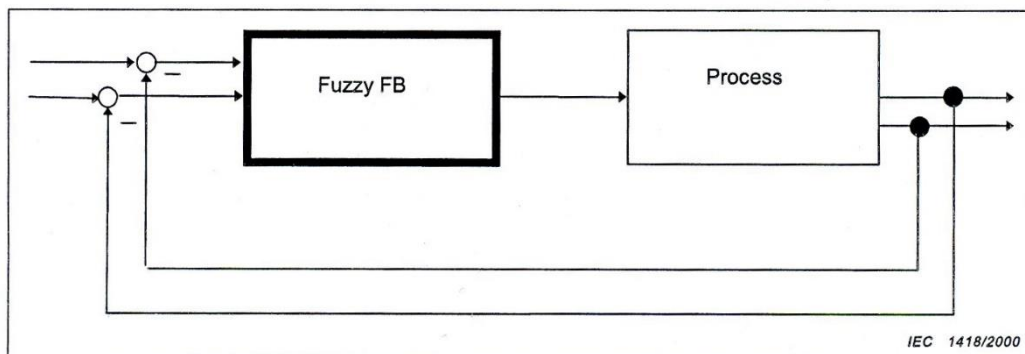


Рисунок 1.7 – Приклад прямого нечіткого керування

Висновок до розділу

Аналіз підходів до синтезу систем управління процесом поглиблення свердловин засвідчив, що класичні методи хоча й прості у впровадженні, не завжди забезпечують достатню ефективність у реальних умовах. Вони демонструють значно кращу здатність до роботи в умовах невизначеності, проте потребують більш складної реалізації та обробки даних.

					БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

2.1 Характеристика досліджуваного процесу

Досліджується технологічний процес поглиблення свердловини. Він є нелінійним стохастично-хаотичним процесом, який здійснюється за умов апіорної та поточної невизначеності і перебуває під впливом різного типу адитивних і мультиплікативних завад. Головними збурювальними впливами, що діють на керований об'єкт, є фізико-механічні і абразивні властивості гірських порід [4,5,6,11].

Розглядатимемо сукупність «долото – порода» як єдиний об'єкт контролю (рис. 2.1), стан якого характеризується параметрами стану долота $\bar{Z}^T(t) = [\mu(t), g(t)]$, де t – поточний час основного періоду роботи долота; $\mu(t), g(t)$ – оцінки зносу озброєння і опор долота, а також оцінкою f міцності гірських порід [6].

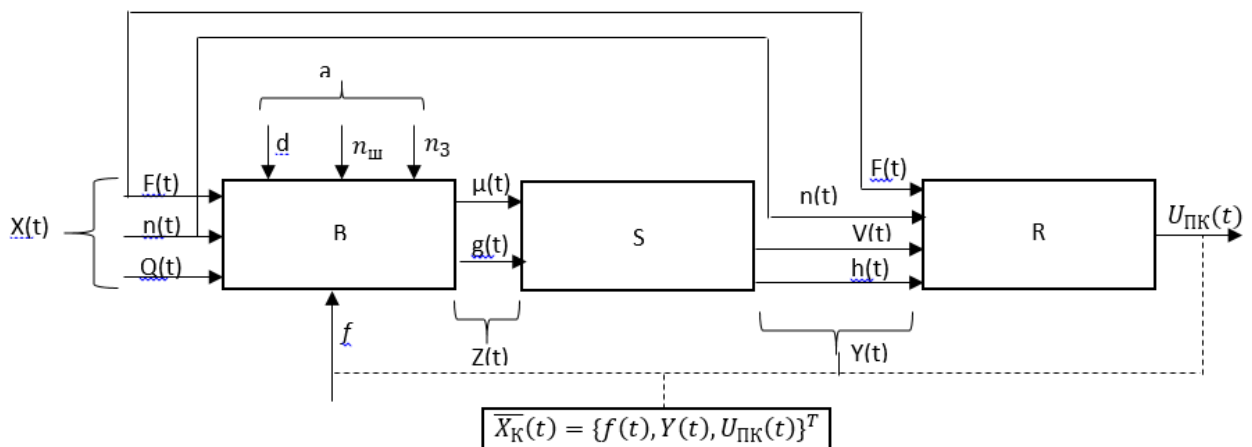


Рисунок 2.1 – Структурна схема процесу буріння свердловин в просторових координатах: $\bar{X}_k(t)$ – контрольовані параметри [6]

З множини зовнішніх впливів, які діють на досліджуваний об'єкт, вибрані лише ті, що суттєво впливають на ефективність руйнування породи: вхідні керувальні дії і апріорні відомі параметри долота $(a^T)^- = [d, n_{ш}, n_3]$:

$$\bar{X}^T(t) = [f(t), n(t), Q(t)] \quad (2.1)$$

де f -осьова сила на долото; n -швидкість обертання долота; $Q(t)$ -витрата промивного розчину; d -діаметр долота; $n_{ш}$ - кількість шарошок; n_3 - кількість зубців на шарошках.

Параметри стану долота $Z(t)$ пов'язані з вхідними керувальними діями $X(t)$, параметри долота \bar{a} , і буримістю порід f залежністю $Z_i(t) = B_i[\bar{X}(t), a_i, f]$, $i=1, 2, \dots, k$, де i -кількість доліт.

Вплив стану об'єкта на показники процесу буріння запропоновано характеризувати значеннями його вихідних величин \bar{Y}^T , проходки долота $h(t)$ і механічної швидкості буріння $V(t)$, тобто $\bar{Y}^T(t) = [h(t), V(t)]$. Кожне з вихідних величин визначається через параметри стану $Z(t)$ своєю функціональною залежністю $Y_j = S_j[\bar{Z}(t)]$, $j = 1, 2$. Параметри контролю визначаються через вхідні і вихідні величини об'єкта $U_{пк}^{(t)} = R_t(\bar{X}(t), \bar{U}(t))$, $= 1, \dots, 4$.

В процесі буріння нафтових і газових свердловин цей показник називають часом T , що витрачається на буріння 1 м. породи. Враховуючи важливість цього показника для управління процесом буріння і обмеженість в області зміни в газі параметрів режиму буріння ($F = V_{ш}, Q = \text{cous } t, n = \text{cous } t$) досліджуватимемо статичні характеристики двох процесів $F(t)$ і $T(t)$, за результатами експериментальних даних. Для цього приймемо, що $F(t)=x(t)$, а $T(t)=y(t)$.

2.2 Дослідження статичних і динамічних властивостей об'єкта керування

При дослідженні практично всіх систем, явищ і процесів у різних областях науки і техніки кінцева мета в тій чи іншій мірі полягає у визначенні яких-небудь

					БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ	Док.
						18
Змн.	Док.	№ доквм.	Підпис	Дата		

ймовірнісних характеристик. Точність, надійність, ймовірність виконання визначеної задачі й інші ймовірнісні характеристики є важливими показниками якості різноманітних систем.

Для визначення ймовірнісних характеристик. При теоретичних дослідженнях створюється математичний опис системи, що називається математичною моделлю системи. Далі визначаються ймовірнісні характеристики цієї моделі. У залежності від її складності можуть застосовуватися різні методи.

Аналітичні методи дуже різноманітні та у значній мірі залежать від досліджуваної моделі системи. Різноманітність цих методів викликана, з одного боку, бажанням одержати рішення аналітичним шляхом, оскільки таке рішення, як правило, дає більш широке представлення про залежність ймовірнісних характеристик від параметрів і умов, і, з іншого боку, математичними труднощами одержання рішень, що у окремих випадках вирішуються своїм шляхом.

Визначення ймовірнісних характеристик методом статистичних досліджень може проводитися як для математичної моделі системи, так і для самої системи за результатами експериментів. Ймовірнісні характеристики, отримані при даному методі, звичайно називають статистичними. З викладеного випливає, що в результаті теоретичних досліджень можуть бути знайдені: методом статистичних випробовувань, статистичні значення ймовірнісних характеристик моделі системи та аналітичним шляхом ймовірнісні характеристики спрощеної моделі системи.

Об'єкт керування типу SI-SO зображений на рис. 2.2 [9].

Користуючись результатами пасивного експерименту, що наведені у таблиці 2.1

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Авк.
						19
Змн.	Авк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

№ п/п	t	x(t)	y(t)
16.	17	113	3531.25
17.	18	114	3562.5
18.	19	115	3593.75
19.	20	112.5	3515.625
20.	21	113.5	3546.875
21.	22	116	3625
22.	23	116.5	3640.625
23.	24	115	3593.75

2.3 Обробка інформації, зібраної під час пасивного вимірювання

Під кореляцією розуміється взаємозв'язок деяких величин, представлених даними - векторами або матрицями. Загально прийнятою мірою лінійної кореляції є коефіцієнт кореляції. Його близькість до одиниці вказує на високу ступінь ідентичності зіставляються залежностей [6,7].

Функція $S = \text{corrcoef}(x, y)$ програмного продукту Matlab дозволяє обчислити коефіцієнти кореляції для досліджуваного масиву даних $x(t)$, $y(t)$ [10].

В програмному продукту Matlab потрібно задати значення $x(t) \rightarrow x$ та $y(t) \rightarrow y$.

$x = [113 \ 115 \ 115 \ 116 \ 114.5 \ 113 \ 114 \ 117 \ 116.5 \ 115 \ 113 \ 115 \ 115 \ 114 \ 113 \ 116 \ 113 \ 114 \ 115 \ 112.5 \ 113.5 \ 116 \ 116.5 \ 115];$

$y = [3531.25 \ 3593.75 \ 3593.75 \ 3625 \ 3578.125 \ 3531.25 \ 3562.5 \ 3656.25 \ 3640.625 \ 3593.75 \ 3531.25 \ 3593.75 \ 3593.75 \ 3562.5 \ 3531.25 \ 3625 \ 3531.25 \ 3562.5 \ 3593.75 \ 3515.625 \ 3546.875 \ 3625 \ 3640.625 \ 3593.75];$

					БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

У результаті виконання функції $S=corrcoef(x,y)$ отримано такі результати:

1 1
1 1

Для побудови графіка регресії (рис. 2.2) в програмному продукті matlab потрібно виконати функцію $plot(x,y,'o')$;

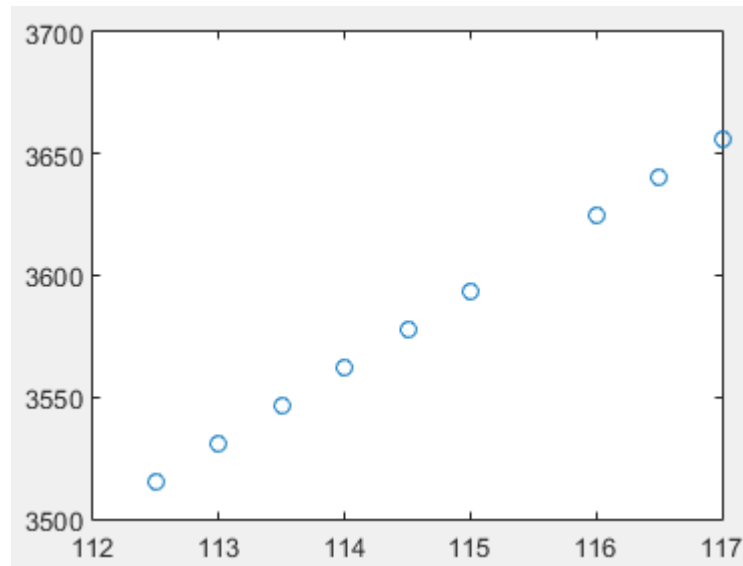


Рисунок 2.3 – Графік регресії

Виконавши команду $Tools \rightarrow Basic Fiting$, можна отримати вікно регресії рис. 2.3. В результаті вибору різних регресій отримано результати наведені на рис.2.5. Для визначення довірчих інтервалів доцільно скористатись програмним продуктом Matlab, а саме елементом Curve Fitting Toolbox [10].

					БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

$$p2 = 1.864e-11 \ (-2.715e-11, 6.444e-11)$$

$$p3 = 31.25 \ (31.25, 31.25)$$

$$p4 = 8.294e-08 \ (-1.181e-07, 2.839e-07)$$

Для моделі 4 th degree:

$$f(x) = p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = -3.939e-14 \ (-1.374e-13, 5.861e-14)$$

$$p2 = 1.807e-11 \ (-2.692e-11, 6.305e-11)$$

$$p3 = -3.108e-09 \ (-1.085e-08, 4.635e-09)$$

$$p4 = 31.25 \ (31.25, 31.25)$$

$$p5 = -6.809e-06 \ (-2.38e-05, 1.018e-05)$$

Проаналізувавши залежності, зображені на рис. 3 та з урахуванням результатів наведених нище можна зробити висновок про адекватність отриманих моделей, що пояснюється невеликим відхиленням експериментальних даних.

