


## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

### МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

До виконання індивідуальних завдань з дисципліни  
«Інтелектуальні системи управління»  
(для здобувачів вищої освіти спеціальності  
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
усіх форм навчання другого (магістерського)  
рівня вищої освіти)

*Рекомендовано Науково-методичною радою  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол № 1 від «8» вересня 2023 р.)  
Обов'язково до розміщення в репозиторії*

Запоріжжя 2023



**Інтелектуальні системи управління:** методичні вказівки до виконання індивідуальних завдань з дисципліни «Інтелектуальні системи управління» (для здобувачів вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти / Уклад. О.В. Разживін. Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023. 56 с.

Індивідуальні завдання присвячено роботі інтелектуальних систем управління в реальному часі з метою вироблення керуючих рішень у темпі надходження нової інформації, тому обчислювальні ресурси традиційних комп'ютерів швидко виявляються вичерпаними, якщо реалізується досить складна ШНС. Така ситуація характерна для систем аналізу та стиснення зображень, при управлінні технологічними процесами та рухомими об'єктами. У зв'язку з цим велике практичне значення набувають питання використання спеціалізованих обчислювальних засобів, що допускають паралельну обробку інформації.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти)..

*Самостійне електронне текстове мережеве видання*

Затверджено на засіданні кафедри  
Автоматизації електро- та робототехнічних систем  
Протокол № 3 від «11» липня 2023 р.

Узгоджено:

Секретар Редакційної ради



Малій Х. В.

«12» липня 2023 р.

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»,

2023



## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	4
1 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ 1. ЛІНІЙНА НЕЙРОННА МЕРЕЖА З ЛІНІЄЮ ЗАТРИМКИ.....	9
2 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ 2 НЕЙРОНІ МЕРЕЖІ ПРЯМОГО ПОШИРЕННЯ.....	14
3 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ 3. ВИЛУЧЕННЯ КЕРУЮЧИХ ПРАВИЛ З ІНФОРМАЦІЇ ПРО ПРОЦЕС УПРАВЛІННЯ.....	19
4 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ 4. СИНТЕЗ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА ПО ДАНИМ.....	28
5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ.....	46
6 ПОДАННЯ НА ПЕРЕВІРКУ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ.....	51
7 АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ.....	54
8 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	55



## ВСТУП

Інтелектуальні системи управління (ІСУ) – базова навчальна дисципліна, яка забезпечить наявність необхідних знань для вирішення практичних задач у процесі інженерної діяльності, що пов'язана з інтелектуальними та кіберфізичними системами управління. Під час вивчення дисципліни оволодієте вміннями та знаннями створення системи автоматизації, кіберфізичного виробництва з використанням інтелектуальних методів управління, а також здобудете навички з практичної реалізації сучасних методів проектування цифрових та інформаційних систем з використанням оптимального управління, робототехнічних та нейромережових технологій

Особливістю курсу є акцент на саме практичному використанні методів проектування цифрових систем управління при розв'язанні різноманітних інженерних задач, наукових досліджень та проектуванні систем автоматизації з використанням інтелектуальних та оптимальних методів управління.

Отримані знання будуть корисними для проектування АСУ з використанням інтелектуальних та оптимальних методів управління на базі нейромережових технологій.

За освітньою програмою інтелектуальні системи управління в гірничо-металургійному виробництві, то цей освітній компонент є обов'язковим, в іншому випадку — звертайтеся за консультацією: можливо саме цей курс допоможе розширити ваші знання та навички в АСУ з використанням інтелектуальних та оптимальних методів управління.

### **Застереження щодо рівня попередніх знань.**

– Базові знання рівня «Бакалавр» в теорії автоматичного регулювання, ідентифікації, моделюванні об'єктів та системного аналізу, проектуванні систем автоматизації;

– математичні знання та навички: диференціальне та інтегральне обчислення, матрична алгебра; функції багатьох змінних, функціональні ряди;

– підготовка з інформатики: використання Microsoft Word, Excel та Visio, базові знання з алгоритмізації та програмування;

Увага: вивчення курсу «Інтелектуальні системи управління» в Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» відбувається паралельно з вивченням автоматизованих системи управління технологічними процесами в гірничо-металургійному виробництві, що дозволяють Вам придбати необхідні знання для синтезу та розробки систем автоматичного управління



## Результати навчання та їхня відповідність ОПП.

- Використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережевих технологій, робототехнічних та мехатронних пристроїв при проектуванні системи автоматизації та кіберфізичного виробництва.
- Застосовування сучасних методів моделювання при дослідженні та створенні ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.
- Володіти стратегією автоматизації та цифрової трансформації виробничо-технічні системи у певній галузі діяльності як об'єктів автоматизації.
- Застосовувати сучасні математичні методи, методи теорії автоматичного керування, теорії надійності та системного аналізу для дослідження та створення систем автоматизації, кіберфізичних виробництв.
- Застосовувати мережеві та інформаційні технології, робототехнічні пристрої, засоби людино-машинного інтерфейсу розробляти функціональну, організаційну, технічну та інформаційну структури систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, розробляти програмно-технічні керуючі комплекси.
- Володіти на професійному рівні спеціалізованим програмним забезпеченням цифрових систем автоматизації складними організаційно-технічними об'єктами.
- Дотримуватись норм академічної доброчесності, знати основні правові норми щодо захисту інтелектуальної власності, комерціалізації результатів науково-дослідної, винахідницької та проектної діяльності.
- Використовувати науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела інформації при розробці інтелектуальних систем управління.

**Таблиця відповідності програмних результатів вивчення  
дисципліни компетентностям та програмним результатам,  
визначеним освітніми програмами, для яких ця дисципліна є  
обов'язковою**

<b>ОПП</b>	<b>Компетентності</b>	<b>ПРН</b>
<p>Інтелектуальні системи управління в гірничо-металургійному виробництві (спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології)</p>	<p>К3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. К4. Здатність працювати в міжнародному контексті. К5. Здатність здійснювати автоматизацію складних технологічних об'єктів та комплексів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій з використанням баз даних, баз знань, методів штучного інтелекту, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв; К7. Здатність застосовувати методи моделювання та оптимізації для дослідження та підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами. К9. Здатність інтегрувати знання з інших галузей, застосовувати системний підхід та враховувати нетехнічні аспекти при розв'язанні інженерних задач та проведенні наукових досліджень. К10. Здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами.</p>	<p>РН01. Створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережевих технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв. РН03. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій для розв'язування складних задач професійної діяльності. РН04. Застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами. РН05. Розробляти комп'ютерно-інтегровані системи управління складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, застосовуючи системний підхід із врахуванням нетехнічних складових оцінки об'єктів автоматизації.</p>



ОПП	Компетентності	ПРН
<p>Інтелектуальні системи управління в гірничо-металургійному виробництві (спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології)</p>	<p>K11. Здатність застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для розв'язання складних задач і проблем автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.</p> <p>K14. Здатність забезпечувати розробку, застосування та експлуатацію цифрових систем, що функціонують на виробництві та в науковій сфері з використанням Інтернету речей і цифрових технологій.</p>	<p>РН06. Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів.</p> <p>РН08. Застосовувати сучасні математичні методи, методи теорії автоматичного керування, теорії надійності та системного аналізу для дослідження та створення систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, кіберфізичних виробництв.</p> <p>РН09. Розробляти функціональну, організаційну, технічну та інформаційну структури систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, розробляти програмно-технічні керуючі комплекси із застосуванням мережевих та інформаційних технологій, промислових контролерів, мехатронних компонентів, робототехнічних пристроїв, засобів людино-машинного інтерфейсу та з урахуванням технологічних умов та вимог до управління виробництвом.</p> <p>РН10. Розробляти і використовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для створення систем автоматизації складними організаційно-технічними об'єктами, професійно володіти</p>



ОПП	Компетентності	ПРН
Інтелектуальні системи управління в гірничо-металургійному виробництві (спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології)		спеціальними програмними засобами. РН14. З використанням середовищ програмування та спеціалізованого програмного забезпечення для автоматизації розробляти алгоритмічне та програмне забезпечення підсистем верхнього рівня АСУТП.

Робочою програмою дисципліни додатково передбачено виконання чотирьох індивідуальних завдань по два у кожному семестрі.



## ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ 1. ЛІНІЙНА НЕЙРОННА МЕРЕЖА З ЛІНІЄЮ ЗАТРИМКИ

### Задання

З використанням лінійної НМ із затримкою здійснити моделювання коливальної динамічної ланки з одиничним коефіцієнтом передачі та постійними часу рівними зазначеними у таблиці 1.

*Таблиця 1.1 – Завдання до виконання індивідуально завдання 1*

Варіант	Рівняння
1	$W(p) = \frac{2}{2p^2 + p + 1}$
2	$W(p) = \frac{3}{0.2p^2 + 0.1p + 1}$
3	$W(p) = \frac{4}{2p^2 + 0.5p + 1}$
4	$W(p) = \frac{1}{0.5p^2 + 0.25p + 1}$
5	$W(p) = \frac{6}{0.8p^2 + 0.4p + 1}$
6	$W(p) = \frac{3}{p^2 + 0.8p + 1}$
7	$W(p) = \frac{7}{5p^2 + 2.5p + 1}$
8	$W(p) = \frac{5}{2p^2 + 1.1p + 1}$
9	$W(p) = \frac{2.5}{6.2p^2 + 3p + 1}$
10	$W(p) = \frac{3.6}{2p^2 + p + 1}$
11	$W(p) = \frac{4.5}{3p^2 + 1.5p + 1}$
12	$W(p) = \frac{10}{0.5p^2 + 0.25p + 1}$
13	$W(p) = \frac{8.8}{8p^2 + 4p + 1}$
14	$W(p) = \frac{3}{1.5p^2 + 0.8p + 1}$
15	$W(p) = \frac{4.7}{5.6p^2 + 3p + 1}$
16	$W(p) = \frac{6.3}{5.2p^2 + 2.1p + 1}$
17	$W(p) = \frac{2.4}{2.7p^2 + 1.3p + 1}$
18	$W(p) = \frac{3}{0.2p^2 + 0.11p + 1}$

Продовження табл. 1.1

Варіант	Рівняння
19	$W(p) = \frac{4}{2p^2 + 1.3p + 1}$
20	$W(p) = \frac{6}{7.2p^2 + 3.1p + 1}$

**Приклад виконання.**

Приклад виконання описує використання лінійної НС із затримкою для моделювання коливальної динамічної ланки з одиничним коефіцієнтом передачі та постійними часу рівними 1 с, яка наведена на рисунку 1.1, а результати моделювання перехідного процесу при подачі одиничного керуючого сигналу наведені на рисунку 1.2.

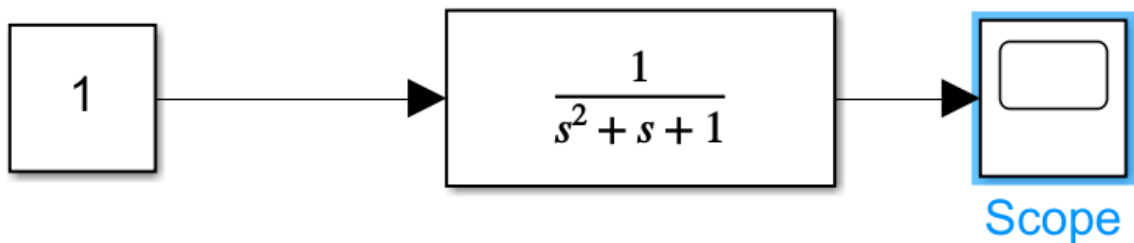


Рисунок 1.1 – Математична модель коливальної динамічної ланки в пакеті Simulink MatLab

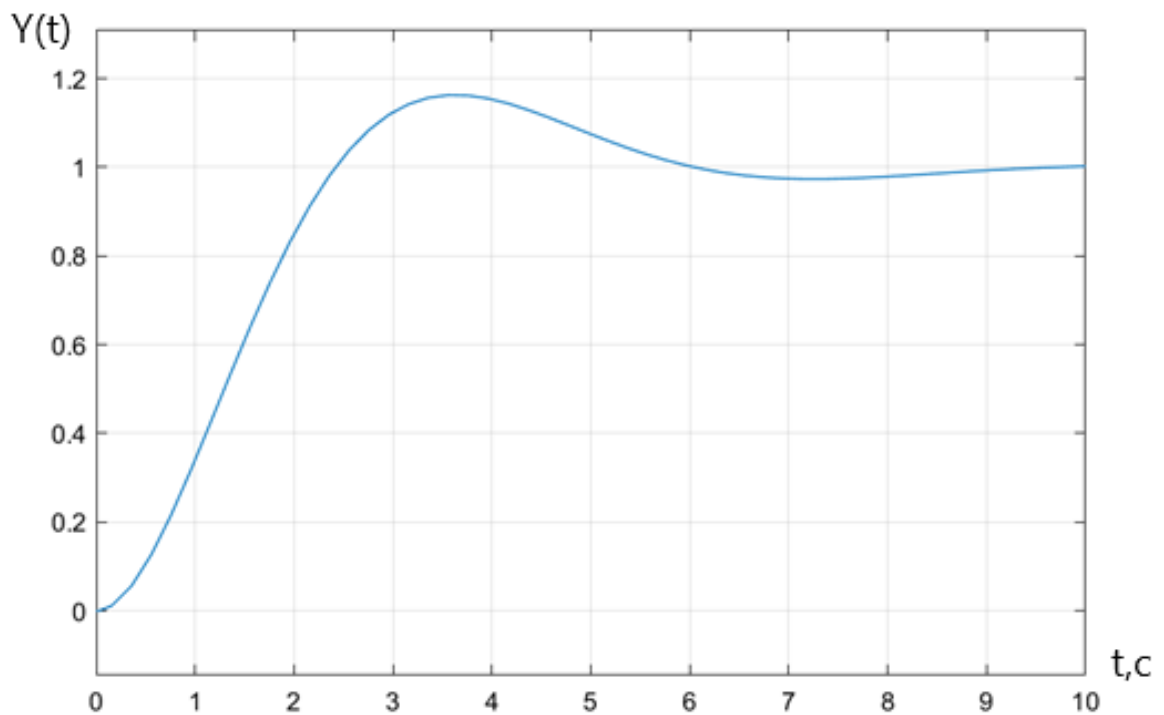


Рисунок 1.2 – Графік перехідного процесу коливальної ланки

Проведемо програмне моделювання коливальної динамічної ланки програмними засобами *MatLab*:

```
>> sys = ss (tf (1, [1 1 1])); % - опис коливальної ланки
>> t = 0:0.2:10; % - інтервал та крок моделювання
>> [Y, t] = step(sys, t) % - реакція ланки на стрибок
>> plot(t,Y)
>> grid
>> xlabel('t')
>> ylabel('Y(t)')
```

Наступні команди готують вихідні дані та виконують адаптацію ваг ШНМ:

```
>> P = Y(1: length(t)-2)';
>> T = Y(3: length(t))';
>> Z= [1 2];
>> net = newlin([-1 1], 1, Z);
>> pi = {0 0};
>> net.IW{1,1} = [1 1];
>> net.adaptParam.passes = 200;
>> P1 = num2cell(P);
>> T1 = num2cell(T);
>> [net,y,E pf,af] = adapt(net,P1,T1,pi);
```

Виконаємо моделювання ШНМ та порівняємо заданий та отриманий процеси (див. рис. 1.3):

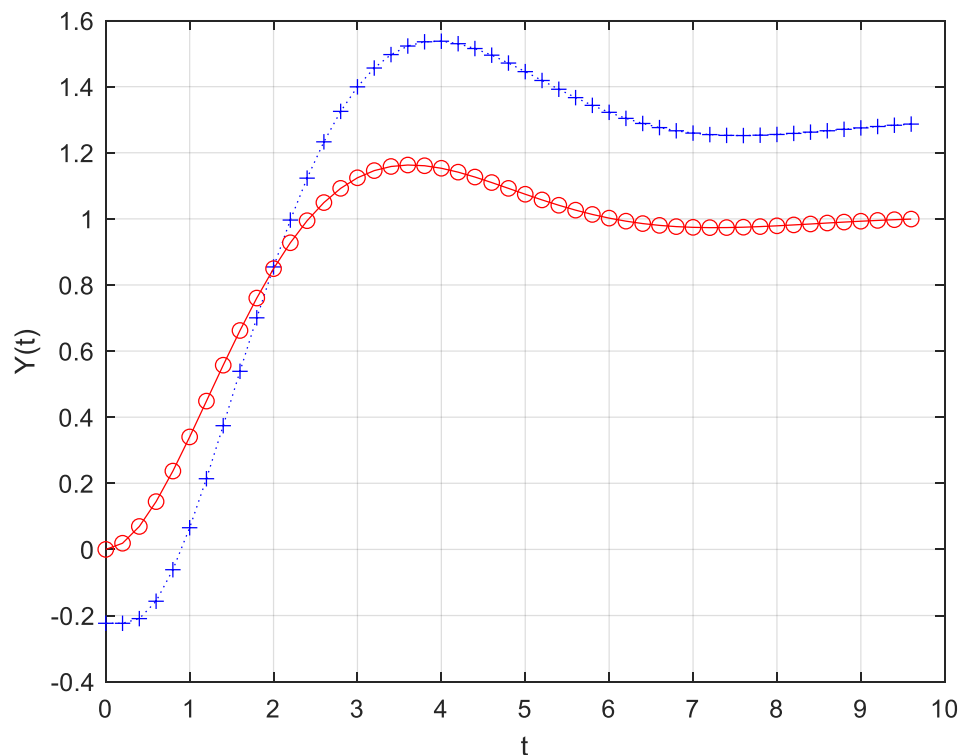


Рисунок 3 – Порівняльні графік переходного процесу коливальної ланки

```
>> x = sim(net,P1)
>> x1 = cat(1,x{:})';
>> t1=t(1: length(t)-2)';
>> plot(t1,x1,'b:+', t1,P,'r-o')
>> xlabel('t');
>> ylabel('Y(t)');
>> grid on
```

Помилка на початку перехідного процесу викликана методом формування навчальної вибірки.