Для моделі linear

Goodness of fit:

$$SSE: 1.812e-22$$

$$R\text{-square: } 1$$

$$\text{Adjusted R-square: } 1$$

$$RMSE: 2.87e-12$$

Для моделі quadratic:

Goodness of fit:

$$SSE: 7.858e-24$$

$$R\text{-square: } 1$$

$$\text{Adjusted R-square: } 1$$

$$RMSE: 6.117e-13$$

Для моделі cubic:

Goodness of fit:

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

SSE: 5.583e-24

R-square: 1

Adjusted R-square: 1

RMSE: 5.284e-13

Для моделі 4 th degree:

Goodness of fit:

SSE: 5.583e-24

R-square: 1

Adjusted R-square: 1

RMSE: 5.421e-13

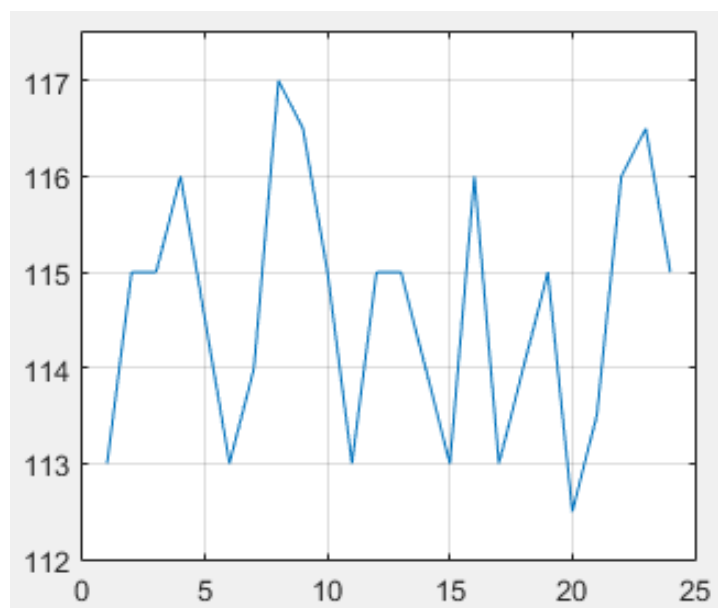
Для виявлення ділянки стаціонарності процесу здійснимо побудову залежності $x(t)$ (рис. 2.6).

```
x=[113 115 115 116 114.5 113 114 117 116.5 115 113 115 115 114 113 116 113  
114 115 112.5 113.5 116 116.5 115];
```

```
t=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24];
```

```
plot(t,x),grid
```

```
ylim([112 117.5])
```



Рисуно 2.6 – Графік залежності $x(t)$

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Процес є стаціонарним у діапазоні наведеному на рис. 2.7.

```
x=[115 113 115 115 114 113 116 113 114 115];
```

```
t=[10 11 12 13 14 15 16 17 18 19];
```

```
plot(t,x),grid
```

```
ylim([112 117.5])
```

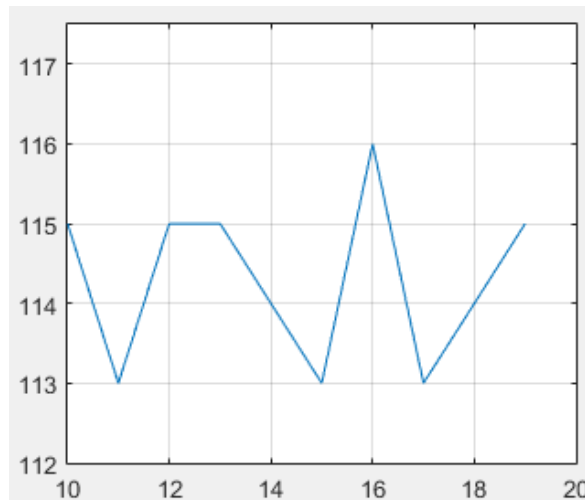


Рисунок 2.7 – Графік стаціонарної залежності $x(t)$

Аналогічні операції здійснимо з залежністю $y(t)$ (рис. 2.8).

```
y=[3531.25 3593.75 3593.75 3625 3578.125 3531.25 3562.5 3656.25 3640.625  
3593.75 3531.25 3593.75 3593.75 3562.5 3531.25 3625 3531.25 3562.5 3593.75  
3515.625 3546.875 3625 3640.625 3593.75];
```

```
t=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24];
```

```
plot(t,y),grid
```

```
ylim([3500 3680])
```

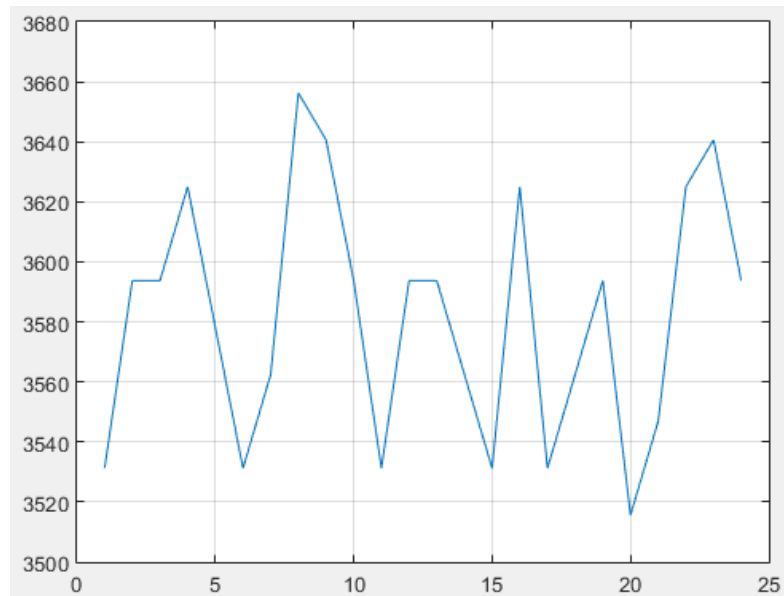


Рисунок 2.8 –Графік залежності $y(t)$

Процес є стаціонарним у діапазоні наведеному на рис. 2.9.

$y=[3593.75 \ 3531.25 \ 3593.75 \ 3593.75 \ 3562.5 \ 3531.25 \ 3625 \ 3531.25 \ 3562.5$
 $3593.75];$

$t=[10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 15 \ 16 \ 17 \ 18 \ 19];$

$plot(t,y),grid$

$ylim([3500 \ 3680])$

Однією з важливих характеристик розподілу випадкової величини є її математичне сподівання (іноді його називають середнє значення випадкової величини). Оцінка математичного сподіванням випадкової функції – це середньо-арифметичне значення нескінченної кількості реалізацій; це така не випадкова функція, навколо якої групуються всі реалізації даного випадкового процесу і яка повністю визначається одномірним законом розподілу:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i .$$

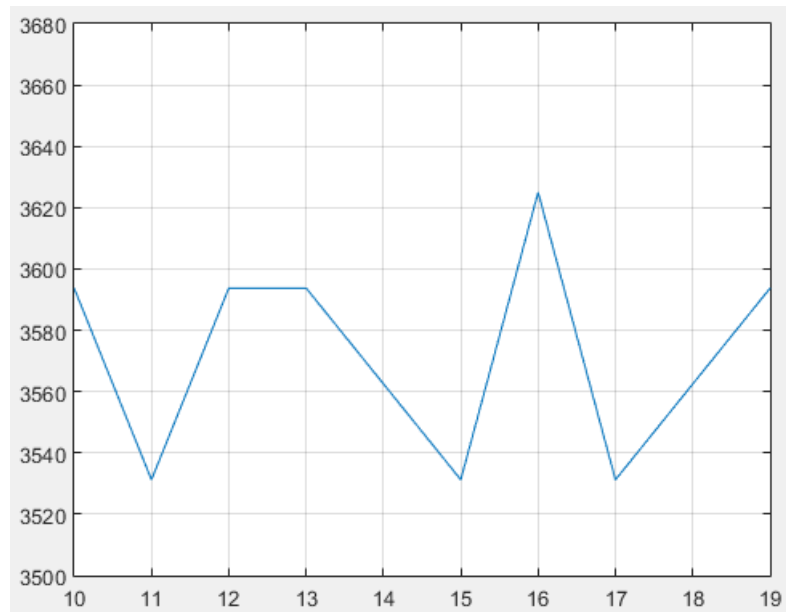


Рисунок 2.9 – Графік стаціонарної залежності $y(t)$

Результати обчислень для залежностей $x(t)$ та $y(t)$:

```
>> M=mean(x)
```

M =

114.3000

```
>> M=mean(y)
```

M =

3.5719e+03

Далі визначимо дисперсію випадкової функції. Це не випадкова і невід’ємна функція D , що представляє собою середнє значення квадрату різниці між випадковою функцією і її середнім значенням, або ж середнє значення квадрату відхилення випадкової функції від її середнього значення. Вона характеризує інтенсивність відхилень відносно середнього значення і також визначається одномірним законом розподілу.

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (N_i - M)^2 .$$

Результати обчислень для залежностей $x(t)$ та $y(t)$:

```
>> D=var(x)
```

D =

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

1.1222

```
>> D=var(y)
```

D =

1.0959e+03

Для визначення закону розподілу поділимо вибірку на інтервали та визначимо їх абсолютні та відносні частоти. Впорядковуємо досліджувану вибірку в порядку зростання. Для цього застосуємо наступні функції пакету Matlab:

```
x=sort(P(:));  
dlist={'Extreme Value'; 'Exponential'; 'Gamma'; 'Lognormal'; 'Normal';  
'Rayleigh'; 'Uniform'};  
dlistr={'гамбеловський'; 'експоненціальний'; 'гамма –'; 'логнормальний';  
'нормальний'; 'рэлеєвський'; 'рівномірний'};  
dparname={{'mu' 'sigma'};{'mu'};{'a' 'b'};{'mu' 'sigma'};{'mu'  
'sigma'};{'b'};{'a' 'b'};{'a' 'b'}};  
ndist=length(dlist);  
for idist=1:ndist,  
    phatone=mle(x,'distribution',dlist{idist});  
    phat{idist}=phatone;  
end  
qq=[];  
for idist=1:ndist,  
    phatone=phat{idist};  
    com=['cdf(' dlist{idist} ',x'];  
    for ipar=1:length(phatone),  
        com=[com ', sprintf('%d',phatone(ipar))];  
    end  
    com=[com ')'];  
    Fx=eval(com);
```

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

```

[hkolm,pkolm,kskolm,cvkolm]=kstest(x,[x Fx],0.1,0);
qq=[qq pkolm];
end
[maxqq,bdist]=max(qq);
fprintf(['Критерій Пірсона:\n','Краще всього підходить %s
розподіл;\n"Критичний рівень значущості для нього = %8.5f\n'],
dlistr{bdist},maxqq);

```

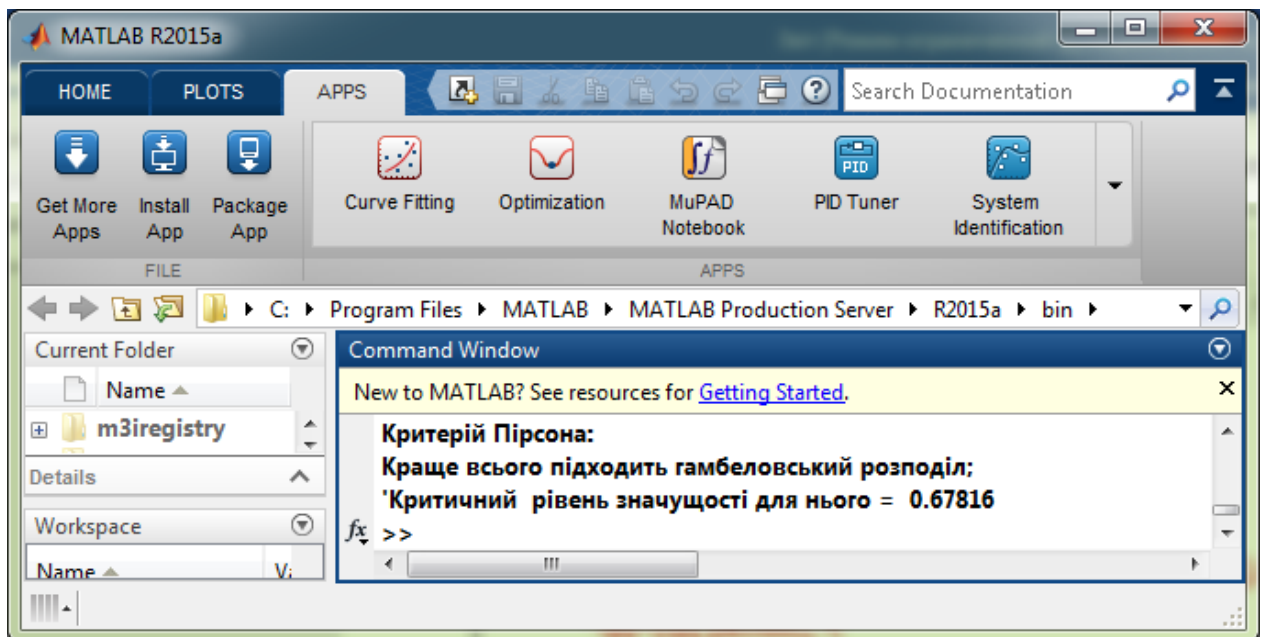


Рисунок 2.10. Вікно вибору закон розподілу [9]

За отриманими даними, пишемо програму для побудови гістограми густини відносних частот та нанесеного на неї закону розподілу. Програма матиме такий вигляд:

```

n=length(x);
k=round(n^0.5)-1;
[Fi,xi]=ecdf(x);
figure
ecdfhist(Fi,xi,k),grid
del=(max(x)-min(x))/20;

```

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Адк.
						31
Змн.	Адк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

```

xl=min(x)-del;
xr=max(x)+del;
xpl=linspace(xl,xr,1000);
hold on
for kdist=bdist:bdist
phatone=phat{kdist};
com=['pdf('' dlist{kdist} '',xpl)];
    for ipar=1:length(phatone),
        com=[com ',' sprintf('%d',phatone(ipar))];
    end
com=[com ')'];
ypl=eval(com);
plot(xpl,ypl,'k-')
[ym,iym]=max(ypl);
h=text(xpl(iym),ym,dlist{kdist});
set(h,'FontName','Times New Roman Cyr','FontSize',10)
end
hold off
set(gcf,'CurrentAxes'),'FontName','Times New Roman Cyr','FontSize',10)
xlim([xl xr]);
title('Гістограма') % заголовок
xlabel('\itl_{j}') % мітка осі x
ylabel('\itn_{j}') % мітка осі y

```

За допомогою додатка FIS Editor в середовищі Matlab вибираємо підходящу функцію належності з переліку типових. За попередніми підрахунками для експериментальної величини найбільш підходящою є гаусова функція належності, яка зображена на рис. 2.12 [10].