При навчанні можна було б використати команду

```
>> [net,y,E pf,af] = train(net,P1,P1,pi);
```

Аналіз результатів моделювання при використанні команди train показує, що помилка початку перехідного процесу зменшилася (див. рис. 1.4). Результати навчання лінійної з затримкою НМ наведені на рисунку 1.5.

```
sys = ss (tf (1, [1 1 1])); % - опис коливальної ланки
t = 0:0.2:10; % - інтервал та крок моделювання
[Y, t] = step(sys, t) % - реакція ланки на стрибок
plot(t,Y)
grid
xlabel('t')
ylabel('Y(t)')
P = Y(1: length(t)-2)';
T = Y(3: length(t))';
Z= [1 2];
net = newlin([-1 1], 1, Z);
pi = {0 0};
net.IW{1,1} = [1 1];
net.adaptParam.passes = 200;
P1 = num2cell(P);
T1 = num2cell(T);
[net,y,E pf,af] = train(net,P1,T1,pi);
x = sim(net,P1)
x1 = cat(1,x{:})';
t1=t(1: length(t)-2)';
plot(t1,x1,'b:+', t1,P,'r-o')
xlabel('t');
ylabel('Y(t)');
grid on
```

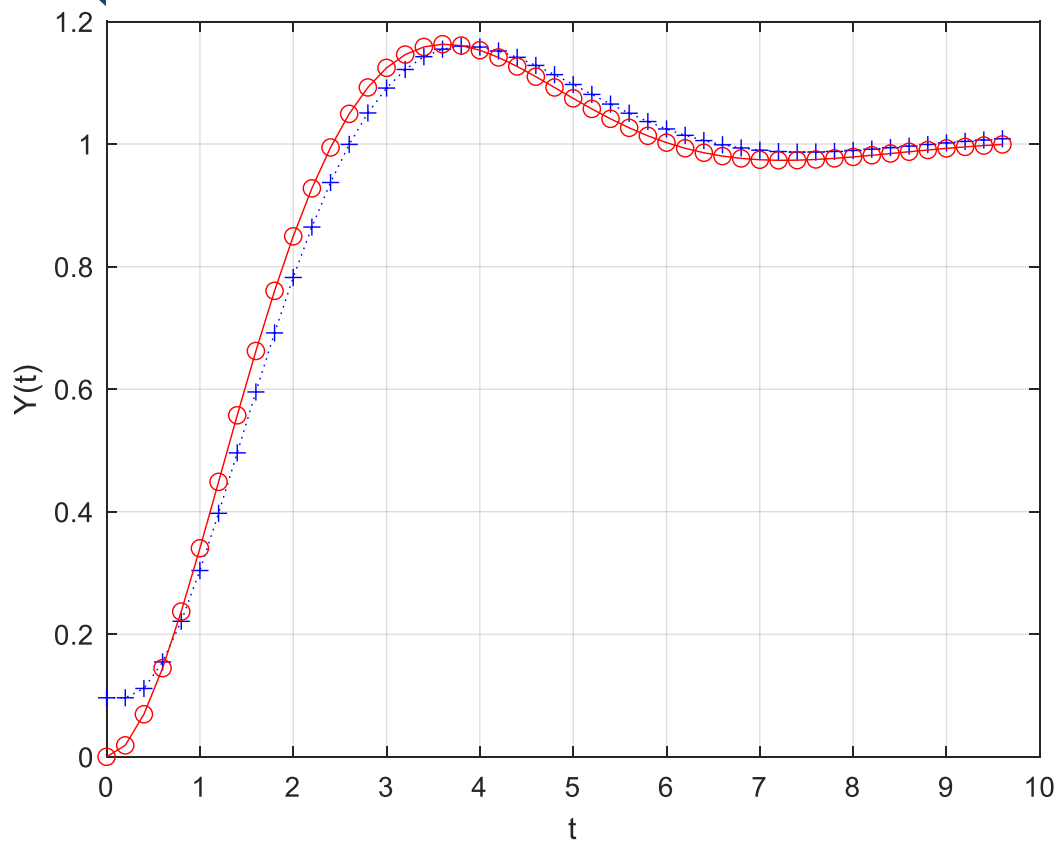


Рисунок 1.4 - Перехідні процеси після зміни навчальної вибірки

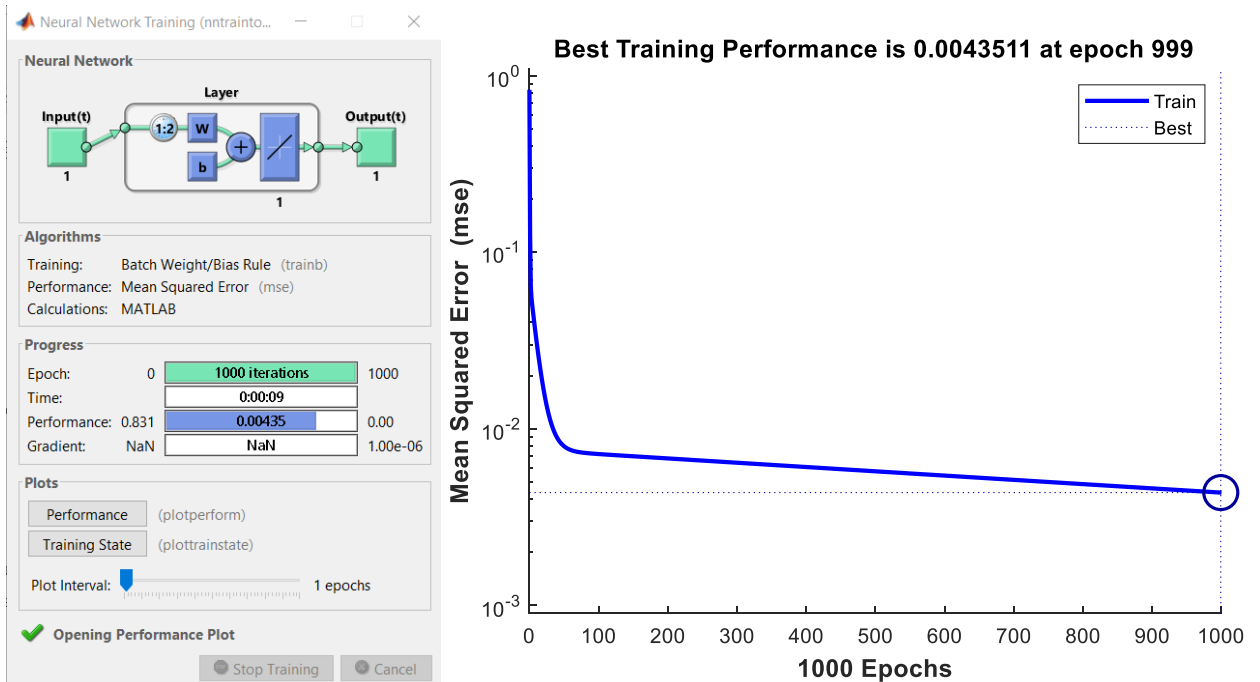


Рисунок 1.5 - Результати навчання лінійної НМ з затримкою



## ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ 2 НЕЙРОНІ МЕРЕЖІ ПРЯМОГО ПОШИРЕННЯ

### Завдання:

За заданим диференціальним рівнянням лінійної динамічної ланки 2-го порядку необхідно:

- побудувати математичну модель динамічної ланки 2-го порядку у Simulink MatLab;
- визначити реакцію динамічної ланки при подачі на його вхід  $X(t)$  сигналів: одиничного стрибка та синусоїдального (прийняти параметри налаштування за замовченням);
- сформулювати опис графіків перехідного процесу масивами: временного ряду моделювання та значень вихідного сигналу  $Y(t)$ , здійснити побудову графіку перехідного процесу;
- побудувати цифровий двійник математичної моделі динамічної ланки 2-го порядку з використанням нейронної мережі прямого поширення (ШНМ ПП). При побудові ШНМ ПП в якості вхідних параметрів використати масив временного ряду, а цільової функції - масив значень вихідного сигналу  $Y(t)$ ;
- згенерувати побудовану нейронну мережу у Simulink MatLab та порівняти вихідні сигнали математичної моделі та нейронної мережі.

Таблиця 2.1 – Завдання до виконання індивідуально завдання 2

Варіант	Рівняння
1	$2 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 0,4 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
2	$0,5 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 0,25 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
3	$2 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
4	$3 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 1,5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
5	$4 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
6	$5 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 2,5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
7	$6 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 3 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
8	$7 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 3,5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
9	$8 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 4 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
10	$9 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 4,5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
11	$2 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$

Продовження табл. 2.1

Варіант	Рівняння
12	$2,5 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 1,4 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
13	$3,5 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
14	$\frac{d^2y(t)}{dt^2} + 0,2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
15	$5 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 3 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
16	$7 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 4,4 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
17	$0,5 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 0,04 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
18	$2 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 0,4 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
19	$10 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 4 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$
20	$2,9 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + 1,4 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$

**Приклад виконання.**

Завдано диференційно рівняння лінійної динамічної ланки 2-го порядку.

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} + 0,5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$$

Представимо диференційно рівняння у формі Лапласа:

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} + 0,5 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t) \Leftrightarrow W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{s^2 + 0.5s + 1}$$

Здійснюємо побудову математичної моделі у MatLab Simulink для отримання реакції ланки на одиничний стрибок (див. рис.2.1 ).

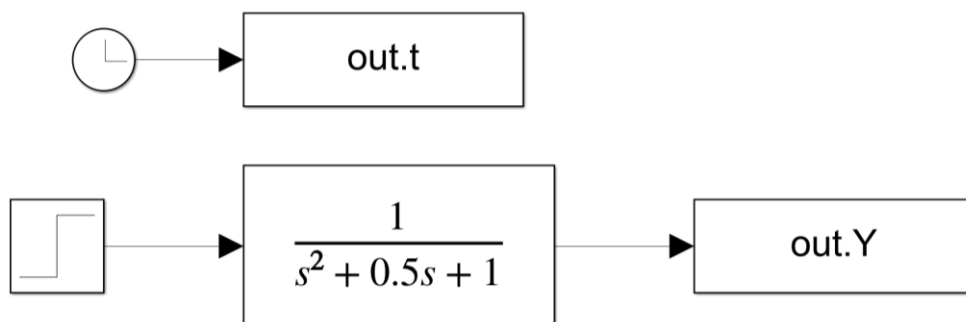


Рисунок 2.1 - Математична модель системи в MatLab Simulink лінійної динамічної ланки 2-го порядку

Виконаємо моделювання (примітка: PR11 - ім'я файлу моделі, 20 – час моделювання):

```
>> simOut=sim('PR11',20);
```

та побудуємо графік перехідного процесу (див. рис. 2.2):

```
>> figure(1);  
>> plot(simOut.t,simOut.Y);  
>> xlabel('t,c');  
>> ylabel('Y(t)');  
>> grid;
```

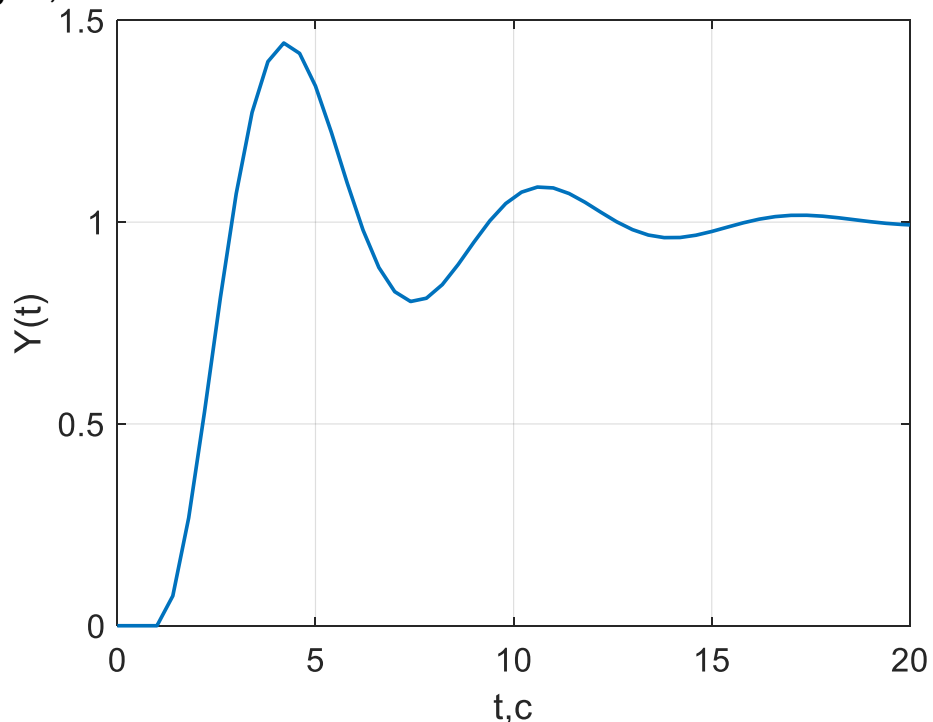


Рисунок 2.2 - Вихідний сигнал динамічного об'єкта

Задаємо навчальну вибірку, параметри нейронної мережі та навчання згідно програми MatLab:

```
P = simOut.t';  
T = simOut.Y';  
net=newff([0 20], [15,1], {'tansig','purelin'}, 'trainlm');  
net.trainParam.show = 50;  
net.trainParam.lr = 0.005;  
net.trainParam.epochs = 100;  
net.trainParam.goal = 0.0001;  
net1 = train(net, P, T); % виконуємо моделювання  
A= sim(net1,P);  
figure(2); plot(P,A)
```



grid;

Потім експортуємо отриману нейронну мережу у Simulink (де 0,01 - постійний крок інтегрування за часом):

```
>> gensim(net1,0.01)
```

За результатом виконання команди gensim формується блок Custom Neural Network (див. рис 2.3).

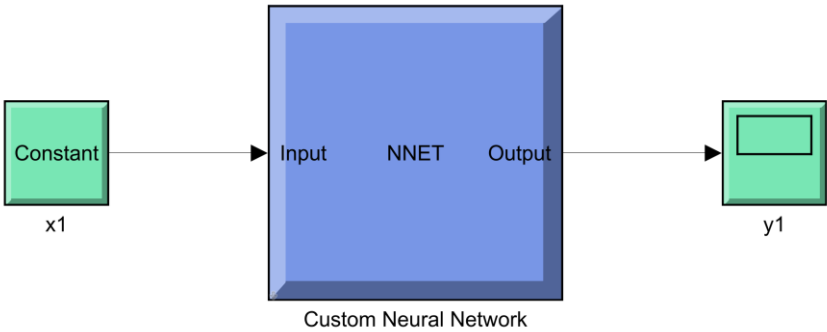


Рисунок 2.3 - Блок Custom Neural Network синтезованої НМ

Сформований блок додаємо до математичної моделі лінійної динамічної ланки 2-го порядку, як зображено на рисунку 2.4.

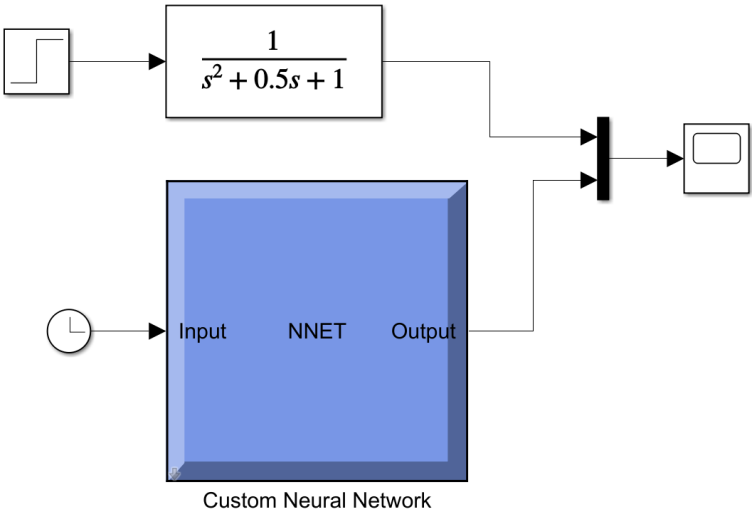
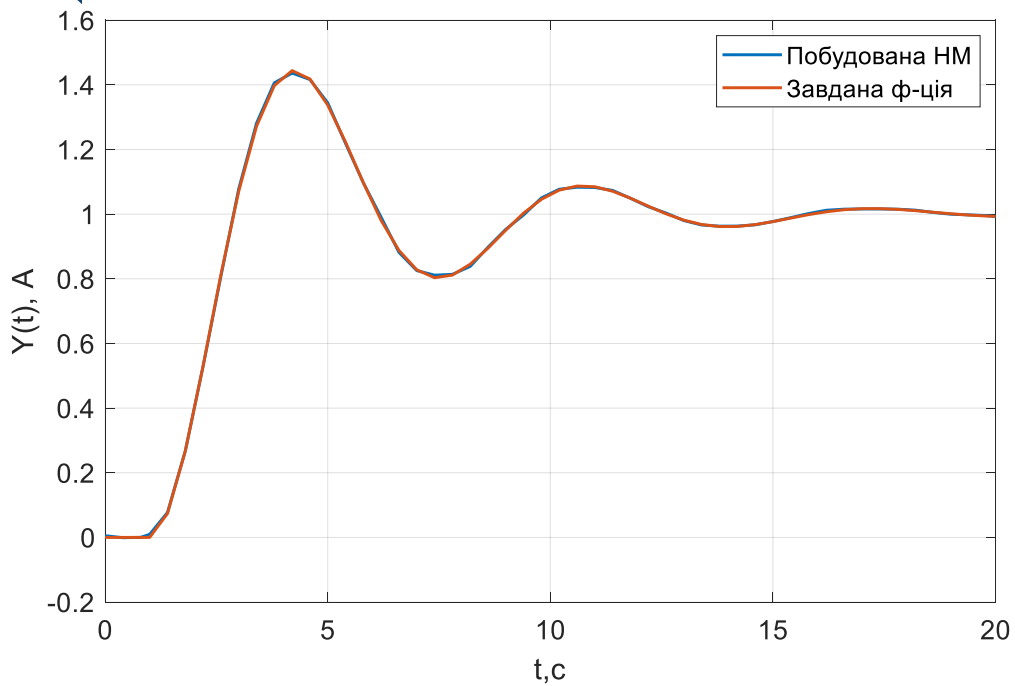


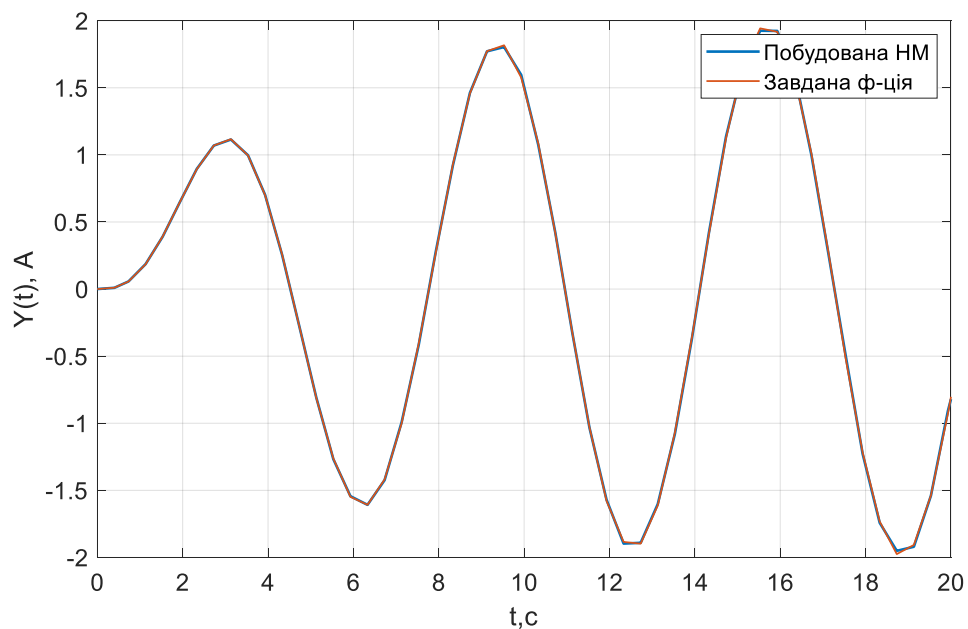
Рисунок 2.4 - Порівняння динамічної ланки та його апроксимації

Схема наведена на рисунку 2.4, дозволяє порівняти вихідні сигнали передавальної функції та нейронної мережі. З графіків порівняння сигналів зображених на рисунку 2.5 можливо зробити висновок, що вихідні сигнали досить близькі.



*Рисунок 2.5 - Виходи динамічної ланки та нейронної мережі*

Однак очевидно, що при зміні вхідного сигналу динамічної системи (наприклад, при заміні step на sine wave) вихідний сигнал також буде змінюватися, і буде потрібно формування нової навчальної вибірки (рис. 2.6).



*Рисунок 2.6 - Порівняння реакцій на синусоїдальний сигнал після перенавчання НМ*

Таким чином, при зміні вхідного сигналу потрібне перенавчання нейронної мережі. У цьому полягає статичність її поведінки.

## ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ 3. ВИЛУЧЕННЯ КЕРУЮЧИХ ПРАВИЛ З ІНФОРМАЦІЇ ПРО ПРОЦЕС УПРАВЛІННЯ

### Завдання

З використанням модулю ANFIS здійснити вилучення керуючих правил з інформації про процес управління, що описана базою даних.

Експериментальні дані рекомендовано використовувати з матеріалів об'єкту автоматизації з кваліфікаційної роботи магістра або з міждисциплінарного курсового проекту.

### Приклад виконання

За експериментальними даними будуємо у MS Excel матрицю залежності вихідного параметра у від двох вхідних параметрів  $x_1$  та  $x_2$ , які розташуємо відповідно у стовбці «А» та строчці «1» відповідно (див. рис. 3.1). Надаємо ім'я файлу data2.xls (ім'я може бути будь-яким).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	0	21	24	26	28	33	38	43	48	54	60	66	71	77	82	89
2	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	6,87	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	6,75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	6,63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	6,5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	6,4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	6,37	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	6,3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	6,25	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	6,2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	6,13	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	6,1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	6	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	5,9	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	5,87	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	5,8	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
18	5,75	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
19	5,7	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
20	5,63	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
21	5,6	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
22	5,5	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
23	5,4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1
24	5,37	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1
25	5,3	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1
26	5,25	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1
27	5,2	4	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1
28	5,13	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1
29	5,1	4	4	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
30	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1
31	4,9	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	1	1
32	4,87	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	1	1
33	4,83	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	2	2	1	1
34	4,8	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	1	1

Рисунок 3.1 - Матриця залежності вихідного параметра у від двох вхідних параметрів  $x_1$  та  $x_2$

Імпортуємо базу даних (файл data2.xls) у MatLab як цифрову матрицю (Numerical Matrix) (див. рис. 3.2).

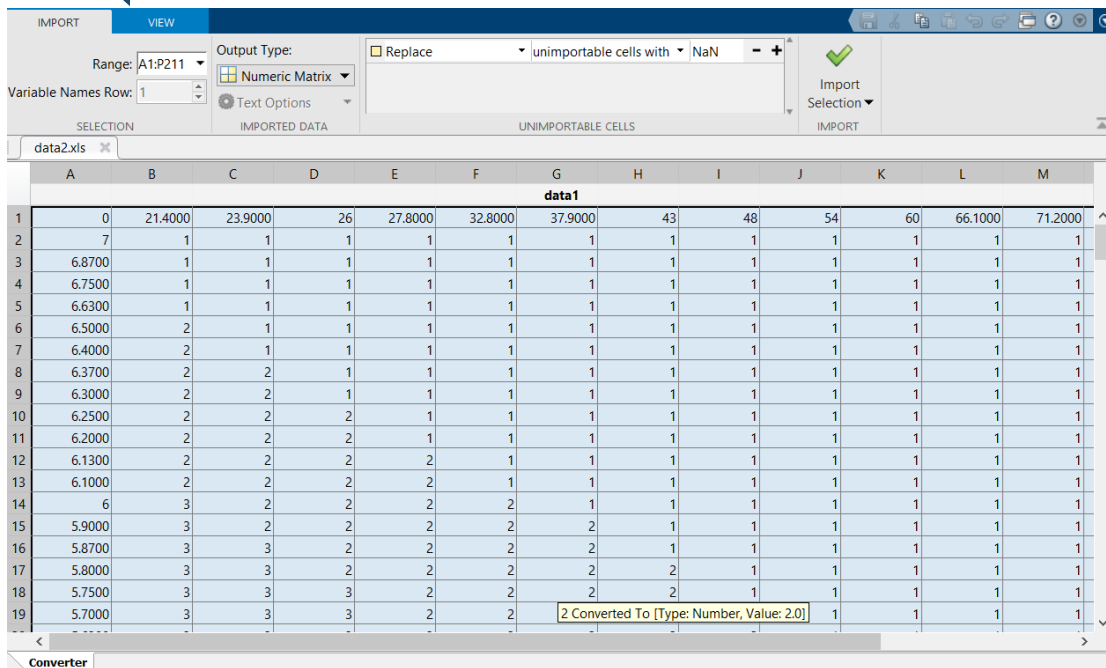


Рисунок 3.2 – Вікно імпорту бази даних у цифрову матрицю

Перетворимо базу даних у 3 стовбця – масиву даних, де 1 стовбець відповідає вхідному параметру  $x_1$ , 2 стовбець вхідному параметру  $x_2$ , а 3 – вихідному значенню  $y$ . Програма перетворення:

```
%%
p=data2(2:end,1);
M=data2(1,2:end);
tabT=data2(2:end,2:end);
[max_i max_j]=size(tabT);
%%
xxT=zeros(max_j*max_i,3);
for i=1:max_i
    for j=1:max_j
        xxT(i+(j-1)*max_i,1)=p(i);
        xxT(i+(j-1)*max_i,2)=M(j);
        xxT(i+(j-1)*max_i,3)=tabT(i,j);
    end
end
%%
anfisedit
```

Результатом виконання програми є формування перетвореної бази даних з ім'ям  $xxT$  (див. рис.3.3).



	1	2	3	4
1	7	21.4000	1	
2	6.8700	21.4000	1	
3	6.7500	21.4000	1	
4	6.6300	21.4000	1	
5	6.5000	21.4000	2	
6	6.4000	21.4000	2	
7	6.3700	21.4000	2	
8	6.3000	21.4000	2	
9	6.2500	21.4000	2	
10	6.2000	21.4000	2	
11	6.1300	21.4000	2	
12	6.1000	21.4000	2	
13	6	21.4000	3	
14	5.9000	21.4000	3	
15	5.8700	21.4000	3	
16	5.8000	21.4000	3	

Рисунок 3.3 – Вікно бази даних з ім'ям xxT

У модулі ANFIS завантажуюємо базу даних xxT натисканням кнопки *Load Data*. Попередньо здійснив налаштування: Type – Training Data; From – worksp. , як зображено на рисунку 3.4.

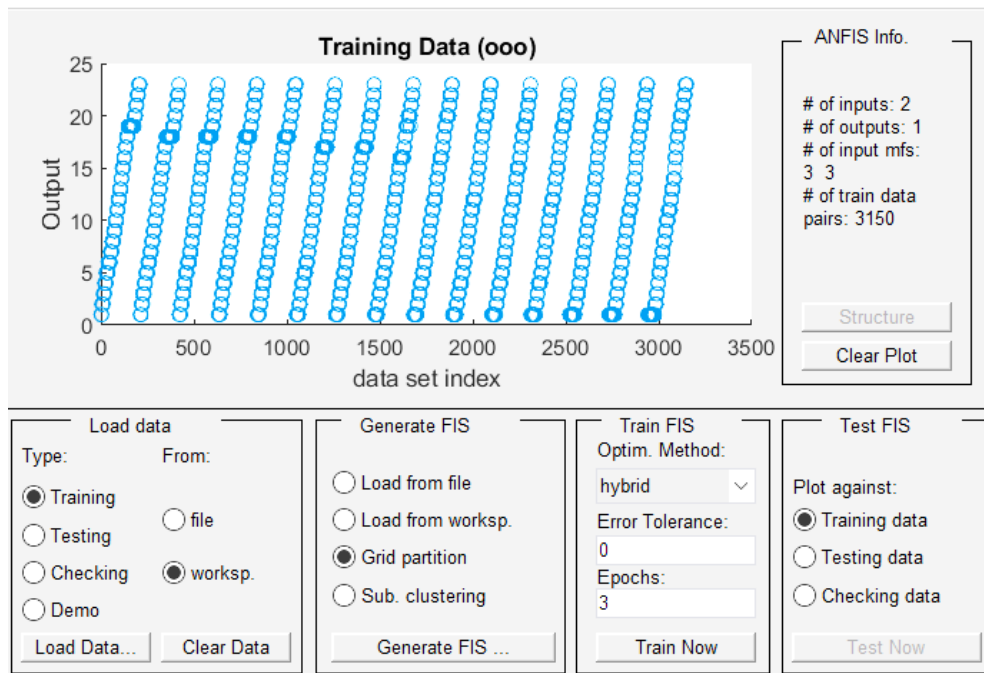


Рисунок 3.4 - Результат завантаження бази даних до модуля ANFIS

Після завантаження даних у меню побудови системи нечіткого логічного висновку *Generate FIS* позначаємо генерування опису вхідних змінних за методом решітки (без кластеризації) - *Grid partition* (див. рис. 3.4).

При виборі *Grid partition* з'являється вікно введення параметрів методу решітки (див. рис. 3.5), в якій вказуємо кількість термів рівної 5 для кожної вхідної змінної та тип функцій приналежності *gaussmf* для вхідних та вихідних змінних (тип функції приналежності може бути іншим в залежності від типу об'єкту управління )

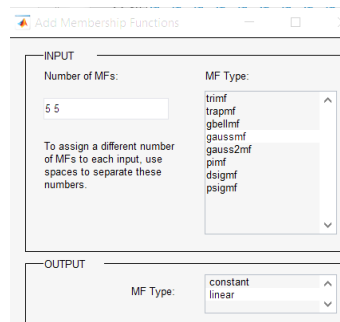


Рисунок 3.5 – Вікно введення параметрів методу решітки

У вікні модуля *ANFIS* натисканням кнопки *Structure* можливо переглянути згенеровану структуру система нечіткого логічного виводу представляє у вигляді нейро-нечіткої мережі (див. рис. 3.6). Для даного випадку кількість входів мережі дорівнює 2 - кількості стовпців навчальної вибірки. Кількість нейронів 2-4 шари відповідає кількості правил яка дорівнює 25.

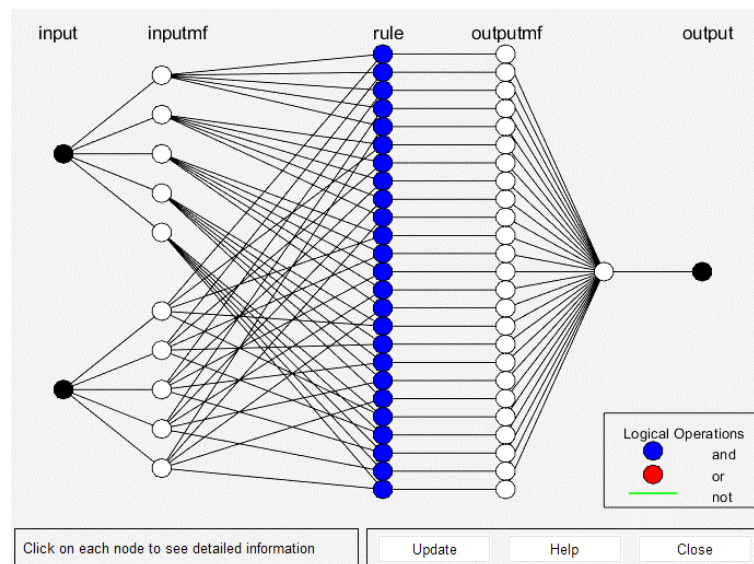


Рисунок 3.6 – Згенерована нейронечітка структура

На наступному кроці проводиться навчання побудованої нейронечіткої моделі. В область навчання (*Train FIS*) обраємо гібридний метод оптимізації (*Optim. Method - Hybrid*), у полі завдання необхідної точності навчання (*Error tolerance*) встановлюємо значення

0, а у полі завдання кількості ітерацій навчання (*Epochs*) встановлюємо 10 епох (див. рис. 3.4).

Проводимо навчання натисканням кнопки *Train Now*. Проміжні результати навчання наведені на рисунку 3.7 виводяться в область візуалізації та робочу область MatLab.



Рисунок 3.7 - Проміжні результати навчання

По завершенню навчання за даними навчання *Training Data* проводиться тестування нейронечіткої системи (*Test FIS*). Після натискання кнопки *Test Now*, відбувається тестування нечіткої системи з виведенням результатів у область візуалізації які наведені на рис. 3.8.

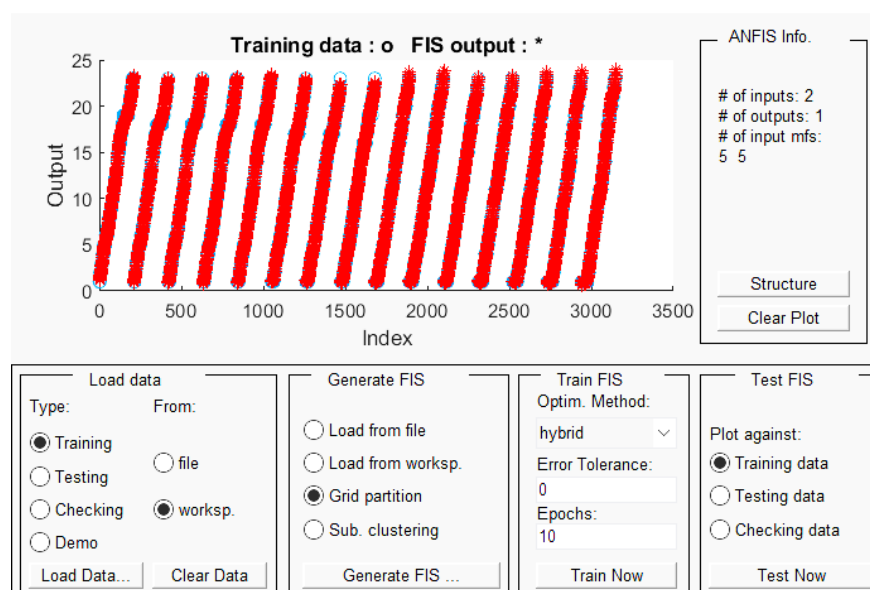


Рисунок 3.8 – Результати тестування нечіткої системи

Після виконання вище наведених операції у вікні редактора модуля ANFIS (див. рис.12 .5) в меню Edit викликаємо редактор системи нечіткого висновку (Fuzzy Inference System – FIS) натисканням - FIS Properties (див. рис. 3.9).

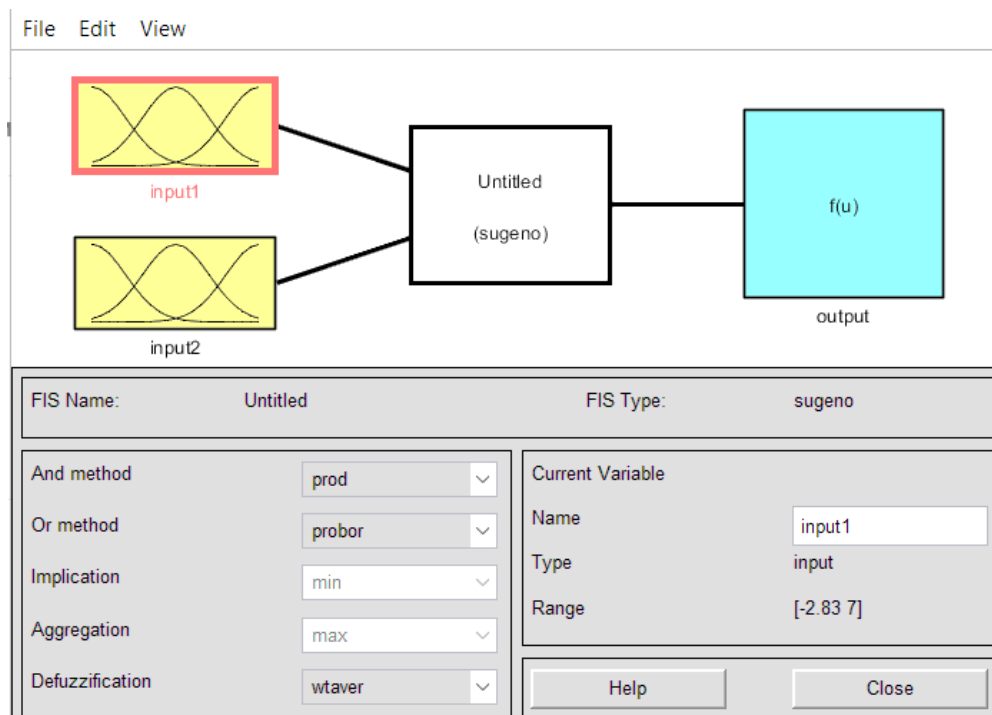


Рисунок 3.9 – Згенерований інтерфейс FIS editor

Опис у синтезовану *FIS editor* відповідає налаштуванням здійсненим *Generate FIS* (див. рис. 3.5).

Для опису вхідних та вихідних логічних змінних у *Generate FIS* призначено гаусовські функції приналежності.

Результат налаштування функцій приналежності змінних наведено на рис. 3.10.