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Враховуюючи значення заданого діапазону, значення отриманого в процесі роботи закону розподілу, а також значення розмаху експериментальної величини, яке було визначене дослідно було вибрано гаусову функцію належності. Тоді кількість термів, яка потрібна для фаззифікації технологічних параметрів експериментальної величини, може бути визначена за формулою [6]:

$$m_i = 2 \cdot \left(\frac{\bar{x}_i - x_i}{R_i} \right) + 1,$$

де $\bar{x}_i = 116.1$; $x_i = 112.9$; $R_i = 116.1 - 112.9 = 3.2$.

Підставивши отримані під час дослідження значення в формулу, отримуємо кількість термів для експериментальної величини:

$$m_i = 2 \cdot \left(\frac{116 - 113}{3.2} \right) + 1 = 2.875 \approx 3.$$

Аналогічні дії здійснимо з залежністю $y(t)$.

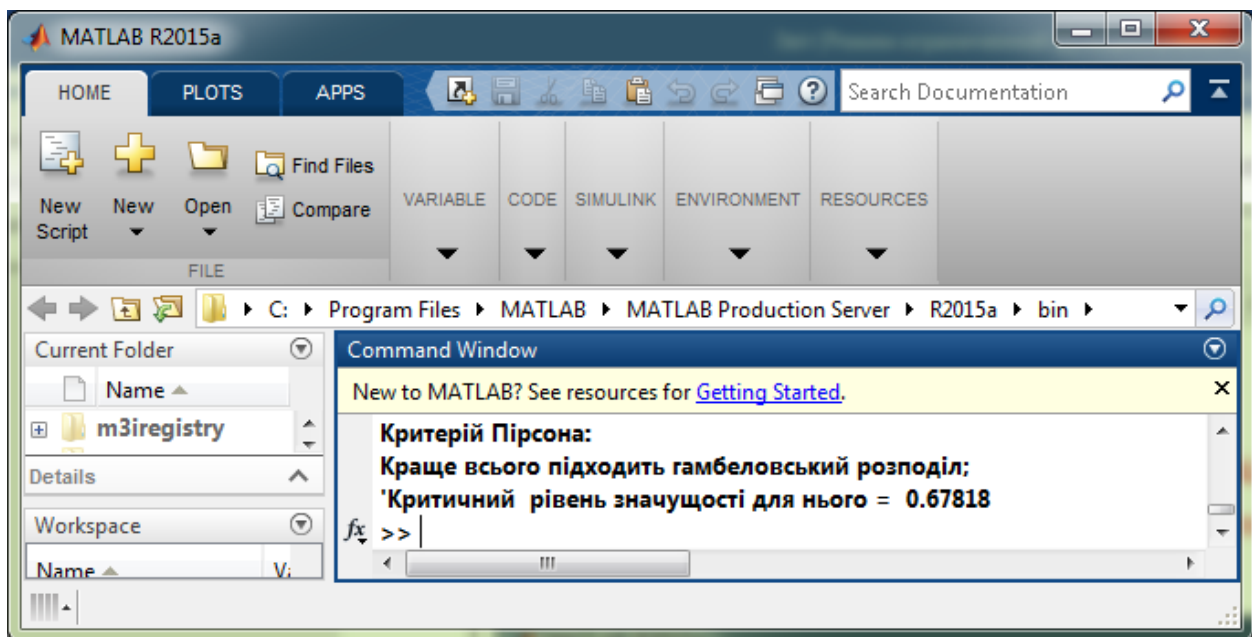


Рис. 2.13. Вікно вибору закон розподілу

За допомогою додатка FIS Editor в середовищі Matlab вибираємо потрібну функцію належності з переліку типових. За попередніми підрахунками для експериментальної величини найбільш підходящою є гаусова функція

належності, яка зображена на рис. 2.15.

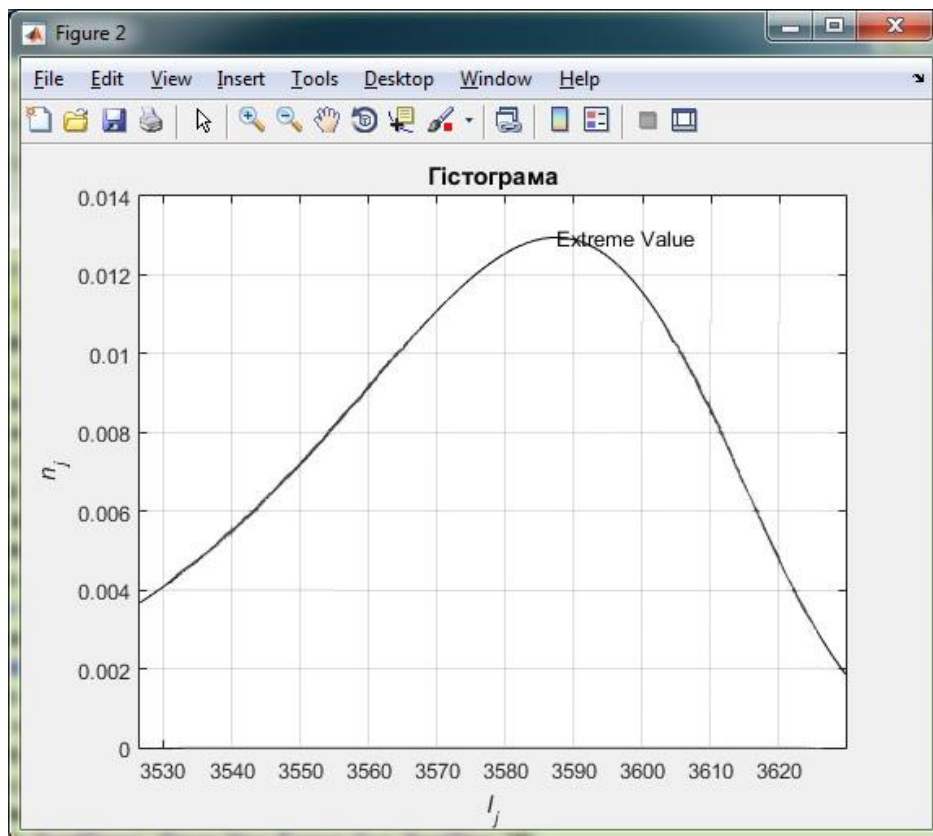


Рис. 2.14. Результат виконання програми в Matlab (гаусова функція належності)

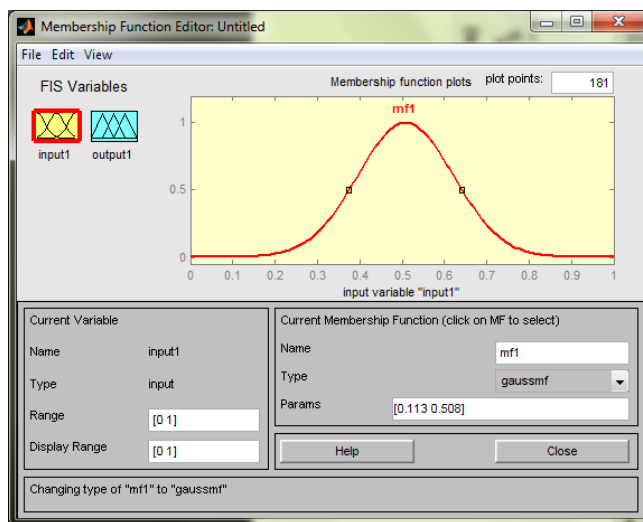


Рис. 2.15. Графічний інтерфейс Membership Function Editor: Untitled

Враховуючи значення заданого діапазону, значення отриманого в процесі роботи закону розподілу, а також значення розмаху експериментальної

						БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк. 35
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ доквм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			

величини, яке було визначене дослідно було вибрано гаусову функцію належності. Тоді кількість термів, яка потрібна для фазифікації технологічних параметрів експериментальної величини, може бути визначена за формулою:

$$m_i = 2 \cdot \left(\frac{\bar{x}_i - x_i}{R_i} \right) + 1,$$

де $\bar{x}_i = 3630$; $x_i = 3525$; $R_i = 3630 - 3525 = 105$.

Підставивши отримані під час дослідження значення в формулу, отримуємо кількість термів для експериментальної величини [9]:

$$m_i = 2 \cdot \left(\frac{3625 - 3531}{105} \right) + 1 = 2.79 \approx 3.$$

Для випадкової функції одномірний розподіл ймовірності і отримані на основні його характеристики, такі як оцінка математичного сподівання та дисперсія, ще не є достатніми для оцінки характеру протікання випадкового процесу в часі. Необхідно ще встановити зв'язок між значеннями випадкового процесу в різні моменти часу. Це можна зробити за допомогою двомірної функції розподілу. Інтенсивність зміни випадкового сигналу в часі можна охарактеризувати за допомогою однієї з функцій - автокореляційної функції або функції спектральної густини. Математичне сподівання похідних значень центрованої випадкової функції, взятих при двох моментах часу t_1 та t_2 називають автокореляційною функцією [12]. Вона визначається за формулою:

$$R_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t-\tau)dt,$$

де τ - кореляційний зсув.

Іншими словами, автокореляція - це кореляція ряду з самим собою, з затримкою на τ спостережень. Величину τ називають лагом. Якщо ж реалізація являє собою сукупність дискретних значень сигналу, отриманих через рівні проміжки Δt , то інтеграл наближено заміняють сумою:

$$R_x(\tau) = R(k\Delta t) \approx \frac{1}{n-k} \sum_{i=0}^{n-k} x^0(i\Delta t)x^0(i\Delta t + k\Delta t).$$

де $x^0(t) = x(t) - m_x$ - центровані значення.

					БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

В результаті апроксимації рівнянням автокореляційної функції є:

$$y(t) = 12,07e^{-1.407t} \cdot \cos(1,229t).$$

При статистичному аналізі стаціонарних випадкових функцій зручно користуватись спектральною густиною випадкової функції.

Спектральна густина є додатною функцією у всьому діапазоні частот від 0 до ∞ . Вона не містить відомостей про фази окремих гармонійних складових. За допомогою приведеної формули можна визначити спектральну густина по заданій аналітично автокореляційній функції $R(\tau)$.