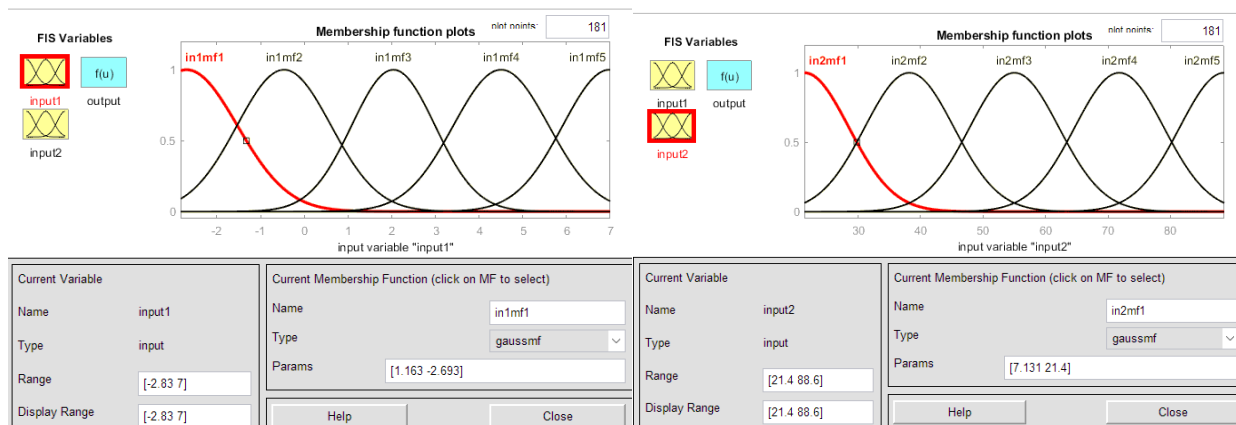


Рисунок 3.10 – Результат налаштування функцій приналежності змінних



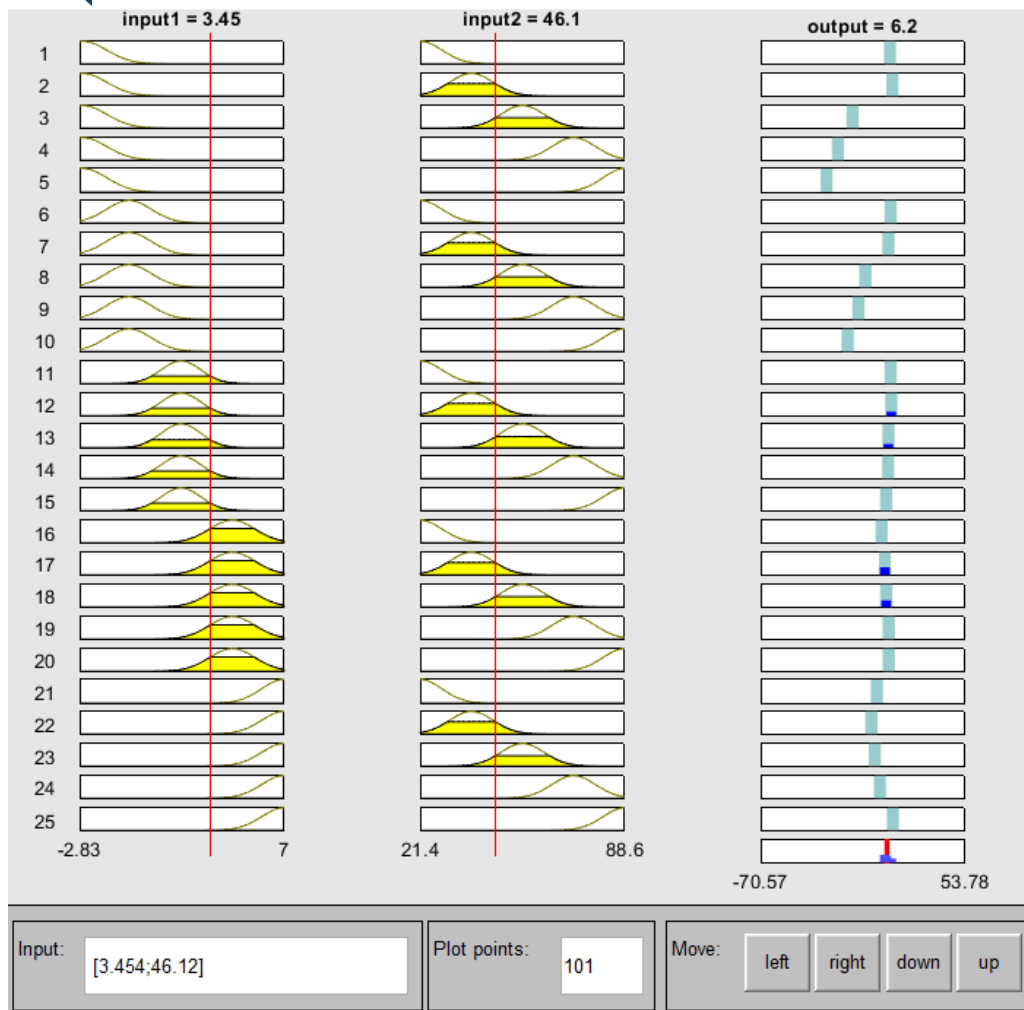


Рисунок 3.12 - Робота системи нечіткого висновку

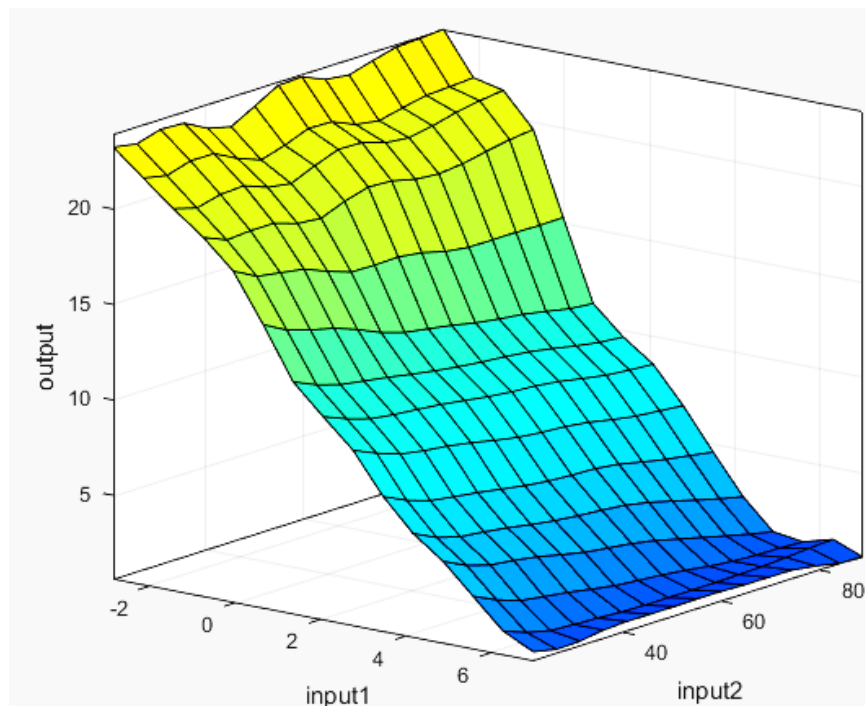
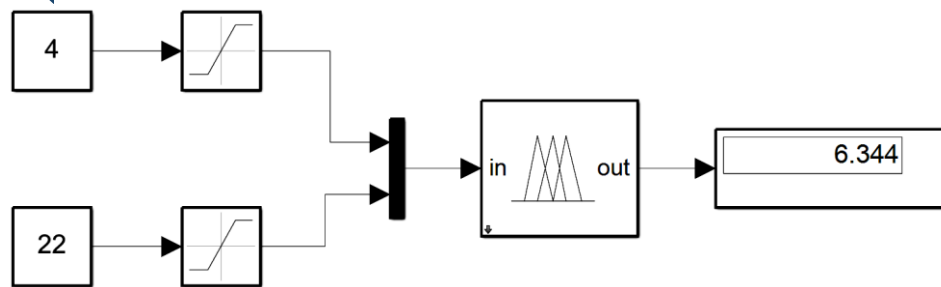


Рисунок 3.13 - Графічне подання закону управління



*Рисунок 3.14 - Simulink модель функціонування згенерованої нечіткої системи управління за базою даних*

Перевірка правильності функціонування моделі здійснюється шляхом завдання на вхід Fuzzy Logic Controller двох вхідних параметрів  $x_1$  та  $x_2$  з бази даних. При вірному налаштуванні нечіткої системи управління на виході Fuzzy Logic Controller формується відповідне значення  $y$ . (див. рис. 3.14).



## ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ 4. СИНТЕЗ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА ПО ДАНИМ

### Завдання

З використанням модулю ANFIS здійснити синтез нечіткого регулятора по даним.

В таблиці 4.1 наведено передаточна функція об'єкту керування. САР являє собою послідовно включений ПД-регулятор та об'єкт керування, які охоплені одиничним зворотним зв'язком

*Таблиця 4.1 – Завдання до виконання індивідуально завдання 4*

<i>Варіант</i>	<i>Рівняння об'єкту керування</i>
1	$W(p) = \frac{2}{2p^2 + p + 1}$
2	$W(p) = \frac{3}{0.2p^2 + 0.1p + 1}$
3	$W(p) = \frac{4}{2p^2 + 0.5p + 1}$
4	$W(p) = \frac{1}{0.5p^2 + 0.25p + 1}$
5	$W(p) = \frac{6}{0.8p^2 + 0.4p + 1}$
6	$W(p) = \frac{3}{p^2 + 0.8p + 1}$
7	$W(p) = \frac{7}{5p^2 + 2.5p + 1}$
8	$W(p) = \frac{5}{2p^2 + 1.1p + 1}$
9	$W(p) = \frac{2.5}{6.2p^2 + 3p + 1}$
10	$W(p) = \frac{3.6}{2p^2 + p + 1}$
11	$W(p) = \frac{4.5}{3p^2 + 1.5p + 1}$
12	$W(p) = \frac{10}{0.5p^2 + 0.25p + 1}$
13	$W(p) = \frac{8.8}{8p^2 + 4p + 1}$
14	$W(p) = \frac{3}{1.5p^2 + 0.8p + 1}$
15	$W(p) = \frac{4.7}{5.6p^2 + 3p + 1}$

Продовження табл. 4.1

Варіант	Рівняння
16	$W(p) = \frac{6.3}{5.2p^2 + 2.1p + 1}$
17	$W(p) = \frac{2.4}{2.7p^2 + 1.3p + 1}$
18	$W(p) = \frac{3}{0.2p^2 + 0.11p + 1}$
19	$W(p) = \frac{4}{2p^2 + 1.3p + 1}$
20	$W(p) = \frac{6}{7.2p^2 + 3.1p + 1}$

### Приклад виконання

Розглянемо на прикладі синтез нечіткого регулятора по даним.

Нехай є система управління з ПД-регулятором, коефіцієнти якого знайдено методом Зиглера-Нікольса.

Визначення коефіцієнтів передачі регулятора методом Зиглера-Нікольса

Задаємо на математичній моделі  $K_D = 0$ , а коефіцієнт пропорційної складової регулятора збільшуємо до значення при якому у системі виникає коливальний перехідний процес з однаковим періодом коливань. У даному випадку такі коливання у системі управління настають при значенні  $K = K_P = 92$ .

На графіку перехідного процесу визначається період коливань  $T = 1,2$ .

Розраховуємо коефіцієнти передачі ПД-регулятора

$$K_p = 0.6K = 0,6 \cdot 92 = 55,2;$$

$$K_D = \frac{K_p T}{8} = \frac{55,2 \cdot 1,2}{8} = 8,3.$$

Математична модель системи управління з налаштованим ПД-регулятором наведена на рисунку 4.1.

На рисунку 4.2 наведено графік перехідного процесу системи управління з ПД-регулятором.

На рис. 4.3 та 4.4 показані графіки зміни помилки управління, її похідної та сигналу управління протягом перехідного процесу.

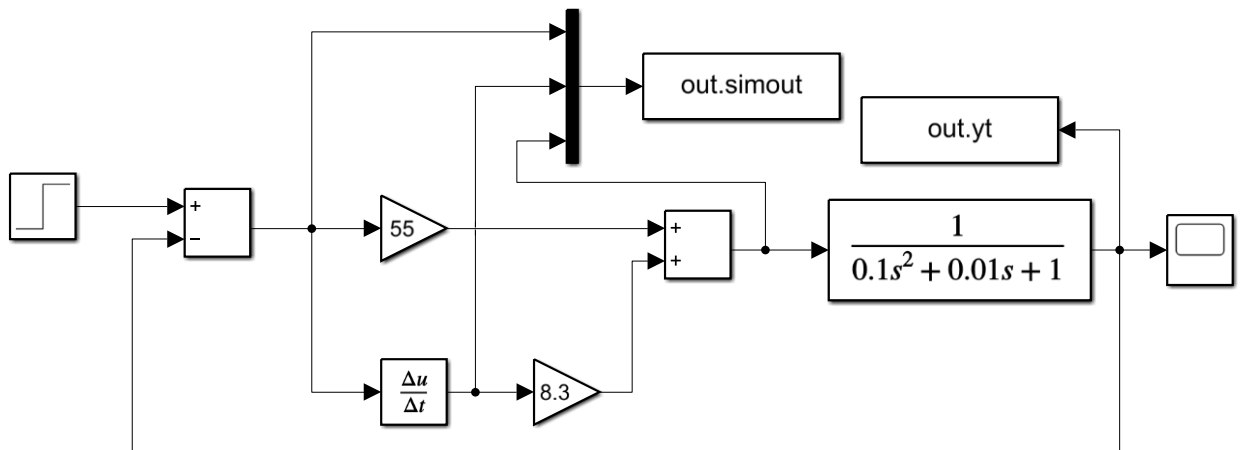


Рисунок 4.1 – Математична модель системи управління з ПД-регулятором

Потрібно синтезувати НЛР виходячи з інформації про процес управління.

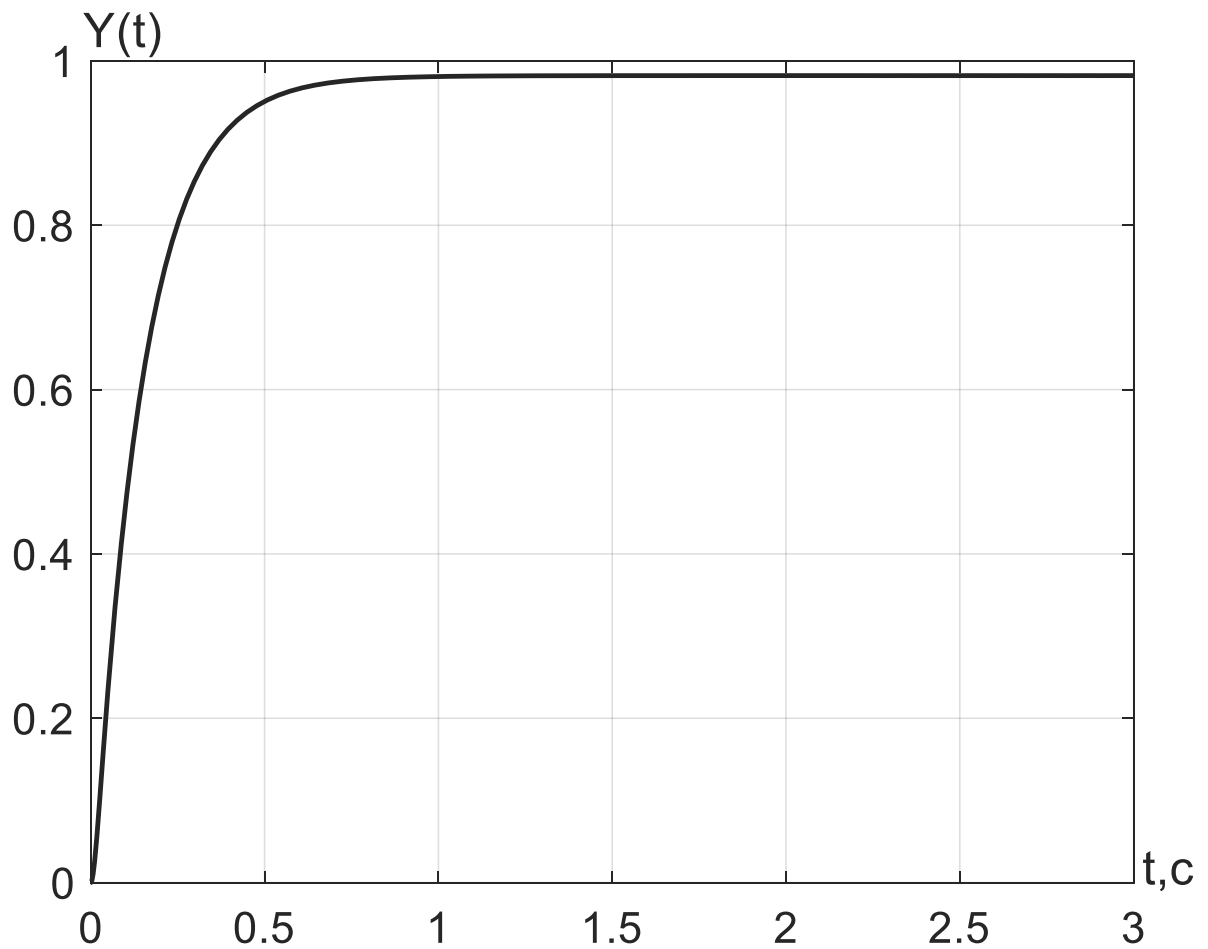


Рисунок 4.2 – Графік перехідного процесу системи управління з ПД-регулятором

Побудуємо поверхню відгуку ПД-регулятора за допомогою команд

```
x1=out.simout(:,1);  
x2=out.simout(:,2);  
x3=out.simout(:,3);  
figure (1)  
plot(out.tout,out.yt); grid;  
figure(2)  
plot(out.tout,x1,out.tout,x2);grid;  
figure (3)  
[X, Y] = meshgrid(x1, x2);  
Z=55*X+8.3*Y;  
plot3(X,Y,Z);  
figure(4)  
plot(out.tout,x3);grid;
```

Результат виконання програми подано на рис. 4.3...4.5.

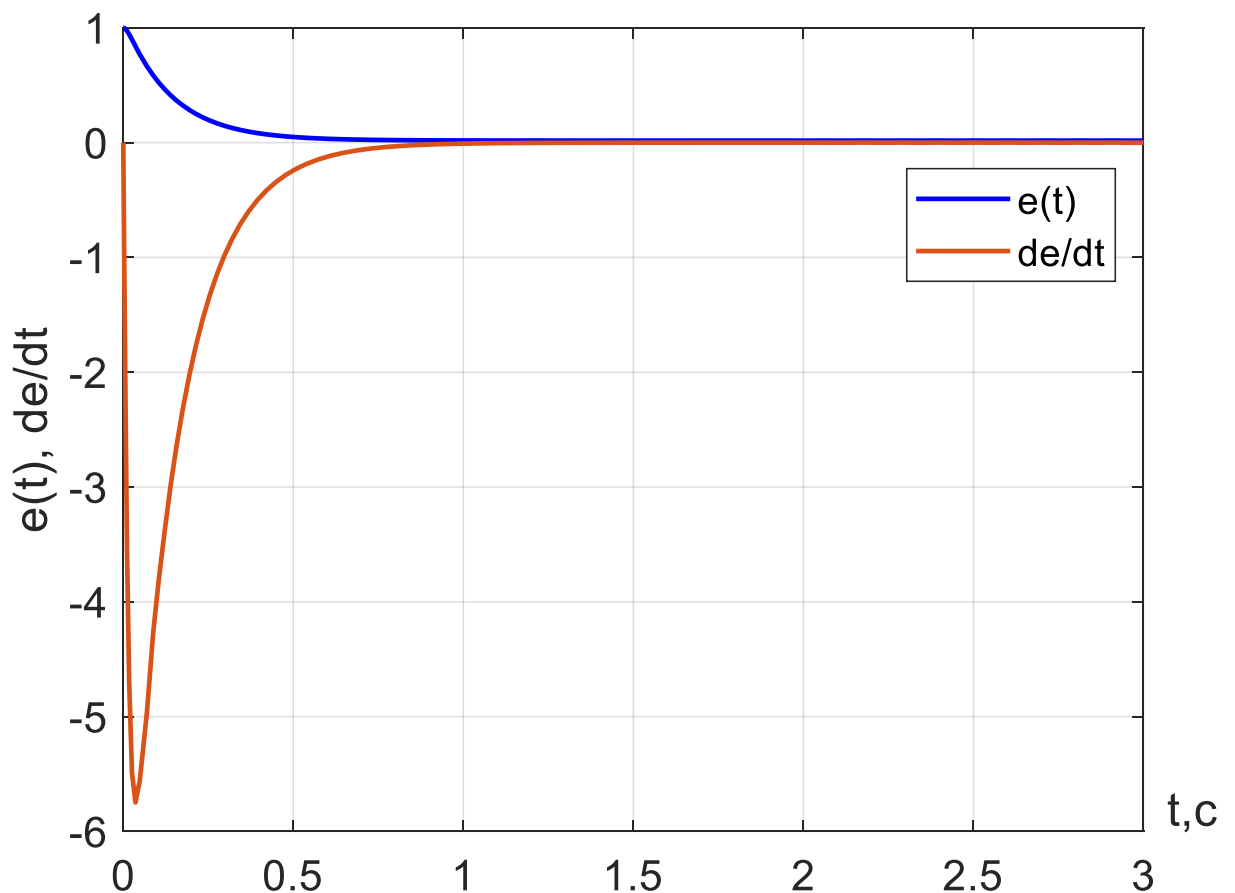


Рисунок 4.3 – Графік зміни помилки та її похідної

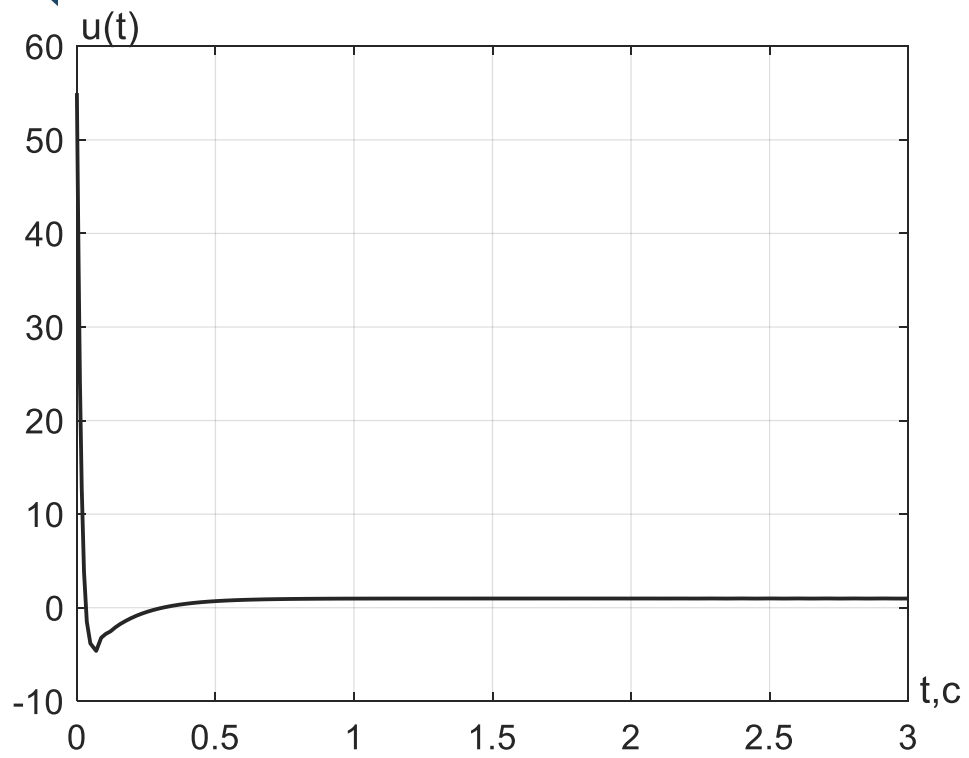


Рисунок 4.4 – Графік зміни сигналу управління за час перехідного процесу

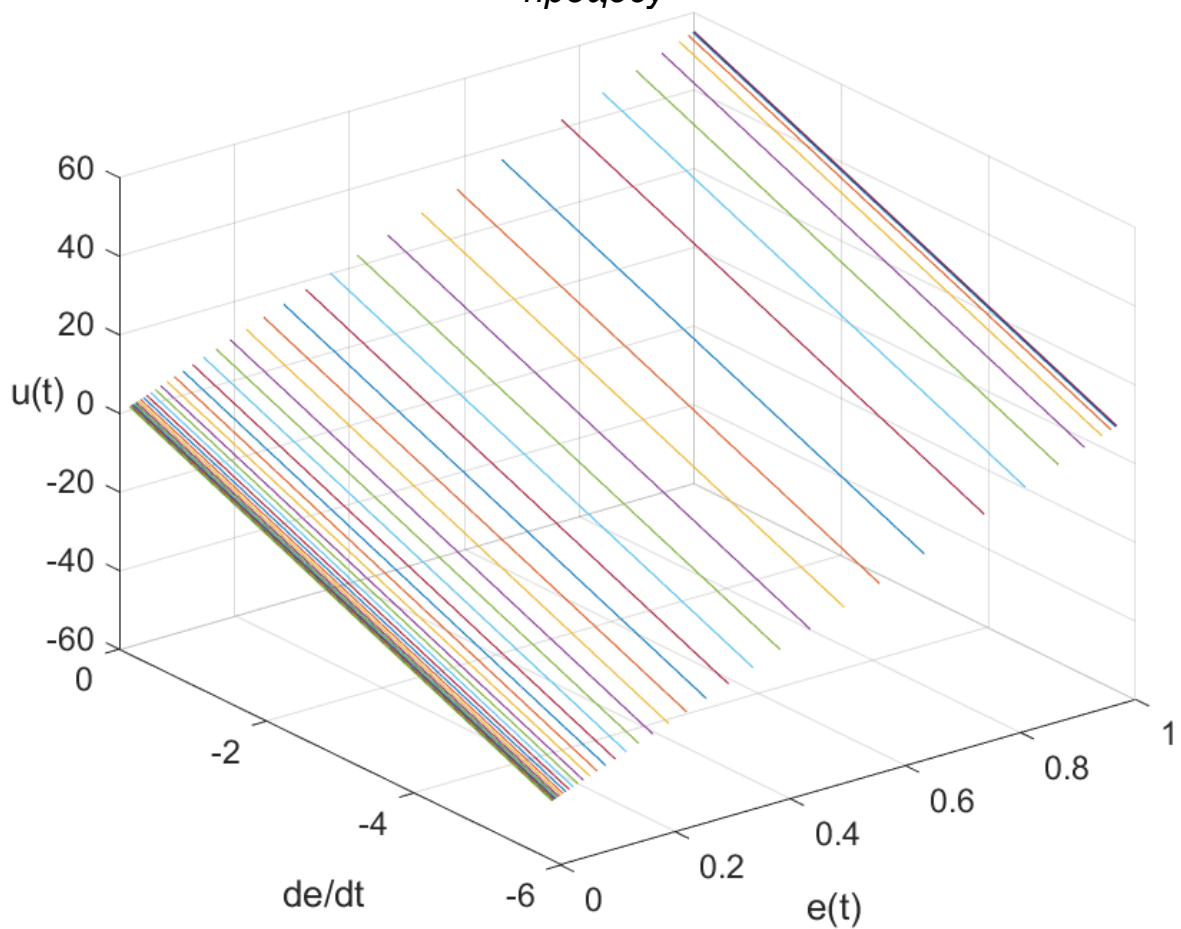



Рисунок 4.5 – Поверхня відгуку ПД-регулятора



Масштаб горизонтальних осей відповідає діапазону зміни змінних (див. рис. 4.4). Слід підкреслити, що поверхня відгуку є площиною, і будь-яка точка цієї площини завжди відповідає будь-якій вхідної комбінації  $e(t)$  та  $de(t)/dt$ .

Використання блоку `out.simout` (див. рис. 4.1) дозволяє запам'ятати масив розміром  $[3 \times M]$ , у якому перший стовпець відповідає помилці управління  $e(t)$ , другий – похідної помилки  $de(t)/dt$  та третій – сигналу управління  $u(t)$ .

Таким чином, розглядаючи  $N$  моментів часу, отримуємо множину навчальних трійок чисел, що описують рух об'єкта еталонної траєкторії.

Синтез нечіткого регулятора полягає в побудові за цими навчальними даними нечітких правил, так що одне правило має відповідати цілій групі близьких в певному сенсі рядків матриці `simout`.

Виконаємо кластеризацію масиву `simout` за допомогою методу нечітких С-середніх:

```
>> [V, M, obj_fcn] = fcm(simout, 5)
>> V
```

```
V =
```

```
0.9999 -0.1131 54.0535
0.0418 -0.1756 0.8412
0.9665 -3.8177 21.4727
0.9909 -2.0456 37.5241
0.5348 -3.8221 -2.3102
```

Кожен стовпець матриці  $V$  визначає центри термів відповідної лінгвістичної змінної: 1-й стовпець – «помилка управління», 2-й стовпець – «похідна помилки управління», 3-й стовпець – «сигнал управління».

Налаштуємо редактор системи нечіткого висновку (Fuzzy Inference System – FIS) натисканням - FIS Properties (див. рис. 4.6).

У `FIS editor` задається опис систему нечіткого логічного висновку *Mamdani*. Для створюваної системи обирається вид логічного зв'язку (*And method – min*) та (*Or method – max*), вид імплікації (*Implication – min*), спосіб агрегування висновків правил (*Aggregation – max*) та метод дефазифікації (*Defuzzification – centroid*).

У меню `Edit` послідовно додаємо 2 вхідні змінні «помилка управління», «похідна помилки управління» та вихідну змінну.

Для опису вхідних логічних змінних у редакторі функцій приналежності (*Membership Function Editor*), задаємо для кожної змінної гаусовську функцію приналежності.

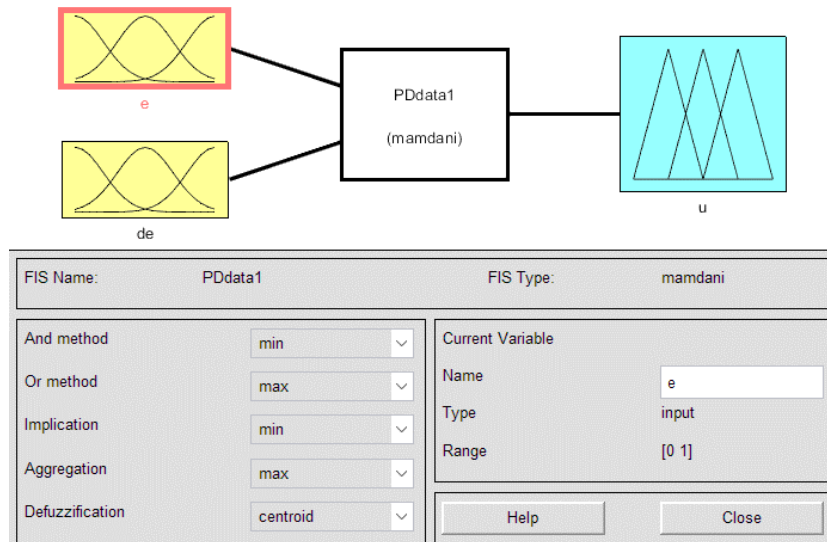


Рисунок 4.6 – Налаштуємо редактор системи нечіткого висновку *FIS editor*

Терми лінгвістичної змінної «Помилка управління» розміщуються відповідно до рис. 4.7 з розміром базової шкали (Range= [0 1]) з 5 параметрами гаусовської функції функцій приналежності, з центрами зазначеними 1-им стовбцем матриці *V*:

Name = "e1"; Type = "gaussmf"; Param = [0.1062 0.9943];  
Name = "e2"; Type = "gaussmf"; Param = [0.1062 0.3631];  
Name = "e3"; Type = "gaussmf"; Param = [0.1062 0.6634];  
Name = "e4"; Type = "gaussmf"; Param = [0.1062 0.0332];  
Name = "e5"; Type = "gaussmf"; Param = [0.1062 0.1578].

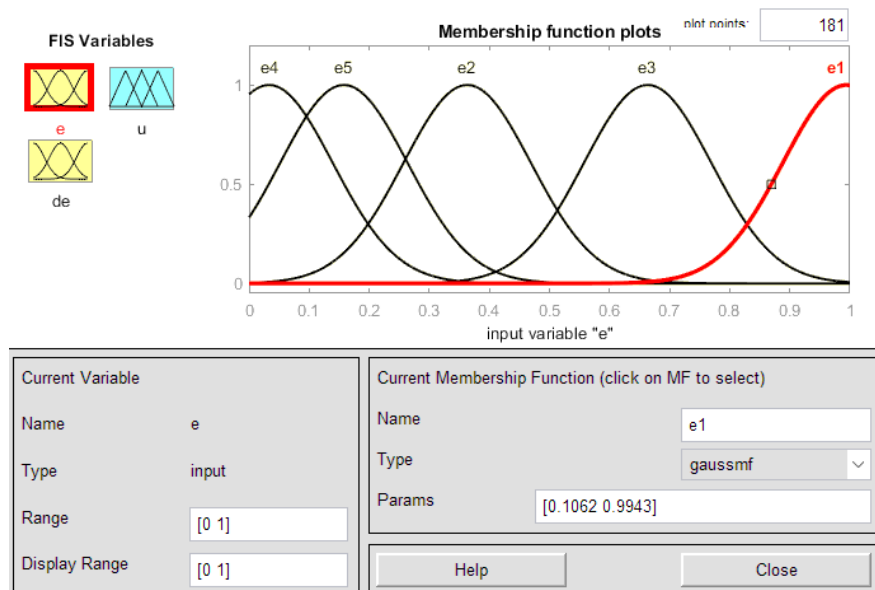


Рисунок 4.7 – Результат налаштування функцій приналежності вхідних змінних «Помилка управління»

Для опису вхідних логічних змінних «Похідна помилки управління» у редакторі функцій приналежності (*Membership Function Editor*), з розміром базової шкали (Range= [-4.8 -0.111]) задаємо для кожної вихідної змінної гаусовську функцію приналежності з центрами зазначеними 2 стовбцем матриці V. 3 параметрами:

Name = "de1"; Type = "gaussmf"; Param = [0.498 -0.569];  
 Name = "de2"; Type = "gaussmf"; Param = [0.498 -2.553];  
 Name = "de3"; Type = "gaussmf"; Param = [0.498 -4.756];  
 Name = "de4"; Type = "gaussmf"; Param = [0.498 -0.1108];  
 Name = "de5"; Type = "gaussmf"; Param = [0.498 -1.029].

Результат налаштування функцій приналежності вхідних змінних «Похідна помилки управління» на рис. 4.8.

Для опису вихідної логічної змінної у редакторі функцій приналежності (*Membership Function Editor*), з розміром базової шкали (Range= [-3 50]), задаємо для кожної вихідної змінної задається гаусовська функція приналежності з центрами зазначеними 3 стовбцем матриці V.

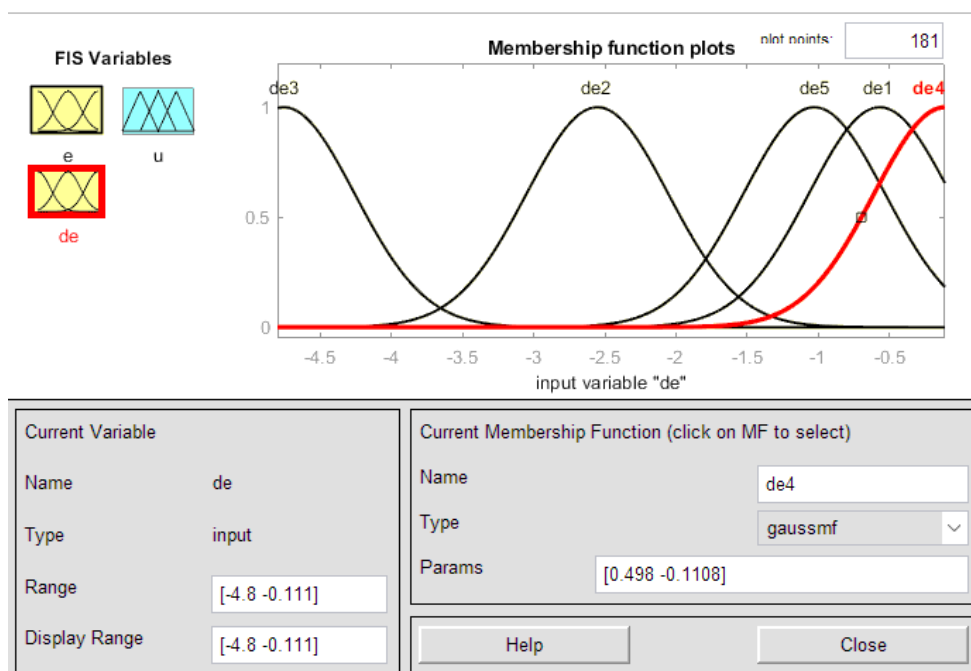
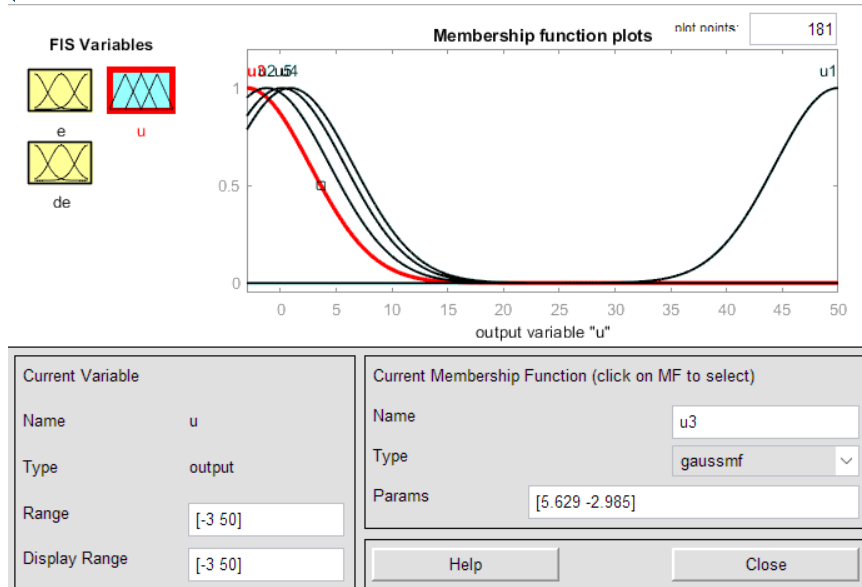


Рисунок 4.8 – Результат налаштування функцій приналежності вхідних змінних «Похідна помилки управління»

Name = "u1"; Type = "gaussmf"; Param = [5.629 49.96];  
 Name = "u2"; Type = "gaussmf"; Param = [5.629 -1.215];  
 Name = "u3"; Type = "gaussmf"; Param = [5.629 -2.985];  
 Name = "u4"; Type = "gaussmf"; Param = [5.629 0.9039];  
 Name = "u5"; Type = "gaussmf"; Param = [5.629 0.1374].

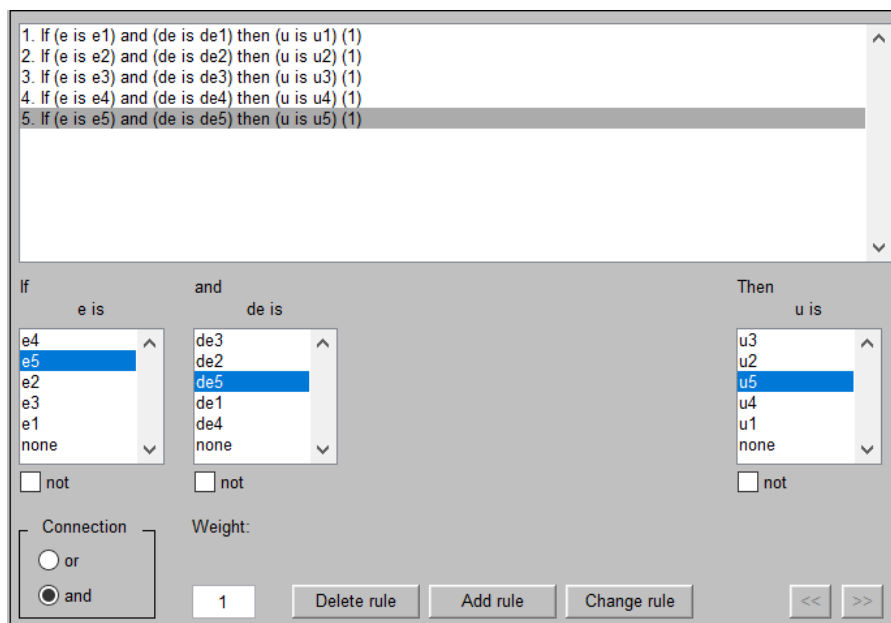
Результат налаштування функцій приналежності вхідних змінних наведено на рис. 4.9.