Визначимо спектральну густина, використовуючи програму Matlab.

```
>> z=abs(fft(x));
```

```
plot(z),grid
```

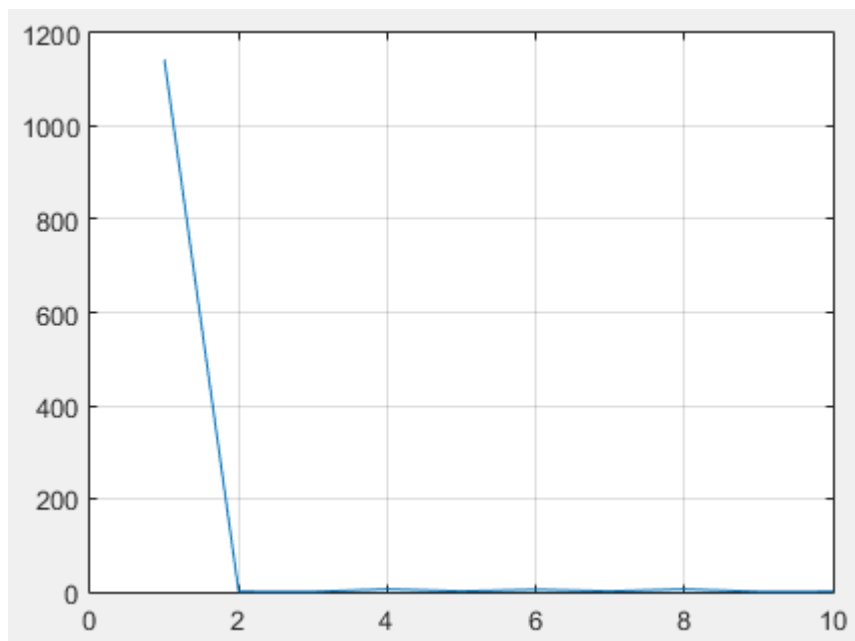


Рисунок 2.20 – Графік спектральної густини

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

3 СИНТЕЗ КАСКАДНОГО FUZZY-КОНТРОЛЕРА ДЛЯ ЗАДАЧ ВИЯВЛЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ ТЕХНІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІД НОРМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ

3.1 Мета і задачі синтезу Fuzzy-контролера

Метою синтезу Fuzzy-контролера є створення ефективної системи управління або діагностики, здатної в умовах невизначеності та нечітко визначених параметрів своєчасно виявляти відхилення технічного процесу від нормальних режимів роботи та приймати коригувальні рішення. Такий підхід дозволяє підвищити адаптивність і надійність керування складними технологічними об'єктами [4,5,8].

Досягнення вказаної мети вирішуватимемо шляхом розв'язання таких взаємопов'язаних задач:

- розробка структури багатовимірною каскадного Fuzzy-контролера;
- моделювання Fuzzy-контролера в середовищі Matlab.

Розглянемо задачу формування бази значень на основі алгоритму Мамдані для виявлення такого відхилення технологічного процесу поглиблення свердловини як звуження стовбура свердловини.

Цей вид ускладнень може бути виявлений за такими ознаками, як збільшення моменту на роторі в процесі поглиблення свердловини, збільшенням тиску бурового розтину на вході в свердловину, зменшеному механічній швидкості буріння, збільшується витрати часу на буріння 1 м. порід свердловини.

Оскільки кількість ознак цього циклу менше 4, то обираємо кількість вхідних змінних для Fuzzy-контролера 4. Вихідною змінною системи нечіткого виводу є одна (рис. 3.1)

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ доквм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Як вхідні лінгвістичні змінні використовуватимемо множини: NM-негативне мінімальне, NS-негативне мале, Z-нульове, PS-позитивне мале, PM-позитивне максимальне.

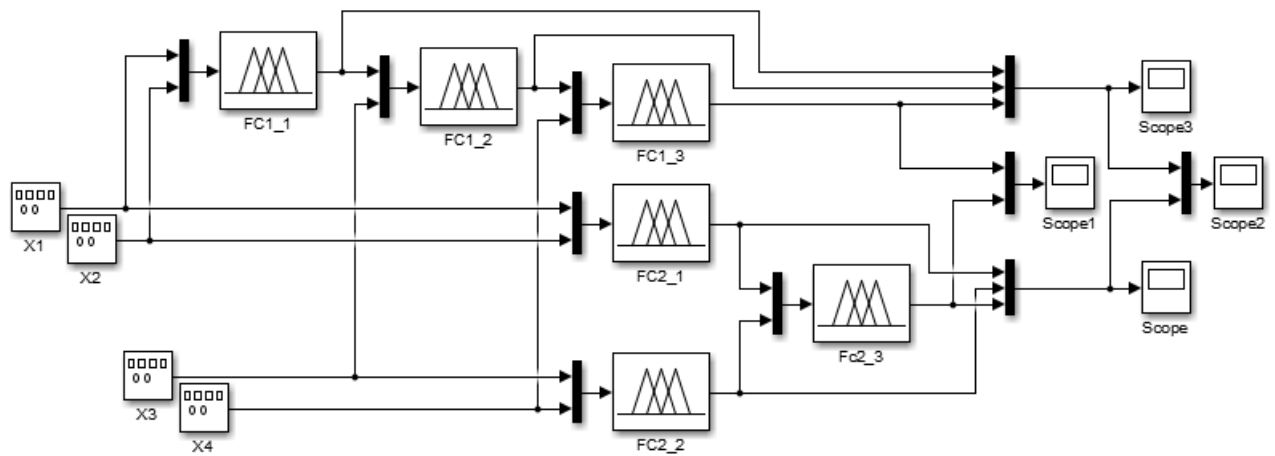


Рисунок 3.1 – Структура каскадного ієрархічного Fuzzy-контролера [5]

3.2 Синтез каскадного Fuzzy-контролера

У сучасних промислових системах каскадне керування широко застосовується для таких об'єктів, як теплообмінники, компресорні установки, багатоступеневі технологічні процеси з істотно різними часовими характеристиками. Поєднання каскадної архітектури з нечіткою логікою (Fuzzy Logic) дозволяє додатково враховувати нечіткість інформації, експертні правила і нечітко визначені закономірності, що особливо важливо для складних, слабоформалізованих систем.

Синтез каскадного нечіткого контролера передбачає побудову окремих нечітких підсистем (контурів), кожна з яких виконує функцію адаптивного регулятора з використанням бази знань у вигляді нечітких правил типу «якщо-то».

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Авк.
						43
Змн.	Авк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Синтез функцій належності – визначення параметрів нечітких множин для вхідних та вихідних змінних контролера. Терм-множини у символічному вигляді запишемо так [4, 5]:

$$\begin{aligned} X1 &= \{NM, NS, Z, PS, PM\}; & X2 &= \{NM, NS, Z, PS, PM\} \\ Y1 &= \{NM, NS, Z, PS, PM\}; & X3 &= \{S, Z, L\} \\ Y2 &= \{NM, NS, Z, PS, PM\}; & X4 &= \{S, Z, L\} \\ Y3 &= \{NM, NS, Z, PS, PM\}; \end{aligned}$$

де S-мале, L-невисоке.

Графічний інтерфейс редактора

FIS Editor: Untitled та FC1_1 після визначення вхідних і вихідних змінних систем нечіткого виводу, що синтезується наведено на рис. 3.2 (а,б,в).

Нема потреби змінювати і інші параметри нечіткої Fuzzy-моделі, що запропоновані системою Matlab по замовчуванню.

min – для нечіткого логічного «І»,

max – для нечіткого логічного «АБО»,

а також методи імплікації (min), агрегування (max) і дефазікації (centroid).

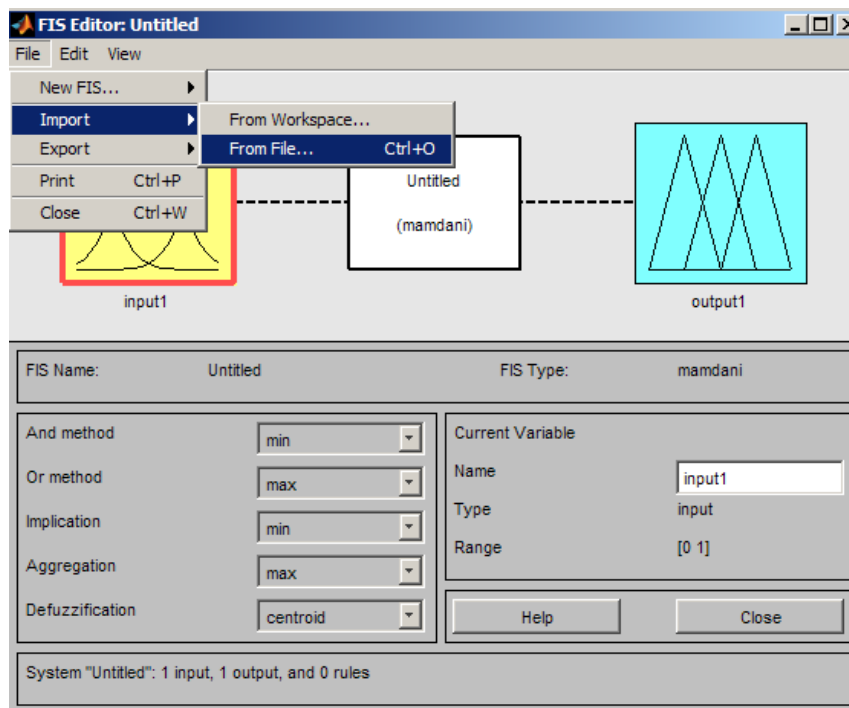


Рисунок 3.2(а) – Графічний інтерфейс редактора FIS Editor: Untitled після визначення вхідних і вихідних змінних для систем нечіткого виводу

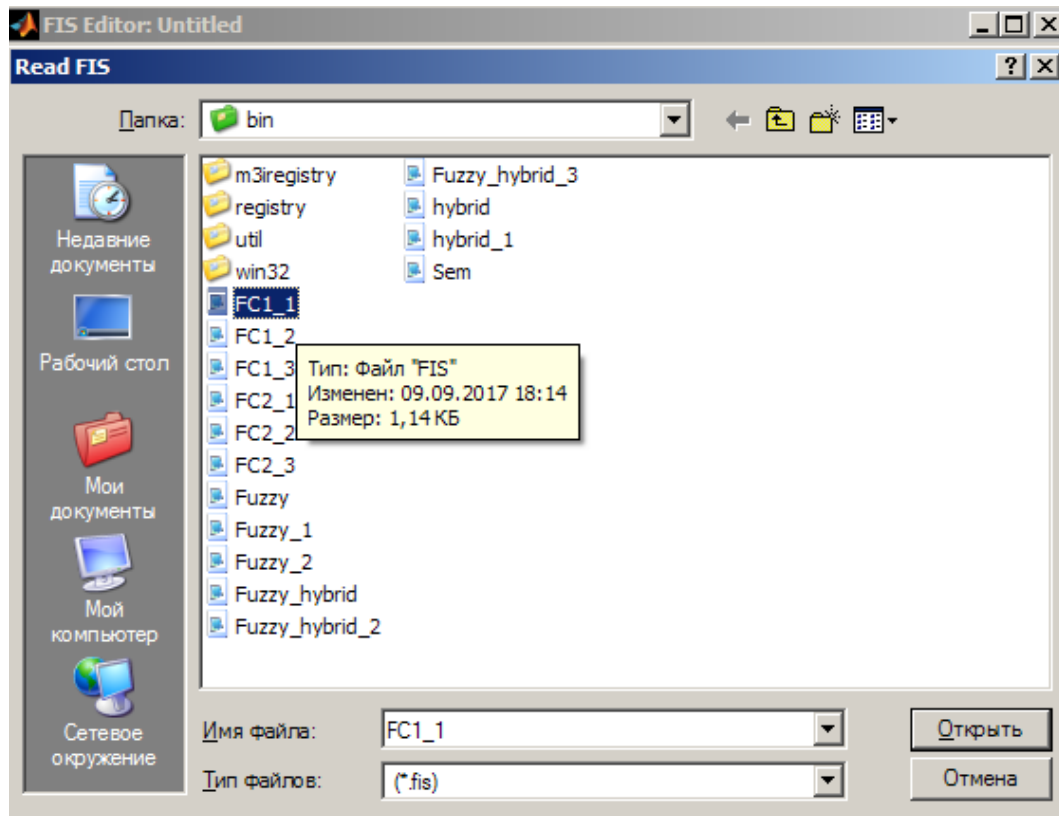


Рисунок 3.2(б) – Графічний інтерфейс Read FIS

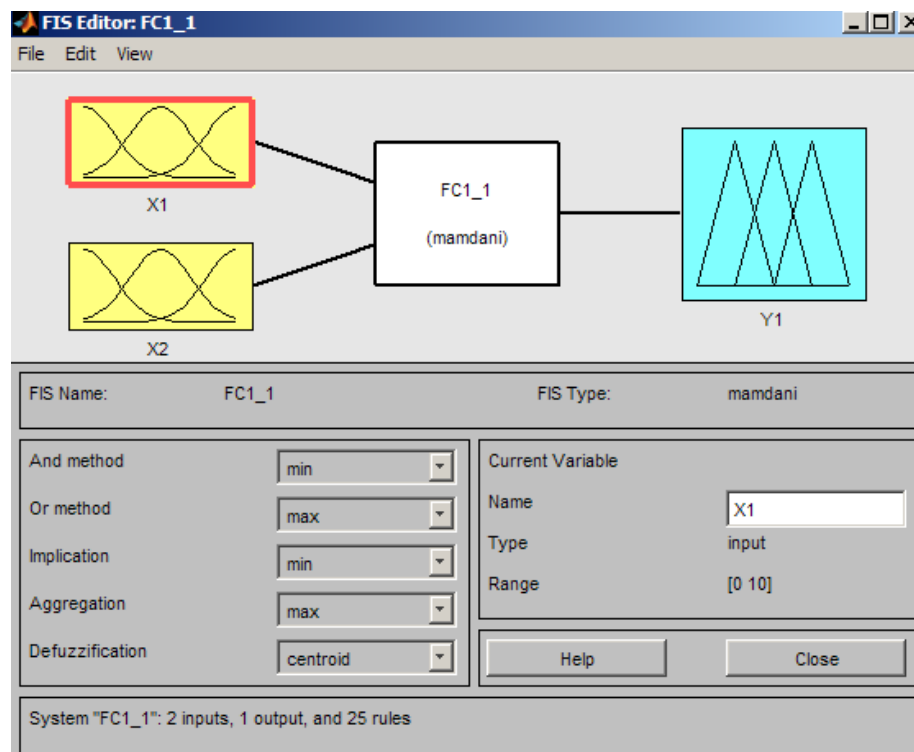


Рисунок 3.2(в) – Графічний інтерфейс редактора FIS Editor: FC1_1 після визначення входних і вихідних змінних для систем нечіткого виводу

Далі визначаємо функції належності термів для кожної із змінних X_1, X_2, Y_1 системи нечіткого виводу. Для цього скористаємося редактором функції належності системи Matlab. Вигляд граничного інтерфейсу редактора функції належності при числових значень $[0,10]$ для вхідних змінних X_1 та X_2 та вихідної змінної Y_1 наведений на рис. 3.3 (а,б,в). Оскільки 2 вхідні змінні носять по 5 термів, заведемо $5*5=25$ правил для систем нечіткого виводу. Для цього скористаємося редактором правил Rule Edition системи Matlab. Графічний інтерфейс редактора правил після завдання 25 правил типу

If(X_1 is NS) and (X_2 is PM) then (Y_1 is PS), зображено на рис. 3.4 (а,б,в).