*Рисунок 4.9 – Результат налаштування функцій приналежності вихідної змінної*

Після опису вхідні та вихідні лінгвістичних змінних, здійснюється опис правил у вікні редактора Rule Editor, Кожен рядок матриці V визначає одне правило управління. Управляючі правила сформульовано згідно з рис. 4.10:

1. if (e is e1) and (de is de1) then (u is u1) (1)
2. if (e is e2) and (de is de2) then (u is u2) (1)
3. if (e is e3) and (de is de3) then (u is u3) (1)
4. if (e is e4) and (de is de4) then (u is u4) (1)
5. if (e is e5) and (de is de5) then (u is u5) (1)



*Рисунок 4.10 - Налаштовування опису правил функціонування*

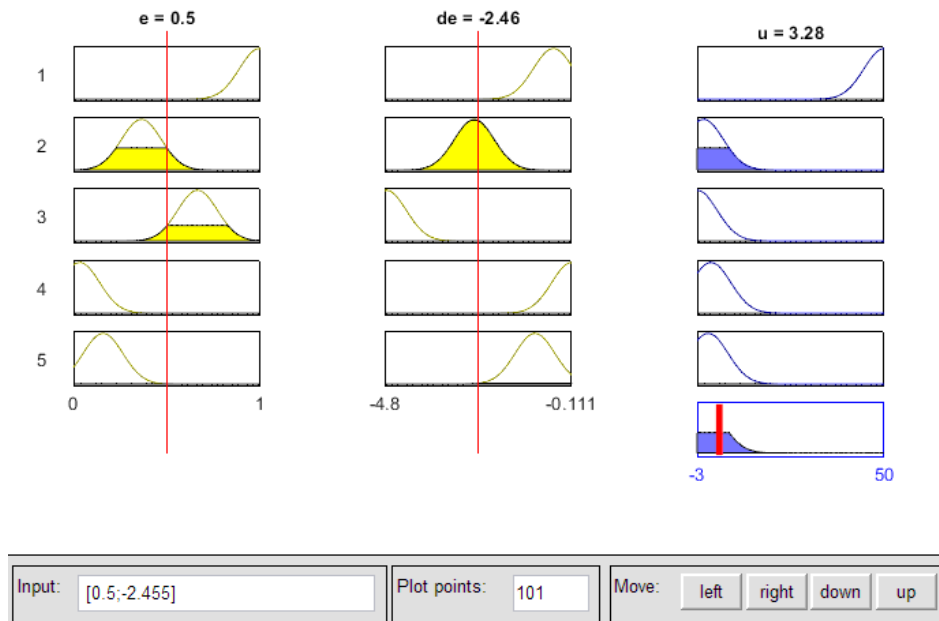


*нечіткого НЛР\_ПД за експериментальними даними*

Посилки у правилах пов'язані (connection) за допомогою операції *and*. Введене правило забезпечене ваговим коефіцієнтом (*Weight=1*).

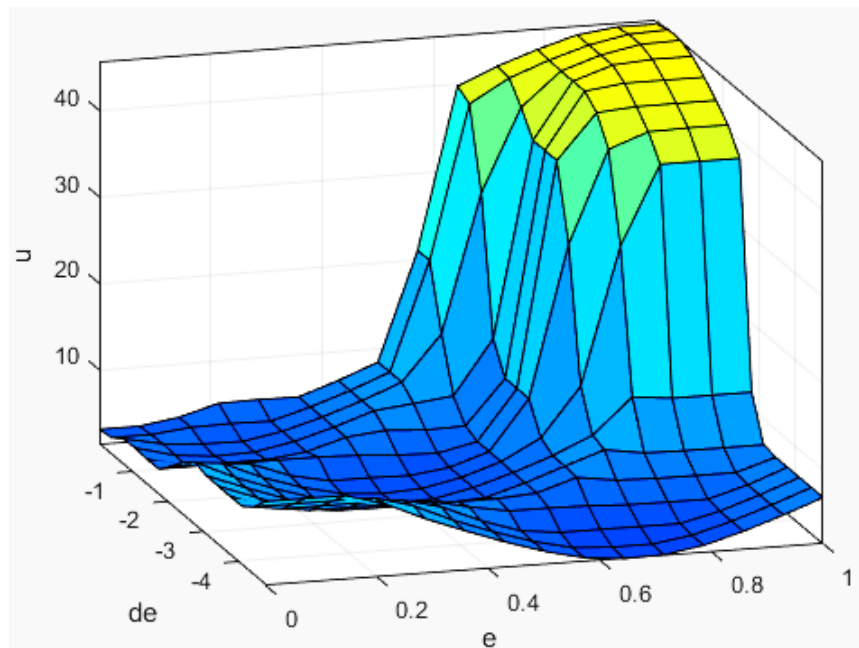
Після опису правил можливо за допомогою

- інтерфейсу *Rule Viewer* можливо переглянути роботу системи нечіткого висновку за різних вхідних даних ( див. рис. 4.11).



*Рисунок 4.11 - Робота системи нечіткого супервізора НЛР\_ПД*

- інтерфейсу *Surface Viewer* можливо переглянути графічне подання закону управління (рис. 4.12).



*Рисунок 4.12 - Графічне подання закону управління*

Після процедур налаштування нечіткого НЛР\_ПД у редакторі системи нечіткого висновку здійснює запис результатів налаштування у Fuzzy Logic Controller. Для цього у вкладці File здійснюємо Export в математичну модуль нечіткого контролера From Workspase вказавши ім'я Fuzzy Logic Controller.

Синтезована нечітка система управління наведена на рисунку 4.13 за результатом отриманого графіку перехідного процесу виявляється нестійкою (див. рис. 4.14).

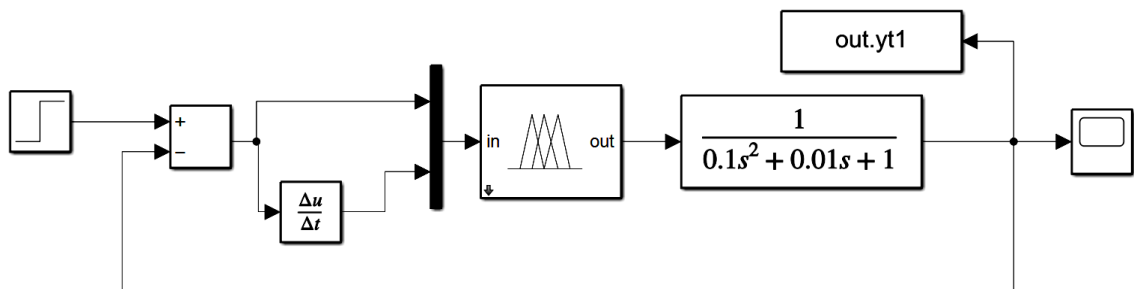


Рисунок 4.13 – Математична модель синтезованої нечіткої системи управління

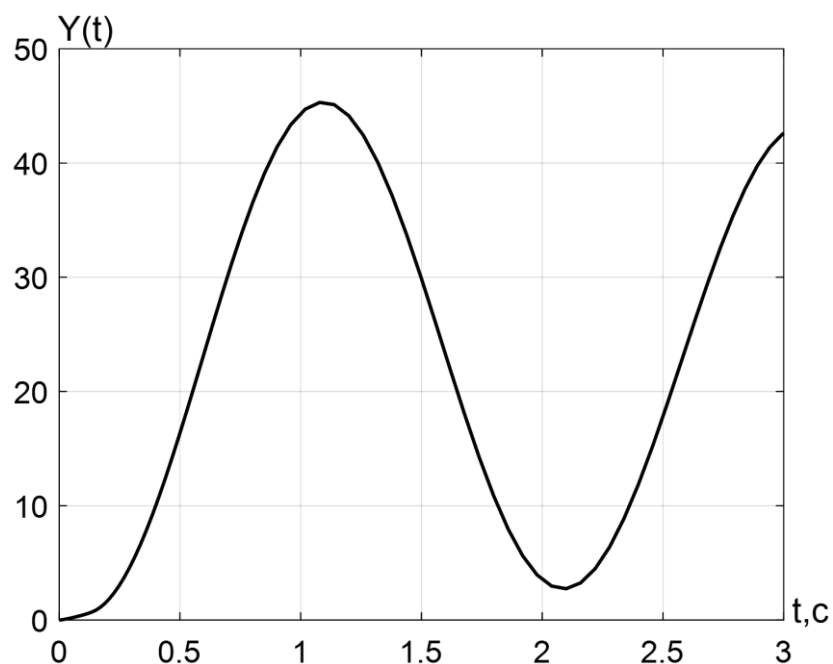


Рисунок 4.14 – Графік перехідного процесу

Наведений приклад показує, що навчальні дані задані графіками рис. 4.3 та 4.4, недостатні для синтезу НЛР шляхом кластеризації.

Для поліпшення якості навчальної вибірки потрібно, щоб у ній були присутні (з деяким кроком) всі варіанти комбінацій вхідних змінних у допустимому діапазоні значень. Такі дані можна використовувати з отриманих масивів експериментальних даних з блоку out.simout (див. рис. 4.1) який формує масив розміром  $[3 \times M]$ , у якому перший стовпець

відповідає помилці управління  $e(t)$ , другий – похідної помилки  $de(t)/dt$  та третій – сигналу управління  $u(t)$ .

Здійснимо синтез НЛР\_ПД з використанням повного діапазону значень у модулі.

Викликаємо модуль *ANFIS* командою

```
>> anfisedit
```

У модулі *ANFIS* завантажуюмо базу даних *out.simout* натисканням кнопки *Load Data*. Попередньо здійснив налаштування: Type – Training Data; From – *worksp.*, як зображено на рисунку 4.15.

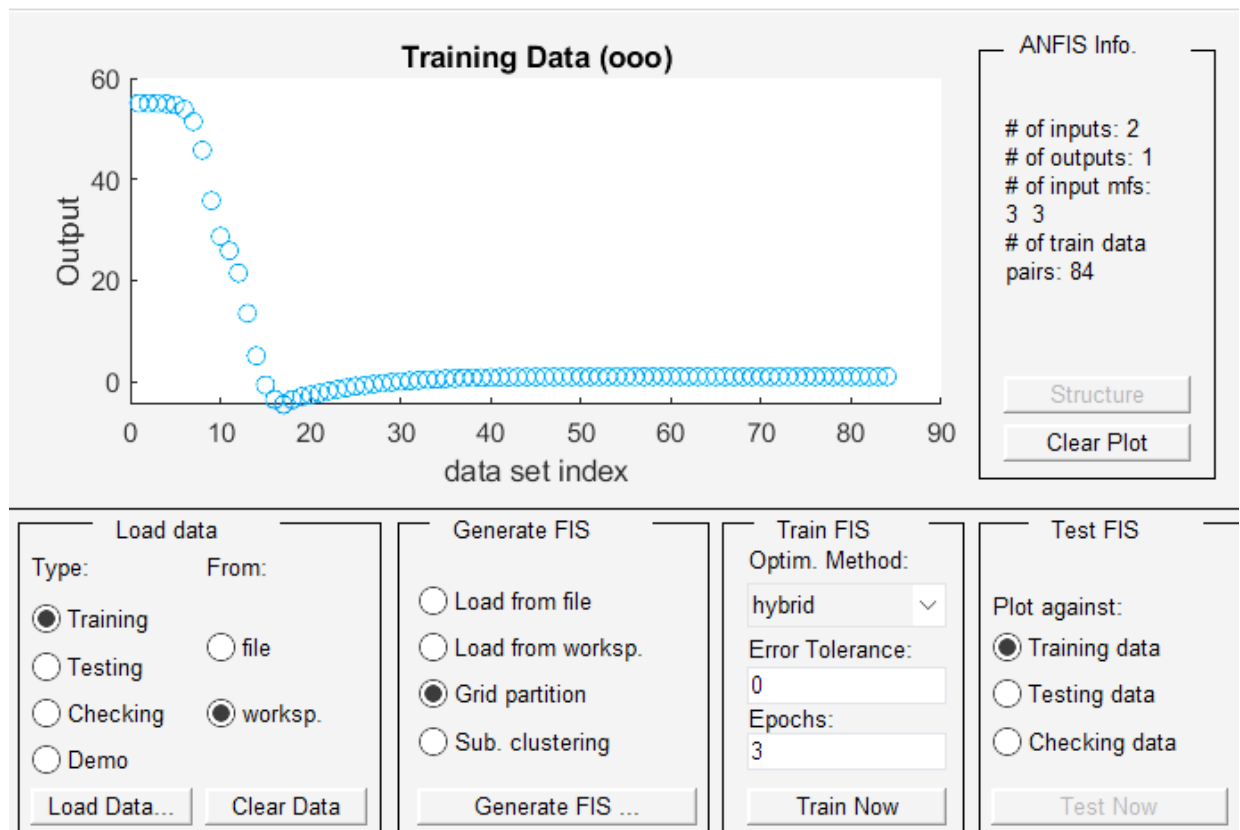


Рисунок 4.15 - Результат завантаження бази даних до модуля *ANFIS*

Після завантаження даних у меню побудови системи нечіткого логічного висновку *Generate FIS* позначаємо генерування опису вхідних змінних за методом решітки (без кластеризації) - *Grid partition* (див. рис. 4.15).

При виборі *Grid partition* з'являється вікно введення параметрів методу решітки (див. рис. 4.16), в якій вказуємо кількість термів рівної 7 для кожної вхідної змінної та тип функцій приналежності *gaussmf* для вхідних та вихідних змінних (тип функції приналежності може бути іншим в залежності від типу об'єкту управління )



Рисунок 4.16 – Вікно введення параметрів методу решітки

У вікні модуля *ANFIS* натисканням кнопки *Structure* можливо переглянути згенеровану структуру система нечіткого логічного виводу представляє у вигляді нейро-нечіткої мережі (див. рис. 4.17). Для даного випадку кількість входів мережі дорівнює 2 - кількості стовпців навчальної вибірки. Кількість нейронів 2-4 шари відповідає кількості правил яка дорівнює 49.

На наступному кроці проводиться навчання побудованої нейронечіткої моделі. В область навчання (*Train FIS*) обраємо гібридний метод оптимізації (*Optim. Method - Hybrid*), у полі завдання необхідної точності навчання (*Error tolerance*) встановлюємо значення 0, а у полі завдання кількості ітерацій навчання (*Epochs*) встановлюємо 10 епох.

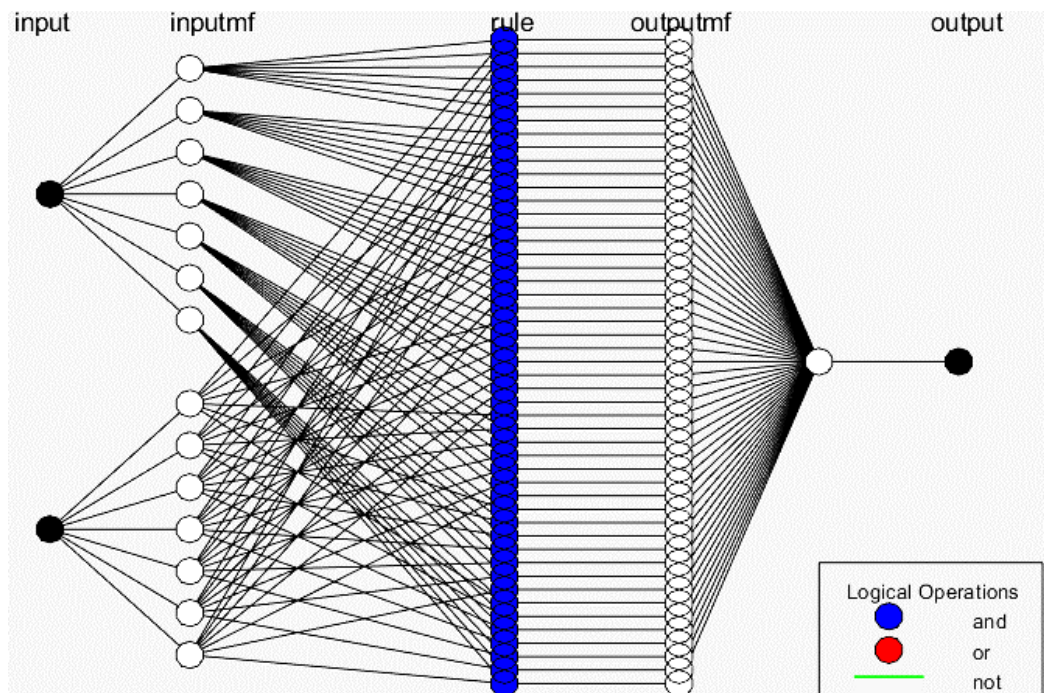


Рисунок 4.17 – Згенерована нейронечітка структура

Проводимо навчання натисканням кнопки *Train Now*. Проміжні результати навчання наведено на рисунку 4.18 виводяться в область візуалізації та робочу область MatLab.



Рисунок 4.18 - Проміжні результати навчання

По завершенню навчання за даними навчання *Training Data* проводиться тестування нейронечіткої системи (*Test FIS*). Після натискання кнопки *Test Now*, відбувається тестування нечіткої системи з виведенням результатів у область візуалізації які наведені на рисунку 4.19.

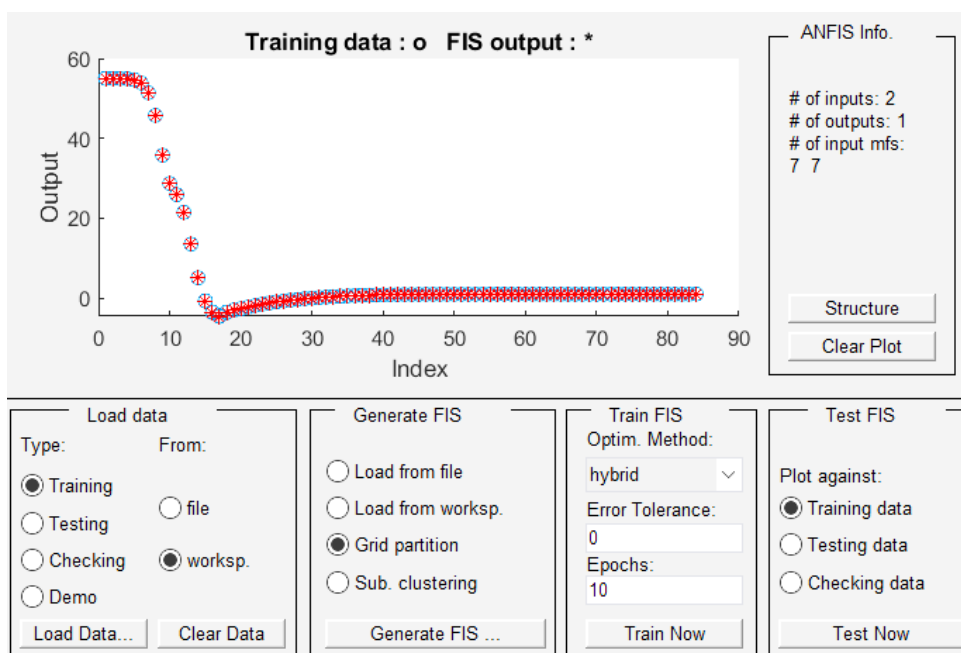


Рисунок 4.19 – Результати тестування нечіткої системи

Після виконання вище наведених операції у вікні редактора модуля ANFIS (див. рис.12 .5) в меню Edit викликаємо редактор системи нечіткого висновку (Fuzzy Inference System – FIS) натисканням - FIS Properties (див. рис. 4.20).