Тепер оцінімо побудовану систему нечіткого вибору для Fuzzy-контролера FC1_1. Для цього відкриваємо програму перегляду систем Matlab і вводимо значення вхідних змінних $X_1=5, X_2=5$. Процедура що виконана системою Matlab при розробленні Fuzzy – моделі, видає в результаті значення вхідної змінної $Y_1=5$ (рис 3.5).

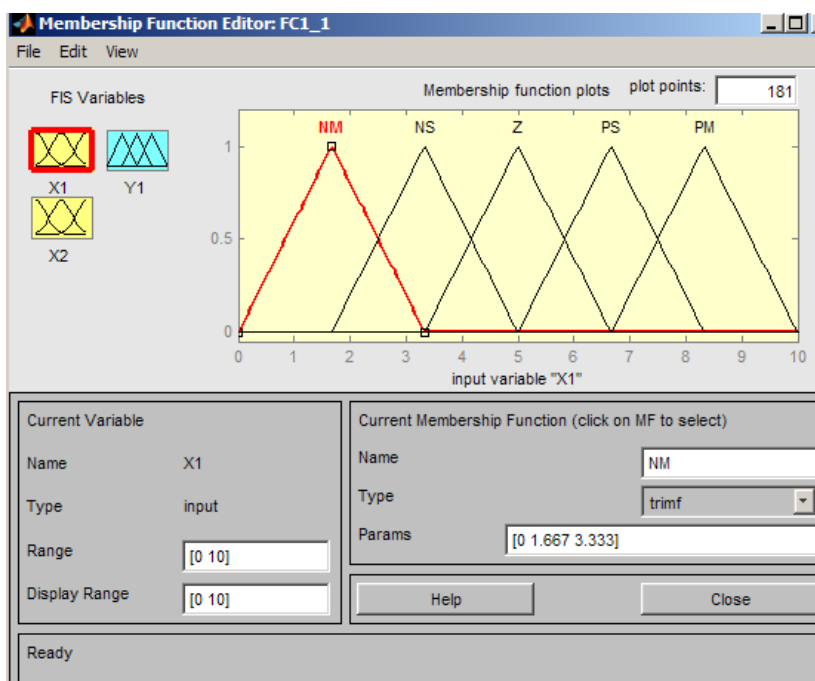


Рисунок 3.3(а) – Графічний інтерфейс редактора Membership Function Editor: FC1_1 після визначення вхідних і вихідних змінних для систем нечіткого виводу

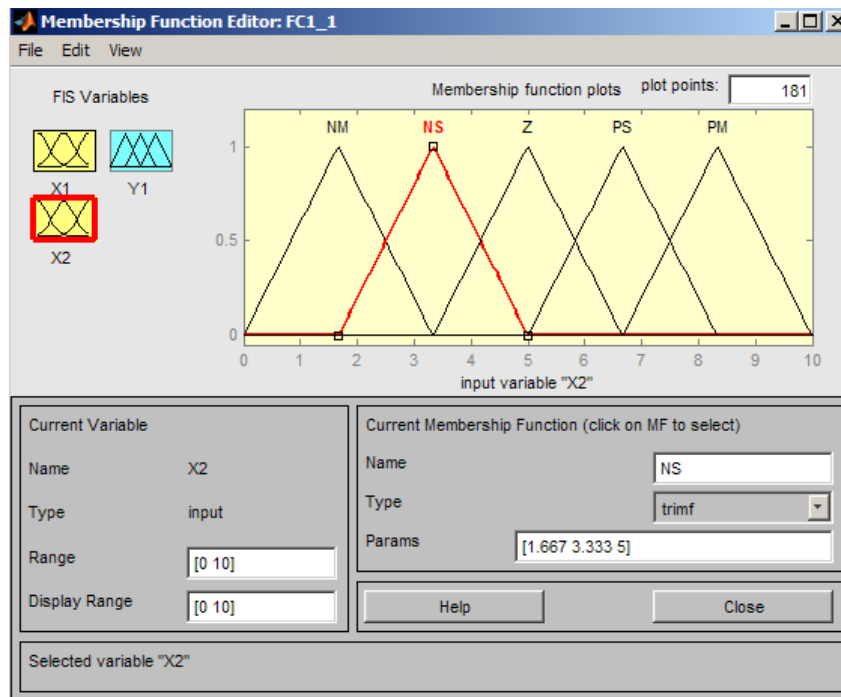


Рисунок 3.3 (б) – Графічний інтерфейс редактора Membership Function Editor: FC1_1 після визначення вхідних і вихідних змінних для систем нечіткого виводу

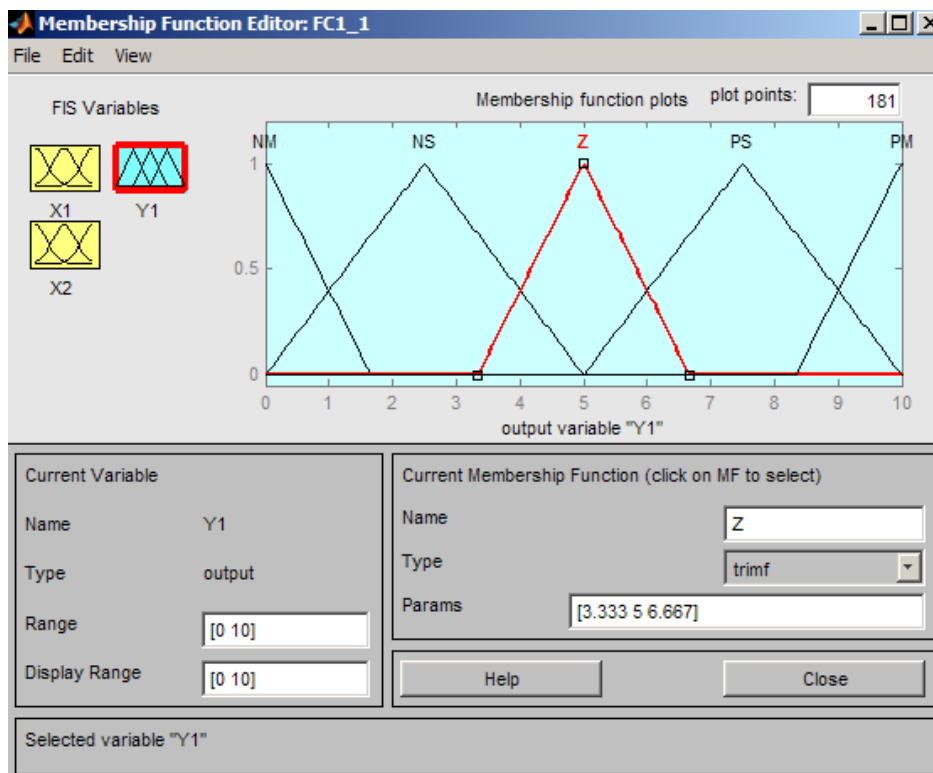


Рисунок 3.3 (в) – Графічний інтерфейс редактора Membership Function Editor: FC1_1 після визначення вхідних і вихідних змінних для систем нечіткого виводу