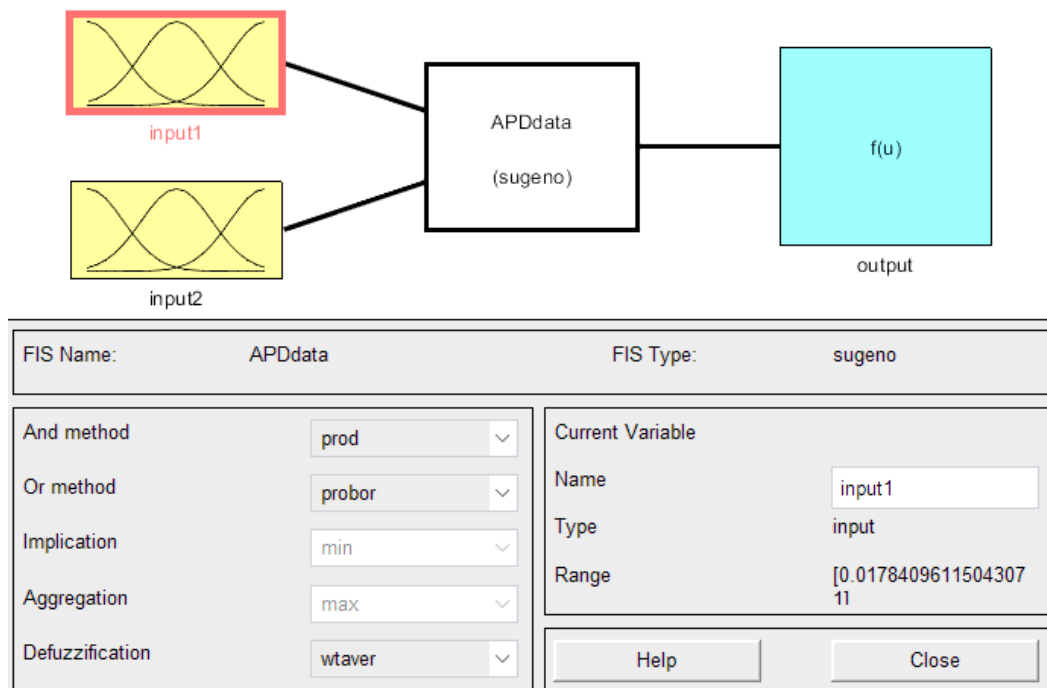


Рисунок 4.20 – Згенерований інтерфейс FIS editor

Опис у синтезовану FIS editor відповідає налаштуванням здійсненим Generate FIS (див. рис. 4.16).

Для опису вхідних та вихідних логічних змінних у Generate FIS призначено гаусовські функції приналежності.

Результат налаштування функцій приналежності змінних наведено на рис. 4.21.

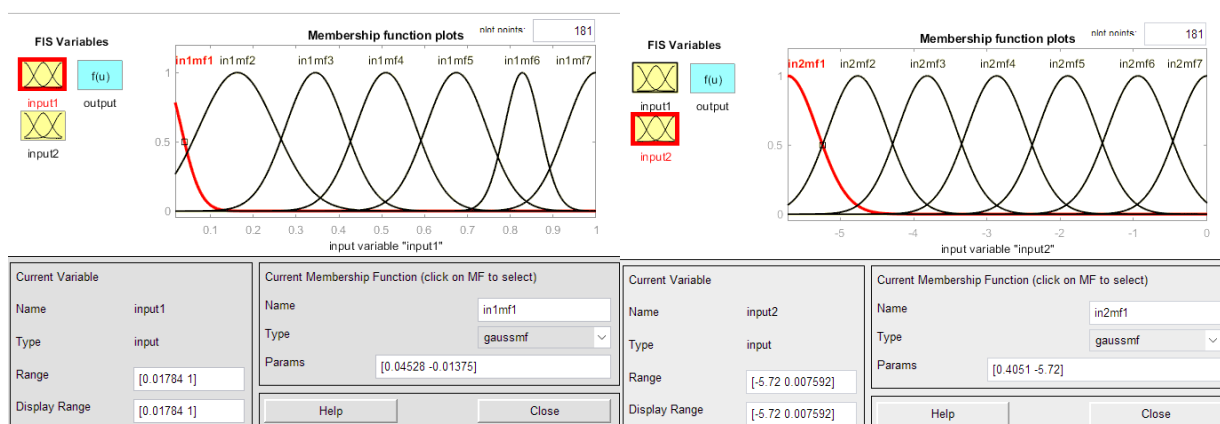


Рисунок 4.21 – Результат налаштування функцій приналежності вхідних змінних

Сформульовані управляючі правила наведено з рис. 4.22

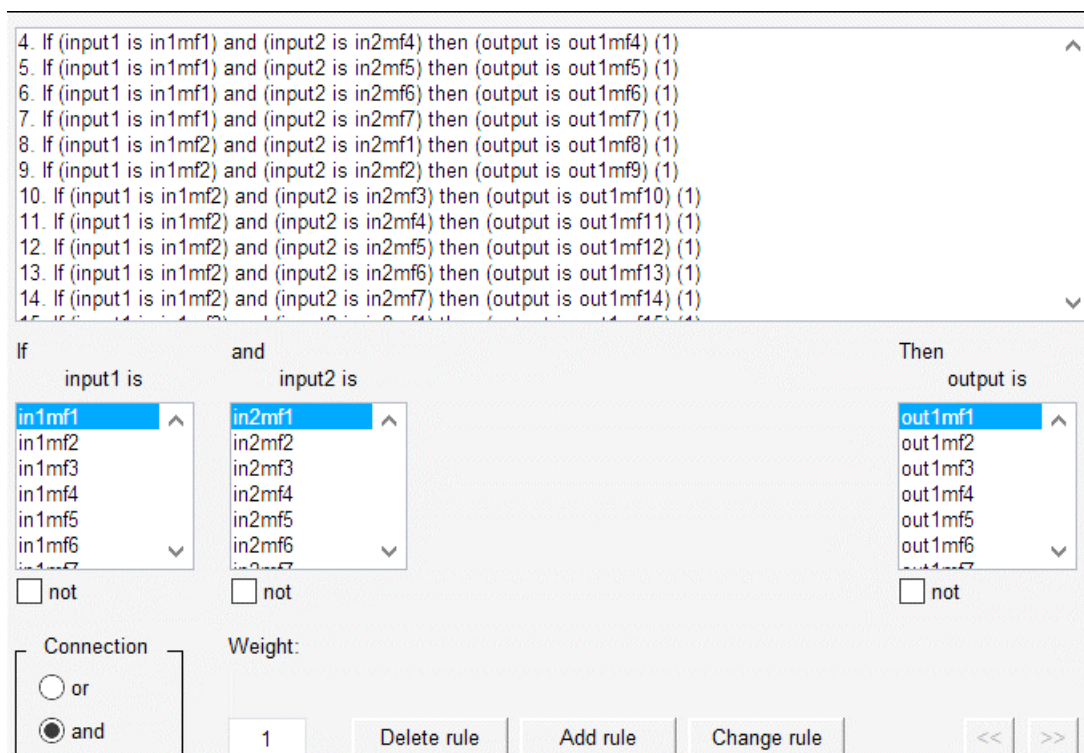


Рисунок 4.22 - Налаштовування опису правил функціонування нечіткого НЛР\_ПД

Після опису правил можливо за допомогою  
- інтерфейсу *Rule Viewer* можливо переглянути роботу системи нечіткого висновку за різних вхідних даних ( див. рис. 4.23).

- інтерфейсу *Surface Viewer* можливо переглянути графічне подання закону управління (рис. 4.24).

Перевіримо функціонування згенерованої нечіткої системи управління за базою даних . Для цього використовуємо Simulink модель наведену на рисунку 4.13.

У редакторі системи нечіткого висновку здійснює запис результатів налаштування у Fuzzy Logic Controller. Для цього у вкладці File здійснюємо Export в математичну модуль нечіткого контролера From Workspase вказавши ім'я Fuzzy Logic Controller.

На рис. 4.25 показаний перехідний процес під управлінням синтезованого НЛР.

Принцип суперпозиції лінійних систем гарантує, що для лінійного регулятора будь-які дані, що знаходяться поза межами визначення рис. 4.1, викличуть правильну реакцію, тобто коефіцієнти ПД-регулятора описують всю площину, а не лише її окрему частину.

Однак НЛР є нелінійним регулятором, він вимагає розбиття вхідного простору на підобласті, яким відповідає певний сигнал керування. Якщо якась область не описана («біла пляма»), реакції



регулятора не буде.

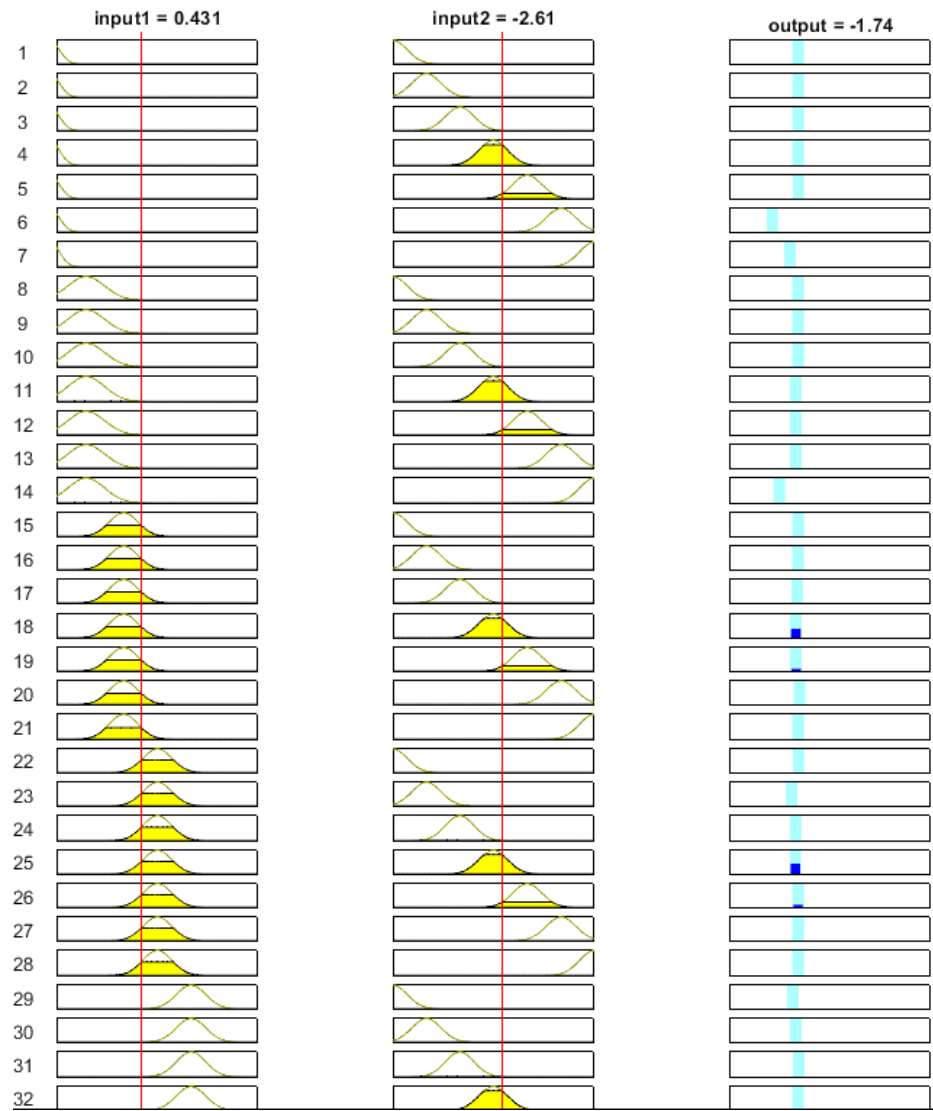


Рисунок 4.23 - Робота системи нечіткого висновку

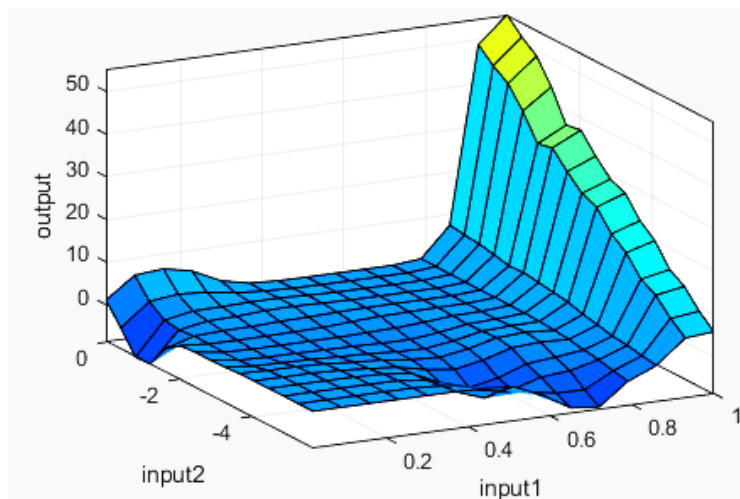
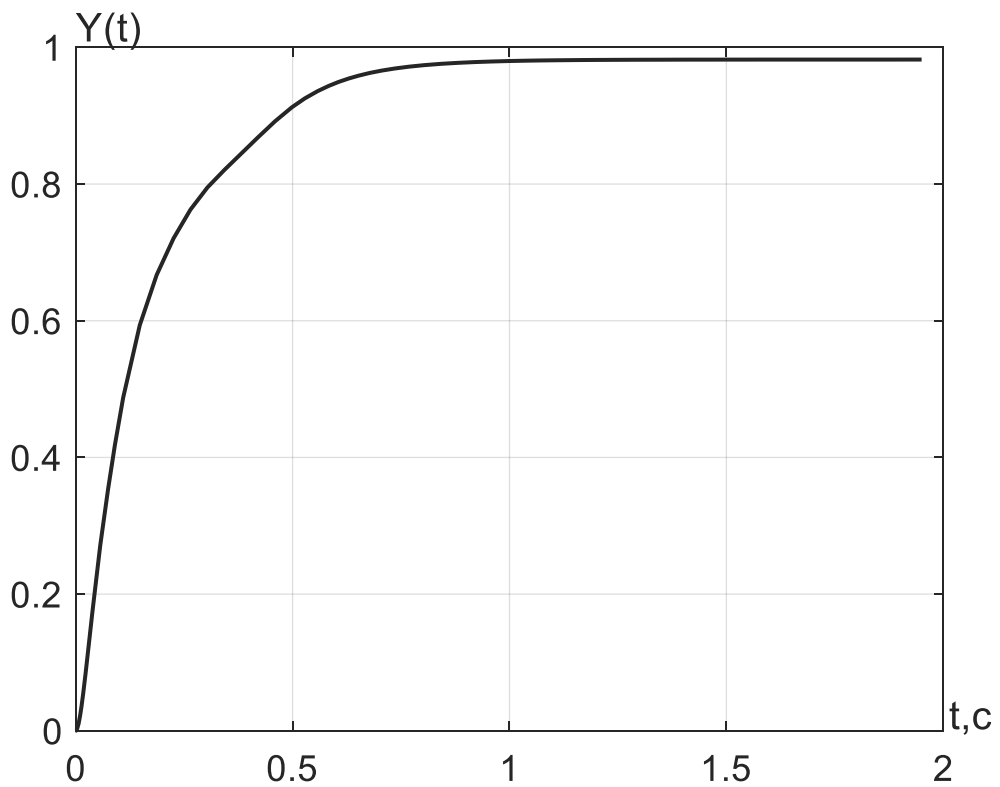


Рисунок 4.24 - Графічне подання закону управління



*Рисунок 4.25 – Перехідний процес під управлінням синтезованого НЛР*

Тому для навчання НЛР дані, отримані при розгляді реакції ПД-регулятора на стрибок, виявляються «поганими», оскільки під час перехідного процесу  $e(t)$  та  $de(t)/dt$  були уніполярними, і знаходилися у досить вузькому діапазоні значень.



## 5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ІНДІВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ

Мовою індивідуального завдання магістра є державна мова.

Передбачається виконання двох індивідуальних аналітично-розрахункових завдань, які формують індивідуальне завдання (по 15 балів за кожну частину).

Текст кожного індивідуального завдання магістра розміщується на сторінці книжкової орієнтації, яка обмежується полями: лівим – 30 мм, правим – 15 мм, верхнім – 20 мм, нижнім – 20 мм. Для великих таблиць і рисунків допускається альбомна орієнтація сторінок, на яких вони розміщені. Текст роботи друкується шрифтом Arial, кеглем 14 з полуторним міжрядковим інтервалом. При оформленні роботи не використовується підкреслений шрифт.


Робота починається з титульного аркуша (додаток Б). За титульним аркушем розміщують послідовно: зміст індивідуальної роботи, розділи роботи, висновки, список використаних джерел та додатки.

Нумерація сторінок має бути наскрізною, починаючи з титульного аркуша і до останньої сторінки, арабськими цифрами у нижньому правому кутку сторінки без крапки в кінці. Титульний аркуш вважається першою сторінкою і номер на ньому не проставляється. Якщо у курсовій роботі є додатки, їх необхідно також пронумерувати.

Зміст містить найменування та номери початкових сторінок всіх розділів та підрозділів роботи. Назви розділів та підрозділів у змісті і тексті індивідуальної роботи мають бути тотожними. Вступ, кожний розділ і висновки, які розміщуються у вказаній послідовності, починають з нової сторінки. Заголовки структурних частин індивідуальної роботи – **ЗМІСТ, ВСТУП, РОЗДІЛ, ВИСНОВКИ, СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ, ДОДАТКИ** – друкуються великими літерами по центру сторінки. Заголовки підрозділів пишуться або друкуються маленькими літерами (крім першої великої) з абзацу. Крапка в кінці заголовка не ставиться. Якщо заголовок складається з двох і більше речень, їх розділяють крапкою. Перенесення слів у заголовку не допускається.

Абзацний відступ має бути однаковим впродовж усього тексту і дорівнювати п'яти знакам. Відстань між заголовком і подальшим чи попереднім текстом має бути не менше, ніж два інтервали.