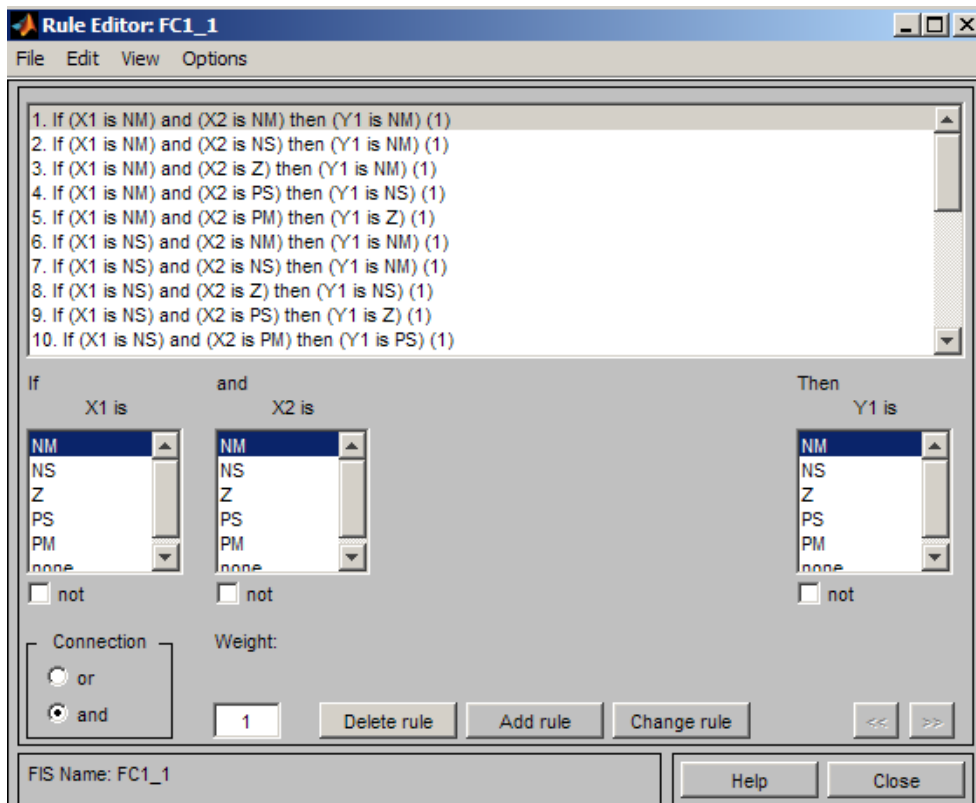


Рисунок 3.4(а) – Графічний інтерфейс редактора Rule Editor: FC1_1

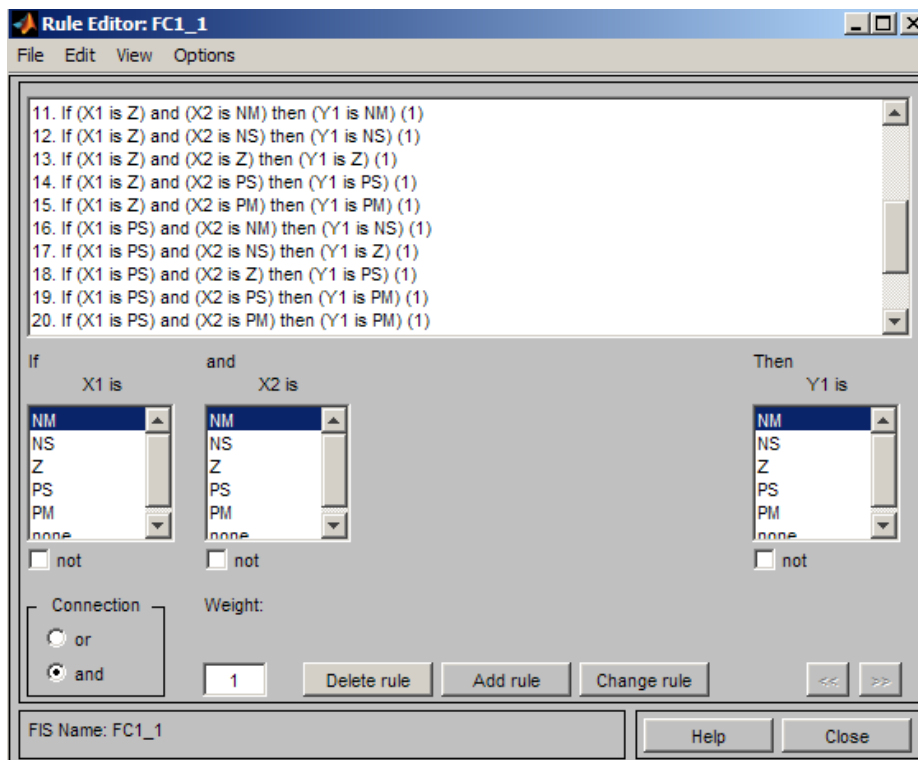


Рисунок 3.4(б) – Графічний інтерфейс редактора Rule Editor: FC1_1

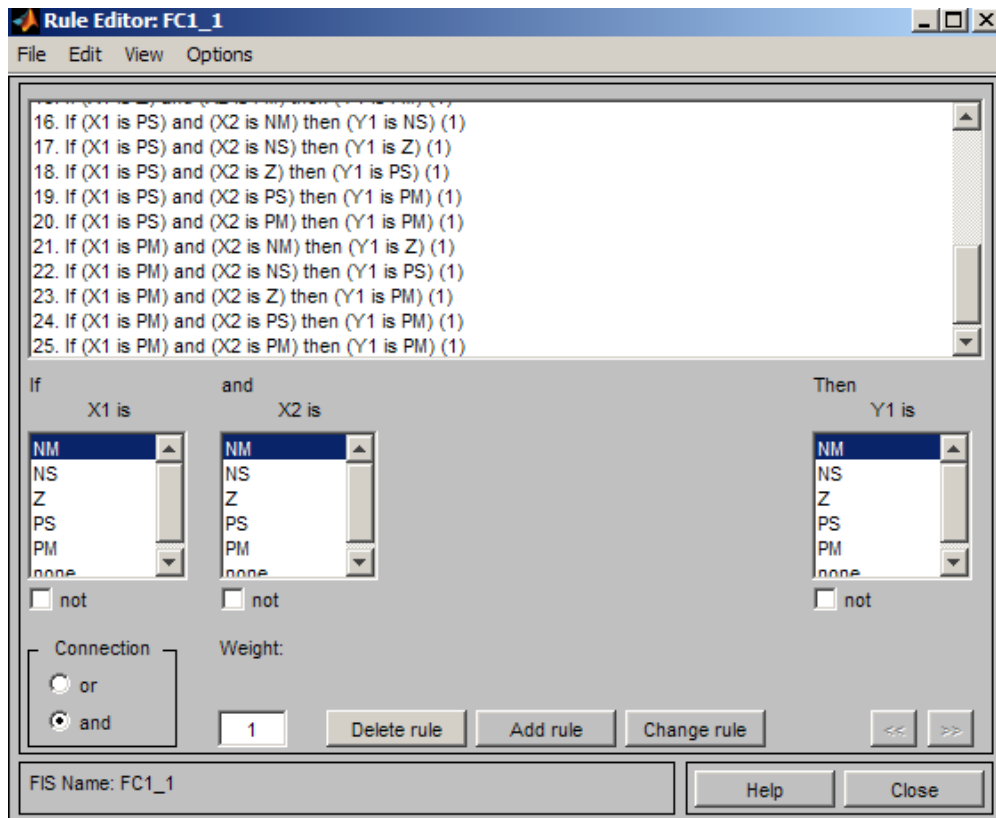


Рисунок 3.4(в) – Графічний інтерфейс редактора Rule Editor: FC1_1

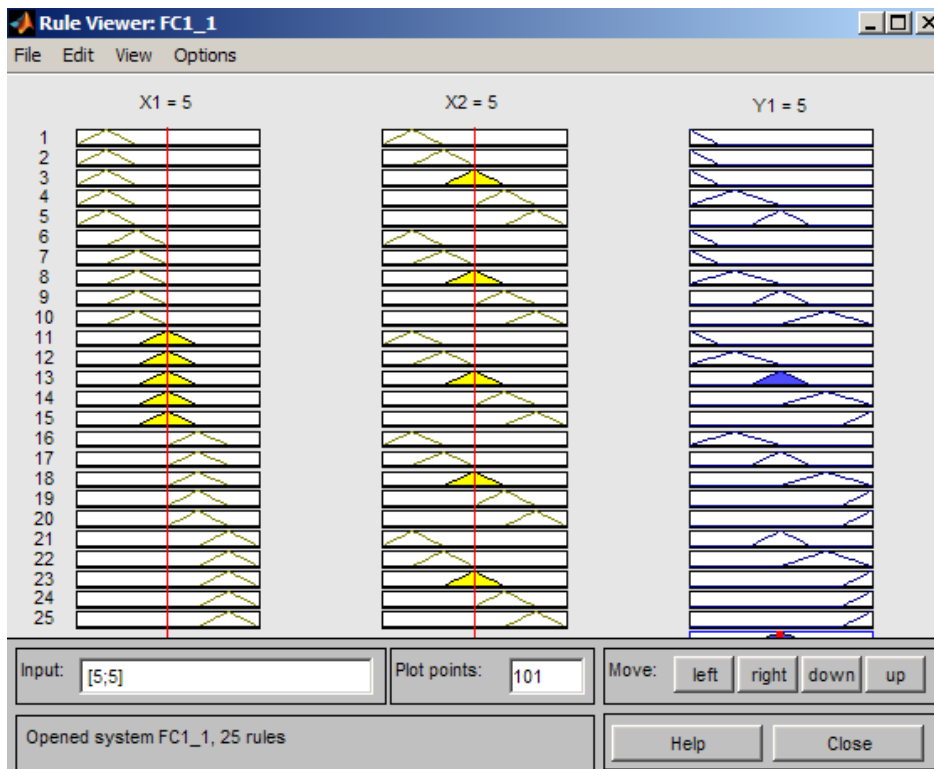


Рисунок 3.5 – Графічний інтерфейс програми перегляду правил після виконання процедур нечіткого виводу для значень вхідних змінних [5;5]

Візуалізація поверхні нечіткого виводу для системи нечіткого виводу контролера Surface Viewer:FC1_1 поведена на рис. 3.6 (а,б)

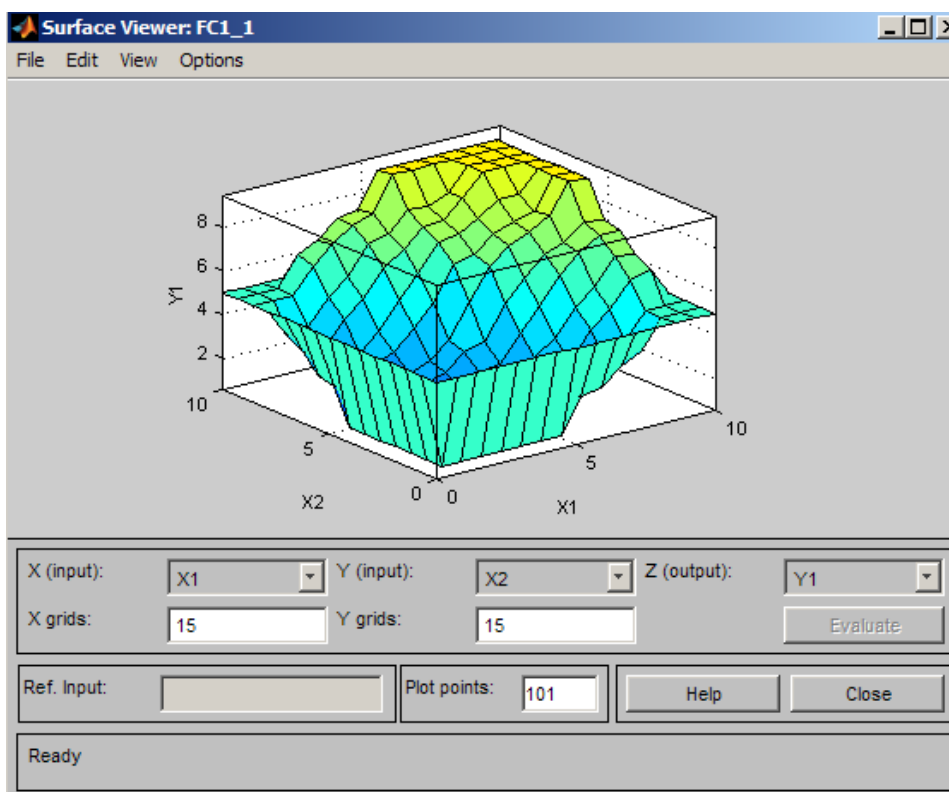


Рисунок 3.6 (а) – Візуалізація поверхні нечіткого виводу

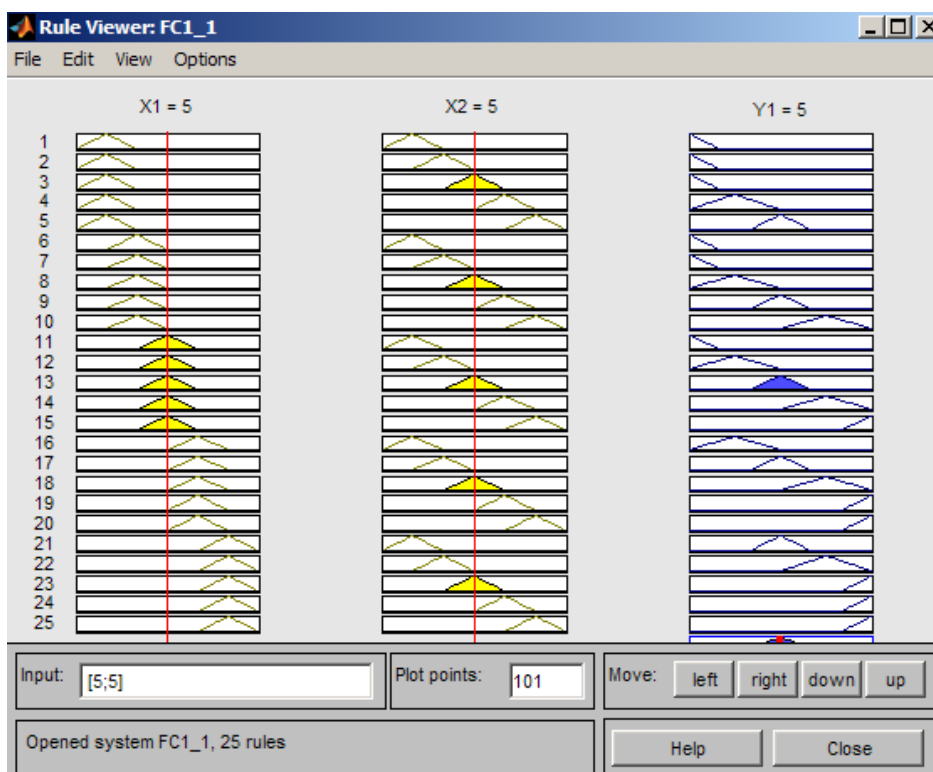


Рисунок 3.6(б) – Графічний інтерфейс програми перегляду правил після виконання процедур нечіткого виводу для значень вхідних змінних [5;5]

						БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ	Арк. 50
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата			

Поверхня (рис. 3.6) дозволяє встановлювати залежність значень вихідної змінної Y_1 від значень вхідних змінних X_1 і X_2 нечіткої моделі Fuzzy – контролера FC1_1 (рис. 3.1). Ця залежність є основою для програмування Fuzzy – контролера, або для апаратної реалізації нечіткого алгоритму керування у вигляді таблиці рішень. Вона ідентично є рішенням задачі синтезу керованої дії на основі методів Fuzzy Logic та теорії нечітких множин.

Аналогічно розв’язана задача бази значень для контролерів FC1_2 і FC1_3.

Результуюча поверхня нечіткого виводу для каскадного контролера Surface Viewer: FC1_3 з вхідними змінними X_1, X_2, X_3, X_4 наведена на рис. 3.7.

Для перегляду газових графіків лінгвістичних змінних системи нечіткого вибору каскадного Fuzzy – контролера слід відкрити вікно перегляду газових графіків (Time Plot Window) за допомогою операції головного меню Analyzer>New Time Plat.

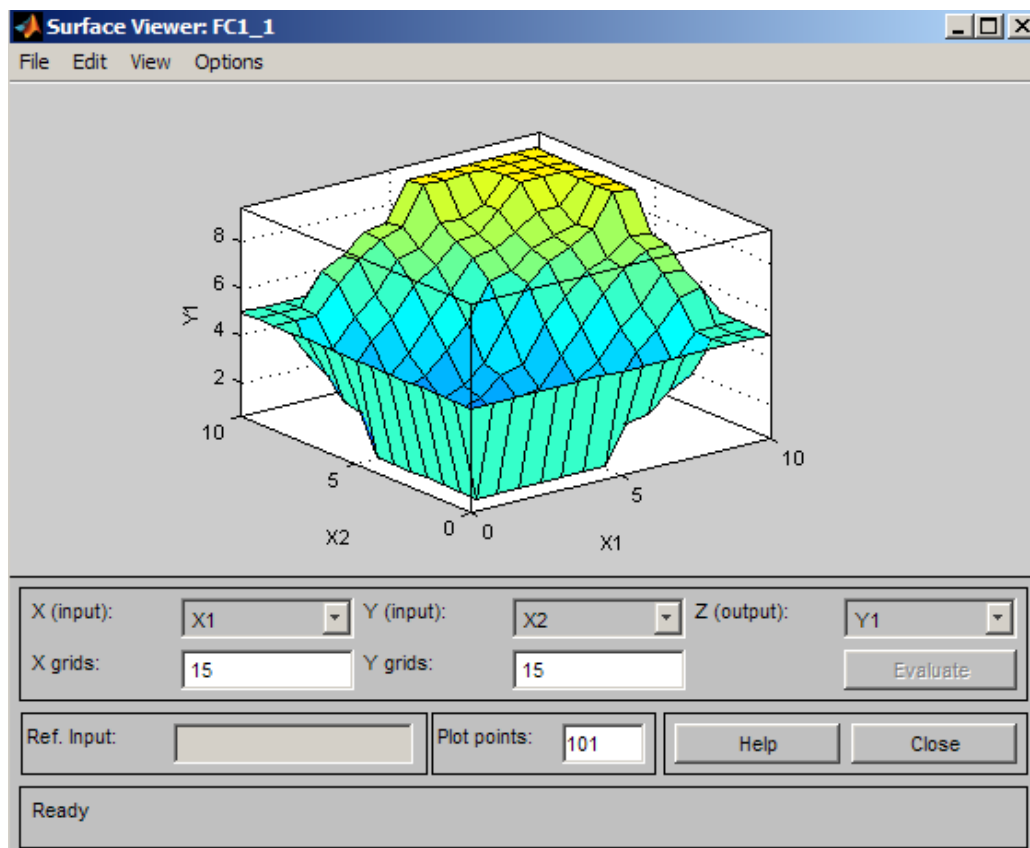


Рисунок 3.7 – Візуалізація поверхні нечіткого виводу

замовчуванню. Немає необхідності змінювати й інші параметри моделі, що розробляється – логічні операції \min – для нечіткого логічного «І», \max – для нечіткого логічного «АБО», методи імплікації (\min), агрегування (\max) і дефазифікації (centroid).

Далі визначаємо функції належності термів для для кожної із змінних системи нечіткого висновку. Для цього скористаємося редактором функцій належності системи MATLAB. Для першої вхідної змінної X1, другої X2 і вихідної Y1 числові значення приймаємо в діапазоні 0÷1. Вигляд графічних інтерфейсів редактора функцій належності після завданих вхідних і вихідних регулятора що розробляється наведено на рис.3.8÷3.10:

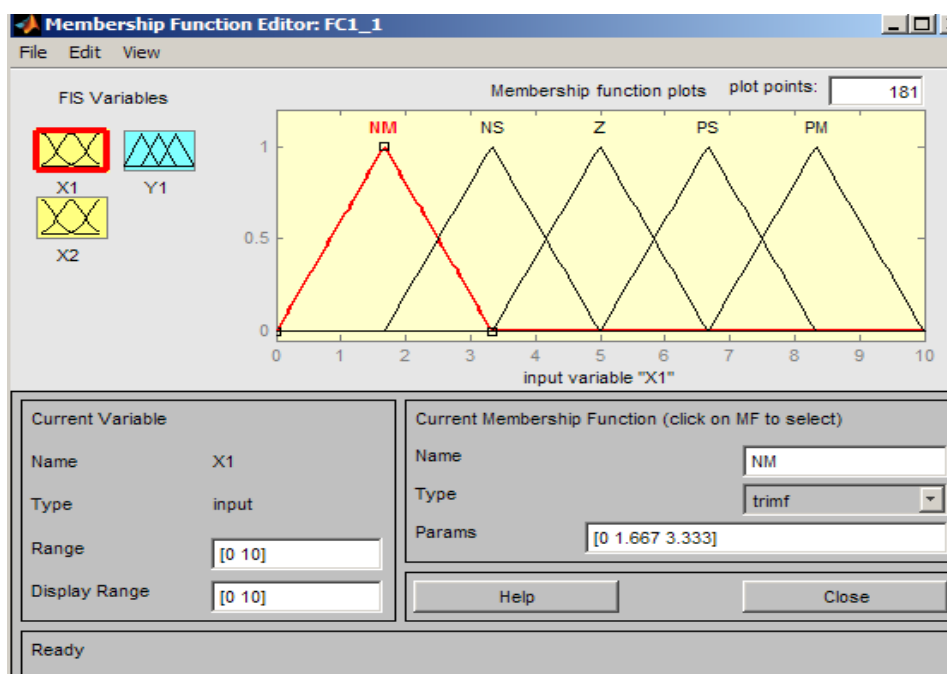
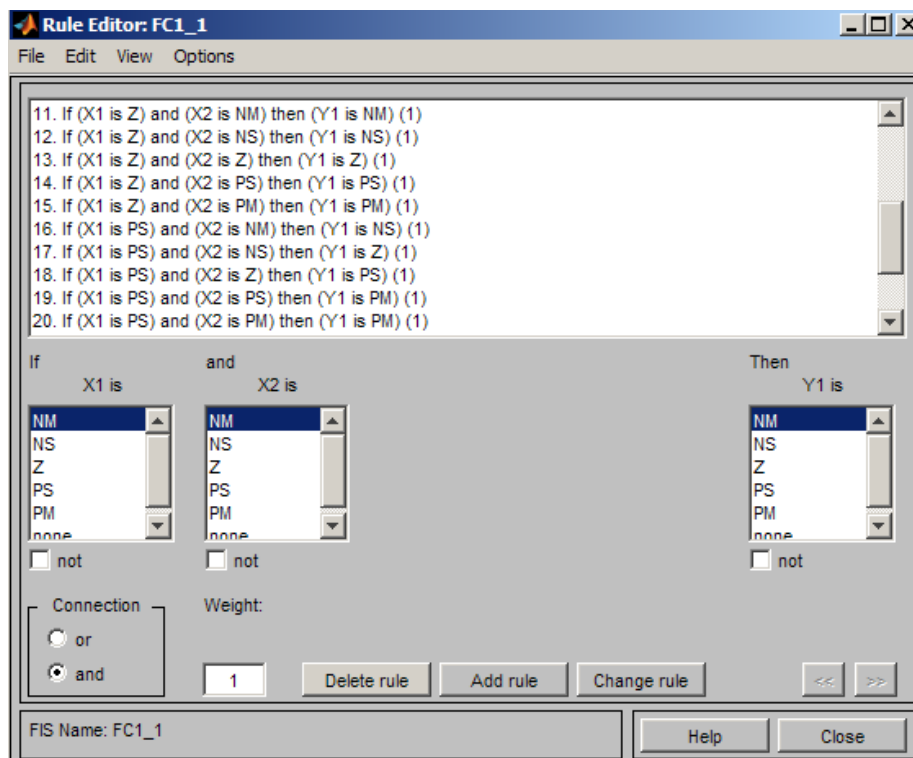
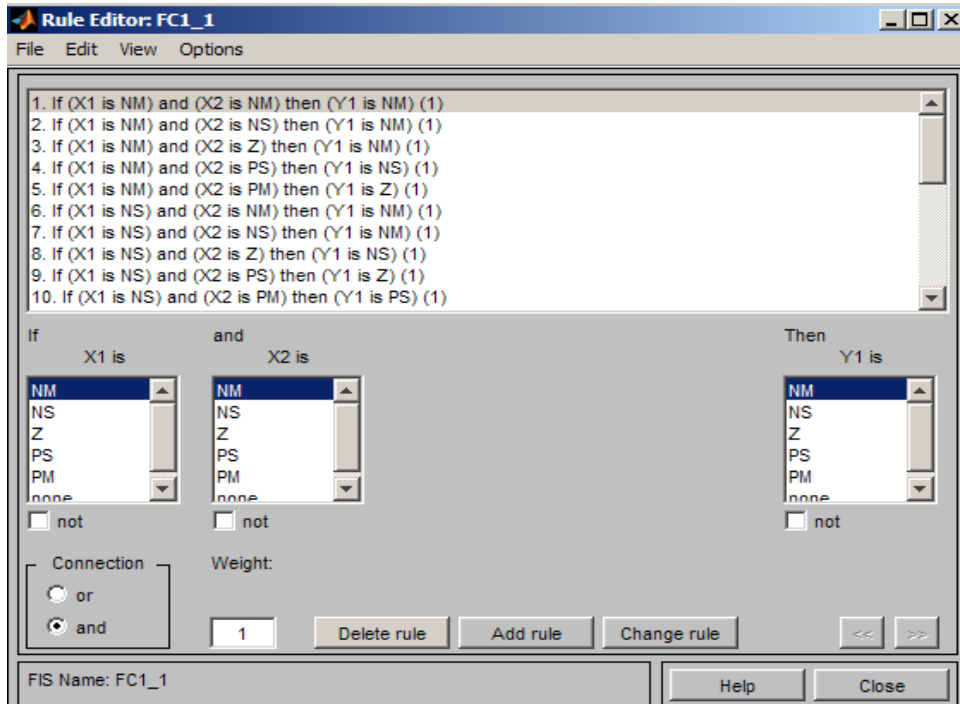


Рисунок 3.9 – Графічний інтерфейс редактора FIS для функції належності вхідної змінної X1

Вид графічного інтерфейсу редактора правил Rule Editor після завдання 25 правил нечіткого висновку наведено на рис.3.12:



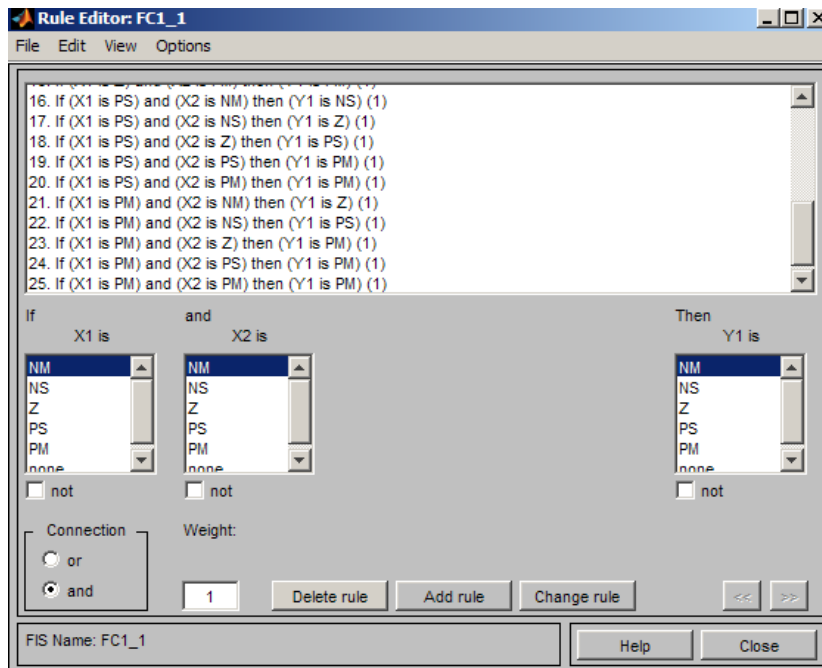


Рисунок 3.12 – Графічний інтерфейс редактора правил Rule Editor після завдання бази правил для нечіткого висновку Fuzzy-PI-Controller

Тепер можна виконати оцінювання побудованої системи нечіткого висновку для задачі синтезу Fuzzi-PI-регулятора. Процедура нечіткого висновку, яка виконана системою MATLAB для даної моделі наведена на рис.3.13:

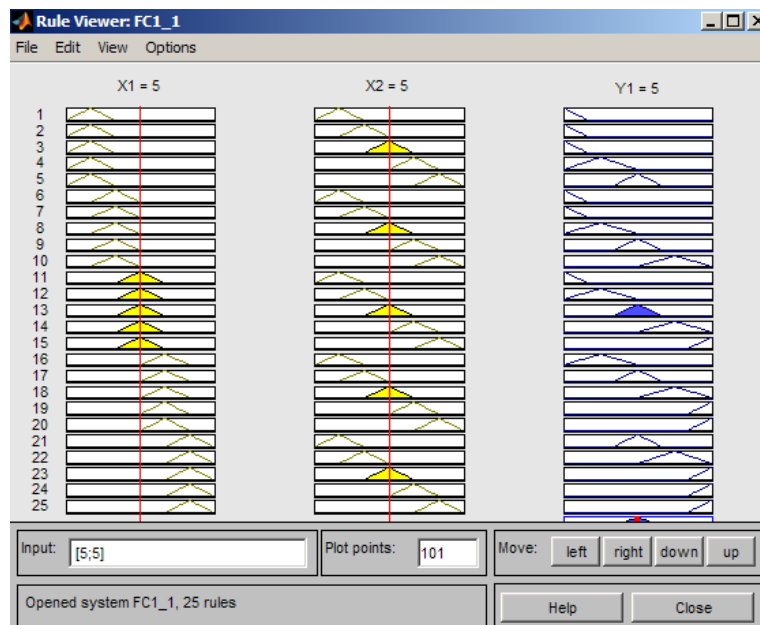


Рисунок 3.13 – Графічний інтерфейс програми перегляду правил після виконання процедури нечіткого висновку для значень вхідних змінних [5 і 5]