У межах розділу новий підрозділ починають на тій сторінці, де закінчився попередній підрозділ. При цьому назву підрозділу не можна розміщувати в кінці однієї сторінки, а текст підрозділу розпочинати на наступній. Сторінки роботи мають бути заповнені текстом повністю. Виняток складають останні сторінки вступу, розділів, висновків, списку використаних джерел, наповненість яких не може скласти менше третини площі сторінки. Якщо розмір рисунка чи таблиці, що наводяться в тексті, не дозволяє розмістити їх на вільній площі безпосередньо в кінці сторінки, то на них здійснюється посилання, і на цій же сторінці



продовжується текст. Сам рисунок чи таблиця наводиться на початку наступної сторінки, при цьому таблицю чи рисунок необхідно розташовувати після завершення абзацу. Розділ чи підрозділ не може завершуватися рисунком чи таблицею. Після них обов'язково повинен бути пояснюючий текст чи інша узагальнююча інформація.

Текст основної частини індивідуального завдання поділяється на розділи, підрозділи, пункти та підпункти згідно з планом. Розділи позначаються арабськими цифрами без знаку №. Номер розділу проставляють після слова «РОЗДІЛ». Після номера крапку не ставлять. Потім із нового рядка великими літерами друкують заголовок розділу.

Підрозділи нумерують у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, між якими ставлять крапку. У кінці номера підрозділу повинна стояти крапка, наприклад, «2.3.» (третій підрозділ другого розділу). Потім у тому ж рядку йде заголовок підрозділу. ЗМІСТ, ВСТУП, ВИСНОВКИ, СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ, ДОДАТКИ не нумерують.

Текстова частина індивідуальної роботи має бути стилістично опрацьованою. Стиль викладання – науковий, чіткий, стриманий, без вияву емоцій. Доцільно вживати неозначено-особові та безособові речення. Наприклад: «Для кореляційного аналізу сукупності даних доцільно застосувати метод рангової кореляції, оскільки досліджувані сукупності не піддаються нормальному закону розподілу і мають невелику розмірність».

Цифровий матеріал, як правило, подається в таблицях. Для таблиць використовується шрифт 12 pts Arial через одинарний міжрядковий інтервал. За змістом таблиці поділяються на аналітичні та неаналітичні. Аналітичні таблиці є результатом обробки й аналізу цифрових показників. Як правило, після таких таблиць робиться узагальнення про нове (виведене самим здобувачем) знання, яке вводиться до тексту словами: «дані табл. 1.3 вказують на...», «дані табл. 2.1 свідчать про те, що...». Зазвичай такі таблиці сприяють виявленню і формулюванню певних тенденцій і закономірностей. До неаналітичних таблиць вміщують здебільшого необроблені статистичні дані, необхідні лише для подання інформації або констатації певного стану об'єкта дослідження. Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, що відображає її зміст. Всі таблиці слід нумерувати. Праворуч перед тематичним заголовком з великої літери пишуть слово «Таблиця» та її порядковий номер. Знак «№» перед цифрою не ставиться. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці в цьому розділі.

Наприклад: Таблиця 2.1 (перша таблиця другого розділу). Слово «Таблиця» та її номер виконують курсивом. Нижче з великої літери симетрично до тексту пишеться назва таблиці. Назву друкують маленькими літерами (крім першої – великої) напівжирним шрифтом. Крапка в кінці назви не ставиться (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Оформлення таблиці

Вертикальні колонки нумерують лише у тих випадках, коли у тексті на них є посилання або таблицю частково переносять. Колонку «№ з/п» у таблицю не вміщують. Якщо всі показники таблиці мають однакові одиниці виміру, їх виносять в заголовок таблиці, якщо різні – вказують у боковик. Позначення одиниць виміру мають відповідати вимогам стандартів. Числові величини у таблиці повинні мати однакову кількість десяткових знаків. Заголовки граф пишуть з великої літери, підзаголовки – з малої, якщо вони складають одне речення із заголовком, і з великої, якщо вони є самостійними.

У тексті передувати таблиці має посилання на неї. Кожна таблиця, як правило, розміщується на одній сторінці. Перенесення її на наступну сторінку за необхідності допускається, якщо в ній вміщуються взаємопов'язані характеристики об'єкта дослідження. У цьому випадку назву вміщують тільки над її першою частиною. Під час перенесення таблиці у правому верхньому куті сторінки пишуть: «Продовження таблиці...». Якщо цифрові або інші дані в якому-небудь рядку таблиці не подають, то в ньому ставлять прочерк. Кожна таблиця повинна мати посилання на джерело, на базі якого вона складена. Джерела, на базі яких складані таблиці в роботі, також наводять у списку використаних джерел. Таблиці додатків нумеруються у межах кожного конкретного додатка та мають складатися з букви, що позначає додаток, та порядкового номера: Таблиця А.1 – перша таблиця додатку А.

Рисунки (схеми, діаграми, графіки, фотографії тощо) обов'язково повинні супроводжуватись коментарями. На всі рисунки мають бути посилання: «...як це видно з рис. 3.2», «...як це показано на рис. 2.4», або у вигляді виразу у круглих дужках: (рис. 1.2).

Рисунки розміщують безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. Усі рисунки нумеруються послідовно в межах розділу арабськими цифрами. Номер рисунка повинен складатися з номера розділу і порядкового номера рисунка, відокремлених крапкою, як показано нижче на рис. 5.2.

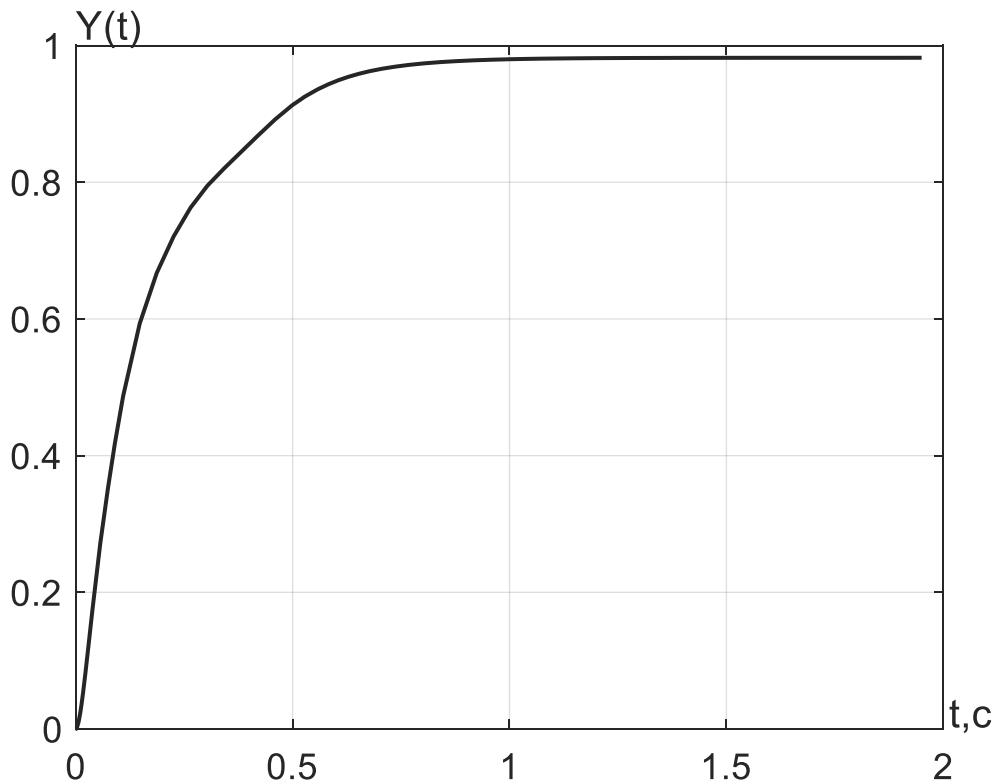



Рисунок 5.2 – Графік перехідної характеристики

Рисунки додатків нумеруються у межах кожного конкретного додатка та складаються з букви, що позначає додаток та порядкового номера. Назви рисунків розміщують безпосередньо після рисунка після їхніх номерів з абзацного відступу, вирівнювання тексту по ширині. За необхідності рисунки доповнюють пояснювальними даними (підрисунковий підпис). Якщо на рисунку зображується діаграма, кожна її вісь повинна мати назву або позначати розмірність.

Рисунки повинні бути зроблені за допомогою офісних програм чи графічних редакторів.

Рисунки, а також таблиці розміщуються таким чином, щоб їх можна було читати без повороту тексту чи з поворотом за годинниковою стрілкою. Формули розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки. Вище і нижче кожної формули повинно бути залишено не менше одного вільного рядка. Формули, на які є посилання в тексті, нумеруються в межах розділу арабськими цифрами. Номер формули складається з номера розділу та порядкового номера формули, відокремлених крапкою, наприклад: формула (2.1) – перша формула другого розділу. Номер формули зазначають на рівні формули в круглих дужках у крайньому правому положенні на рядку. У разі посилання в тексті на формулу необхідно вказати її повний номер в дужках. Після формули пишуть слово «де» і розшифровують позначення словами в такій послідовності, в якій вони



подані у формулі. Після слова «де» двокрапка не ставиться. Пояснення значення кожного символу чи числового коефіцієнта слід подавати з нового рядка:

$$W(p) = \frac{2}{2p^2 + p + 1}, \quad (5.1)$$

де  $p$  – оператор Лапласа.

Посилання в тексті представляють собою порядковий номер джерела, через кому – номер сторінки, на яку посилається автор, взяті в квадратні скобки, наприклад: [12, с.36]. При використанні цитати з певного джерела в тексті вказують автора і наводять уривок за правилами прямої мови також з обов'язковим посиланням на джерело. Якщо текст не наводиться дослівно, а викладається власними словами, то обов'язково має бути збережений його зміст. Бібліографічні описи посилань у списку наводять відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання». Приклади оформлення списку використаних джерел наведені в Додатку В. Додатки слід розташовувати в порядку появи посилань на них в тексті індивідуальної роботи. Кожний додаток починають з нової сторінки. Він повинен мати тематичний заголовок, надрукований вгорі малими літерами з першої великої симетрично відносно тексту сторінки. Посередині рядка над заголовком малими літерами з першої великої повинно бути надруковано слово «Додаток \_\_» і велика літера, що позначає додаток. Додатки слід позначати послідовно великими літерами української абетки, за винятком літер Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ъ (наприклад, додаток А). Додатки повинні мати спільну з рештою індивідуальної роботи наскрізну нумерацію сторінок. Крім того, на другій та подальших сторінках додатку потрібно у верхньому куті праворуч вказати «продовження додатку ...». Посилання на додатки в текстовій частині роботи є обов'язковим. Рисунки, таблиці, формули, що є у тексті додатка, слід нумерувати в межах кожного додатка.

## 6 ПОДАННЯ НА ПЕРЕВІРКУ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Контроль виконання, подання на перевірку і представлення закінченої індивідуальної роботи здійснюється на освітній платформі Moodle, для чого створюється поточна активність, куди здобувачі освіти прикріплюють підготовлену роботу відповідно до графіку подання матеріалів на перевірку і представлення закінченої індивідуальної роботи.

Протягом наступного тижня згідно семестрового графіку після отримання роботи викладач надає здобувачу освіти свої зауваження, коментарі, рекомендації, на підставі яких він виправляє роботу. Викладач оцінює тільки завершену роботу і виставляє оцінку у Moodle.

Оцінка за виконання індивідуального завдання освітнього (згідно робочій програмі - максимум по 10 балів кожна).

Підсумкова оцінка за виконання закінченої індивідуальної роботи (з двох частин) остаточно враховується в поточній успішності магістра і виставляється на підставі наступних критеріїв (табл. 6.1)

Таблиця 6.1 - Критерії оцінювання змісту та оформлення індивідуальної роботи

Кількість балів	Критерії оцінювання
1	2
9-10	Текст роботи свідчить про узагальнення і творче осмислення теоретичних основ та практичного вирішення проблеми, формулювання висновків. Методи дослідження відібрані і застосовані науково коректно. Сформульовані в роботі пропозиції обґрунтовані і достатні. Завдання дослідження виконані і мета дослідження досягнута. Оформлення роботи цілком відповідає вимогам.
8-9	Текст роботи свідчить про узагальнення і творче осмислення теоретичних основ та практичного вирішення проблеми. Допущені незначні помилки у формулюванні висновків. Методи дослідження відібрані і застосовані науково коректно. Сформульовані в роботі пропозиції недостатньо повні. В цілому завдання дослідження виконані і мета дослідження досягнута. Текст роботи викладений логічно, послідовно, науково-професійною державною мовою з коректним використанням професійної термінології. В оформленні роботи допущені незначні помилки.

Продовження табл. 6.1

1	2
6-7	<p>Текст роботи свідчить про помилки в оволодінні навичками самостійного (під керівництвом викладача) проведення дослідницької роботи: відбір і аналіз літератури недостатньо повний для вирішення поставлених завдань, при узагальненні, систематизації теоретичних основ вирішення проблеми та формулюванні висновків допущені суттєві помилки. Методи дослідження недостатньо обґрунтовані або при їх використанні допущені помилки. Сформульовані в роботі пропозиції не є достатньо обґрунтованими і повними. В основному завдання дослідження виконані і мета дослідження досягнута.</p> <p>Текст роботи викладений достатньо логічно і послідовно, але є помилки у використанні професійної термінології. В оформленні роботи є суттєві невідповідності вимогам.</p>
4-5	<p>Текст роботи свідчить про суттєві помилки в оволодінні навичками самостійного (під керівництвом викладача) проведення дослідницької роботи: відбір і аналіз літератури недостатньо повний для вирішення поставлених завдань, узагальнення та систематизація теоретичних основ вирішення проблеми носять вибіркового характеру, висновки недостатньо обґрунтовані. Методи дослідження недостатньо обґрунтовані або при їх використанні допущені суттєві помилки. Сформульовані в роботі пропозиції не є достатньо обґрунтованими і повними. Завдання дослідження в основному виконані і мета дослідження досягнута.</p> <p>Текст роботи викладений недостатньо логічно і послідовно, містить стилістичні помилки, використання професійної термінології не завжди коректне. В оформленні роботи є суттєві невідповідності вимогам.</p>
2-3	<p>Текст роботи свідчить про суттєві помилки в оволодінні навичками самостійного (під керівництвом викладача) проведення дослідницької роботи: відбір і аналіз літератури для вирішення поставлених завдань фрагментарний, узагальнення</p>

Закінчення табл. 6.1

1	2
2-3	<p>та систематизація теоретичних основ вирішення проблеми носять вибірковий характер, висновки недостатньо обґрунтовані. Методи дослідження не повністю відповідають його завданням і були застосовані з суттєвими помилками, які призвели до викривлення деяких результатів дослідження. Сформульовані в роботі пропозиції не є достатньо обґрунтованими і повними. Не всі завдання дослідження виконані, але мета дослідження в цілому досягнута.</p> <p>Текст роботи викладений недостатньо логічно і послідовно, містить стилістичні помилки, професійна термінологія не використовується або використовується некоректно. В оформленні роботи є суттєві невідповідності вимогам.</p>
0-1	<p>Робота не представлена у встановлений термін (0 балів).</p> <p>Робота в цілому свідчить про відсутність навичок самостійного (під керівництвом викладача) проведення дослідницької роботи: відбір і аналіз літератури для вирішення поставлених завдань фрагментарний, узагальнення та систематизація теоретичних основ вирішення проблеми не відповідають меті і завданням дослідження, висновки не обґрунтовані або не сформульовані. Методи дослідження не відповідають його завданням і були застосовані з суттєвими помилками, які призвели до викривлення результатів дослідження. Сформульовані в роботі пропозиції не впливають з результатів дослідження. Завдання дослідження не виконані, мета дослідження в цілому не досягнута. Оцінені можуть бути лише окремі елементи виконаного дослідження.</p> <p>Текст роботи викладений недостатньо логічно і послідовно, містить стилістичні і граматичні помилки, професійна термінологія не використовується або використовується некоректно. Оформлення роботи не відповідає вимогам.</p>



## 7 АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ

Написання та оцінювання кожної індивідуальної роботи відбувається в суворому дотриманні принципів академічної доброчесності. Відповідно до «Положення про академічну доброчесність здобувачів вищої освіти та науково-педагогічних працівників ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», введеного в дію наказом ректора Університету № 15/18.08.2020 від 18.08.2020 р., дотримання академічної доброчесності здобувачами вищої освіти передбачає, зокрема:

- самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання;
- посилення на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;
- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;
- надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової) діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації.

Основними видами порушень академічної доброчесності у процесі виконання індивідуальної роботи є:

- академічний плагіат (фрагментів письмових робіт, ідей, даних, моделей, ілюстрацій; відсутність належних посилань, помилки цитування);
- фабрикація (наведення вигаданих чи неперевірених даних; посилення на вигадані джерела інформації тощо);
- фальсифікація (необґрунтоване корегування результатів власних наукових досліджень чи виконання навчальних завдань; наведення свідомо змінених даних, неповної або викривленої інформації про апробацію результатів досліджень та розробок);
- обман (подання як результатів власної праці робіт, виконаних на замовлення іншими особами; надання відгуків або рецензій на наукові або навчальні роботи без належної їх експертизи).

Для запобігання проявам академічної недоброчесності Університетом здійснюється перевірка курсових робіт на виявлення збігів / ідентичності / схожості текстів в системі «Unicheck», «StrikePlagiarism».



## 8 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### *Базові*

- 1 . Albus J. S., Meystel A. M. Intelligent Systems: Architecture, Design, and Control / Wiley, New York, 2002.
- 2 A. P. Engelbrecht. Computational Intelligence: An Introduction / Wiley, Chichester, U.K., 2002.
- 3 Badiru A. B., Cheung J. Y. Fuzzy Engineering Expert Systems with Neural Network Applications / John Wiley, New York, NY, 2002.
- 4 Апостолюк В. О. Інтелектуальні системи керування: конспект лекцій [Текст] / В. О. Апостолюк, О. С. Апостолюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 88 с.
- 5 Антоненко В. М. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями : навчальний посібник / В. М. Антоненко, С. Д. Мамченко, Ю. В. Рогушина. – Ірпінь : Національний університет ДПС України, 2016. – 212 с. ISBN 978-966-337-418-5
- 6 Інтелектуальні системи управління: Експертні системи - основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярощук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 136с.

### *Додаткові*

- 7 Giese H., Rumpe B. Science and Engineering of Cyber-Physical Systems (Dagstuhl Seminar 11441), Dagstuhl Reports, vol. 1, no. 11, pp. 1–22, 2012.
- 8 Conti M. Looking ahead in pervasive computing: challenges and opportunities in the era of cyber-physical convergence,” Pervasive and Mobile Computing, 2011.
- 9 Sha L., Gopalakrishnan S. Cyber-physical systems: A new frontier, Machine Learning in Cyber Trust, pp. 3–13, 2009.
- 10 Horváth I., Gerritsen B. Cyber-physical systems: Concepts, technologies and implementation principles, in Tools and Methods of Competitive Engineering Symposium (TMCE), 2012, pp. 19–36.
- 11 Lee E., “Computing needs time,” Communications of the ACM, vol. 52, no. 5, pp. 70–79, 2009.



## *Web-ресурси*

- 12 <http://library.tneu.edu.ua/images/stories/predmety/літi/інтелектуальний%20аналіз%20даних/Інтелект%20анал%20даних.pdf>
- 13 <http://www.unicyb.kiev.ua/~boiko/it/ddm.htm>
- 14 <http://buklib.net/books/24221/>
- 15 [www.kdnuggets.com](http://www.kdnuggets.com)