Із врахуванням вищесказаного можна записати наступні аналітичні вирази, які часто використовуються на практиці ФН для вхідних лінгвістичних змінних при проектуванні цифрових НР САК:

- для трикутних ФН:

$$\begin{aligned} \mu^1(u) &= u / c, 0 \leq u \leq c; \\ \mu^1(u) &= (1 - c - u) / (1 - 2c), c \leq u \leq 1 - c; \\ \mu^1(u) &= 0, 1 - c \leq u \leq 1; \\ \mu^2(u) &= 0, 0 \leq u \leq c; \\ \mu^2(u) &= (u - c) / (1 - 2c), c \leq u \leq 1 - c; \\ \mu^2(u) &= (1 - u) / c, 1 - c \leq u \leq 1; \end{aligned} \quad (3.1)$$

- для трапецієвидних ФН:

$$\begin{aligned} \mu^1(u) &= 1, 0 \leq u \leq c; \\ \mu^1(u) &= (1 - c - u) / (1 - 2c), c \leq u \leq 1 - c; \\ \mu^1(u) &= 0, 1 - c \leq u \leq 1; \\ \mu^2(u) &= 0, 0 \leq u \leq c; \\ \mu^2(u) &= (u - c) / (1 - 2c), c \leq u \leq 1 - c; \\ \mu^2(u) &= 1, 1 - c \leq u \leq 1; \end{aligned} \quad (3.2)$$

(у формулах (2.6) і (2.7) параметром c можна варіювати в межах $0 \leq c \leq 0,49$;

При $c = 0$ $\mu^1(u) = (1 - u)$, $\mu^2(u) = u$, $0 \leq u \leq 1$;

- для піднесених в степінь трикутних ФН:

$$\mu^1(u) = (1 - u)^c, \quad \mu^2(u) = u^c. \quad (3.3)$$

- для дзвоноподібних ФН:

$$\mu^1(u) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u}{c}\right)^2}, \quad \mu^2(u) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u-1}{c}\right)^2}. \quad (3.4)$$

					БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

- для гаусових ФН

$$\mu^1(u) = \exp\left[-\frac{u^2}{2c^2}\right], \quad \mu^2(u) = \exp\left[-\frac{(1-u)^2}{2c^2}\right]. \quad (3.5)$$

- для експоненціальних ФН:

$$\mu^1(u) = \exp(-cu), \quad \mu^2(u) = \exp[-c(1-u)]. \quad (3.6)$$

ФН, які аналітично визначаються формулами (3.3)- (3.6), мають лише один параметр – коефіцієнт c , яким можна варіювати при налаштуванні НР, що влаштовує з практичної точки зору.

Для вихідної лінгвістичної змінної - *керуючого впливу на ОК т* можна використовувати такі ж ФН, як і для вхідних лінгвістичних змінних.

Діапазони змінни вхідних змінних $[e_{min}, e_{max}]$, $[\acute{e}_{min}, \acute{e}_{max}]$, $[\grave{e}_{min}, \grave{e}_{max}]$ і поточне значення вхідних змінних e , \acute{e} , \grave{e} перераховуються (відображаються) на єдину універсальну множину $U_i = [0, 1]$. Одержане в результаті рішення значення виходу $u_c = u_4^*$ нечіткого регулятора на єдиній універсальній множині $U_i = [0, 1]$ перераховується в значення *керуючого впливу на ОК т*.

Результуючу ФН отримують як правило «мінімаксим» методом, а розрахунок абсциси "центру тяжіння" $s_c = S(u_c, \mu_c)$ ділянки площі, що охоплена результуючою ФН $\mu(u)$ в межах зміни змінної u від $u = U_1$ до $u = U_2$, зручно виконувати, використовуючи чисельне інтегрування за методом трапецій (з кроком дискретизації u_0), за формулою [18]:

$$u_c = \frac{\frac{U_1 \mu_0}{2} + \sum_{i=0}^{M-1} u_i \mu_i + \frac{U_2 \mu_M}{2}}{\frac{\mu_0}{2} + \sum_{i=0}^{M-1} \mu_i + \frac{\mu_M}{2}}, \quad (3.7)$$

де $(U_2 - U_1) / M = u_0$ - крок дискретизації, M - число дискрет на інтервалі $U_2 - U_1$, $i = 1, 2, 3, \dots, M - 1$.

При визначенні результуючої ФН необхідно абсциси точок перетину ФН нечітких підмножин (наприклад, термів *позитивни-1*, *негативний-2*) з горизонтальними прямими. Найбільш просто це виконати для трикутних ФН.

						БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
							59
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата			

Для ФН виду:

$$\mu^1(u) = (1-u)^c, \quad \mu^2(u) = u^c, \quad u \in [0, 1]$$

абсциси точок перетину визначаються як:

$$u^* = 1 - \sqrt[c]{\mu^1(u^*)} \quad \text{і} \quad u^* = 1 - \sqrt[c]{\mu^2(u^*)}. \quad (3.8)$$

Для ФН дзвоноподібного виду:

$$\mu^1(u) = \frac{1}{1+(u/c)^2}, \quad \mu^2(u) = \frac{1}{1+\left(\frac{u-1}{c}\right)^2}, \quad u \in [0, 1],$$

абсциси точок перетину визначаються як:

$$u^* = c \times \sqrt{\frac{1}{\mu^1(u^*)} - 1} - 1 \quad \text{і} \quad u^* = 1 + c \times \sqrt{\frac{1}{\mu^2(u^*)} - 1}. \quad (3.9)$$

Для гаусових ФН виду (3.5) абсциси точок перетину визначаються як:

$$u^* = c \sqrt{-2 \ln \mu^1(u^*)} \quad \text{і} \quad u^* = 1 - c \sqrt{-2 \ln \mu^2(u^*)}. \quad (3.10)$$

Для експоненціальних ФН виду:

$$\mu^1(u) = e^{-cu}, \quad \mu^2(u) = e^{-c(1-u)}, \quad u \in [0, 1],$$

абсциси точок перетину визначаються як:

$$u^* = -\frac{1}{c} \ln \mu^1(u^*) \quad \text{і} \quad u^* = 1 + \frac{1}{c} \ln \mu^2(u^*). \quad (3.11)$$

Остаточний вибір ФН для НР в САК можливий лише при оптимізації основних параметрів регулятора (діапазонів зміни ЛЗ, форми і параметрів ФН лінгвістичних величин).

При оптимізації параметрів цифрових регуляторів необхідно задавати критерій якості і функції впливу (керуючий і/або збурюючий вплив) на систему. Найбільш часто використовують один із квадратичних критеріїв якості, наприклад:

$$J = \frac{1}{L} \sum_{v=0}^{L-1} e_v^2 \Rightarrow \min, \quad (3.12)$$

де помилка системи e_v обчислюється з кроком моделювання h_0 , а число L

					БР.АКП-04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

визначає інтервал спостереження. Оптимальні параметри відповідають мінімальному значенню критерію якості, а мінімізація критерію якості автоматично приводить до оптимізації перехідних процесів в САК. Можна використовувати різні алгоритми умовної і безумовної оптимізації.

Висновок до розділу

Сформовано структуру багатовимірних каскадного ієрархічного фазі – контролера і базу правил Мамдані типу, що дозволяє використати їх як елемент системи підтримання, прийняття рішень в інтелектуальних системах управління процесом поглиблення свердловин;

Здійснено моделювання каскадного ієрархічного фазі-контролера в середовищі Matlab, що дозволило сформуванати базу правил, створив графічний інтерфейс програми перегляду правил після виконання процедури нечіткого виводу для певних значень вхідних змінних, забезпечує візуалізацію поверхні нечіткого виводу для ієрархічного контролера.

Оптимізовано цифрові Fuzzi-регулятори з різними формами функцій належності, що дозволяє покращити перспективи подальшого розвитку Fuzzy-ПІ-регуляторів.

Незважаючи на відмінності в структурі, каскадний і ієрархічний Fuzzy-контролери формують подібні вихідні поверхні, що вказує на надійність обраного методу синтезу.

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ доквм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської роботи було досягнуто таких результатів, а саме:

1. Проаналізовано підходи до синтезу систем управління процесом поглиблення свердловин засвідчив, що класичні методи хоча й прості у впровадженні, не завжди забезпечують достатню ефективність у реальних умовах. Вони демонструють значно кращу здатність до роботи в умовах невизначеності, проте потребують більш складної реалізації та обробки даних.

2. Досліджено статистичні і динамічні характеристики процесу поглиблення свердловини, що дозволяє встановити закон розподілу, автокореляційні функції і спектральні щільності досліджуваних процесів.

3. Сформовано структуру багатовимірних каскадного ієрархічного фази – контролера і базу правил Мамдані типу, що дозволяє використати їх як елемент системи підтримання, прийняття рішень в інтелектуальних системах управління процесом поглиблення свердловин. Здійснено моделювання каскадного ієрархічного фази – контролера в середовищі Matlab, що дозволило сформувати базу правил, а також оптимізовано цифрові Fuzzi-регулятори з різними формами функцій належності, що дозволяє покращити перспективи подальшого розвитку Fuzzy-III-регуляторів.

Незважаючи на відмінності в структурі, каскадний і ієрархічний Fuzzy-контролери формують подібні вихідні поверхні, що вказує на надійність обраного методу синтезу.

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Разживін О. В. Синтез нечітких регуляторів в системах автоматичного керування: [навч. посібн.] / О. В. Разживін, О. В. Суботін. – Краматорськ: ЦТРІ «Друкарський дім». – 2021. – 212 с.

2. Кушніренко М. І. Автоматизація технічних процесів: нечіткі системи: [навч. посібн.] / М. І. Кушніренко. – Львів: Видавництво ЛП, 2012. – 272 с.

3. Чигур І. І. Інформаційні технології та системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень: [навч. посібн.] / І. І. Чигур, Л. Я. Чигур. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2023. – 107 с.

4. Борин В.С. Основи синтезу систем управління об'єктами н/г галузі; лабораторний практикум / В.С. Борин, Л.І.Фешанич, Г.Г.Зварич: ІФНТУНГ, 2021. – 39 с.

5. Чигур І.І. Інтелектуальні системи прийняття рішень в умовах невизначеності: практикум / І.І.Чигур, В.М.Гарасимів: ІФНТУНГ, 2021. – 66 с.

6. Горбійчук М.І. Теорія алгоритмів, числові методи та програмні засоби моделювання: [навч. посібник] / М.І.Горбійчук, В.М. Гарасимів: ІФНТУНГ, 2021. – 299 с.

7. Горбійчук М.І. Теорія автоматичного керування: [консп.лекцій] / М.І. Горбійчук: ІФНТУНГ, 2021. – 78 с.

8. Шавранський М.В. Синтез системи керування газотурбінним двигуном на базі нечіткої логіки / М.В.Шавранський, В.М. Шавранський, Б.С. Незамай // Методи і прилади контролю. ІФНТУНГ, №1(46), 2021р. – С. 55-63.

9. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування. Лінійні системи: лаб. практикум / М. І. Горбійчук, Л. Я. Чигур. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 64 с.

10. MATLAB. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. – MathWorks, 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/>

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докв.	Підпис	Дата		

11. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин: [навч. посіб.] / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов // Івано-Франківськ: Факел.– 2003.– 493с.

12. Гутак О.В. Моделювання та ідентифікація процесу буріння для задач оптимізації управління: [Текст] / О.В. Гутак, Г.Н. Семенцов. – Одеса: Куприенко С.В. – 2014. – 295 с.

					БР.АКП–04.00.00.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
						64
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Бакалаврська робота на тему «Синтез каскадного fuzzy-контролера для моніторингу систем керування об'єктами в умовах невизначеності», містить пояснювальну записку на 62 аркушах друкованого тексту, графічного матеріалу 8 аркушів формату А4.

Перелік креслень графічної частини:

1. БР.АКП-04.00.00.001 – Структурна схема процесу буріння свердловин.
2. БР.АК П-04.00.00.002 – Графіки стаціонарних залежності $x(t)$ і $y(t)$.
3. БР.АКП-04.00.00.003 – Гістограми густини відносних частот.
4. БР.АКП-04.00.00.004 – Структура каскадного ієрархічного Fuzzy-контролера.
5. БР.АКП-04.00.00.005 – Графічний інтерфейс редактора FIS для вхідних змінних X_1 і X_2 .
6. БР.АКП-04.00.00.006 – Графічний інтерфейс редактора правил Rule Editor для нечіткого висновку Fuzzy-PI-Controller.
7. БР.АКП-04.00.00.007 – Візуалізація поверхні нечіткого висновку для Fuzzy-III-регулятора Surface Viewer.