

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

СИНТЕЗ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ І НЕЧІТКИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ MATLAB

Методичні вказівки
до організації та планування самостійної роботи
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

Електронний ресурс

Харків – 2025

Рецензенти:

Р. М. ТРІЩ – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мехатроніки та електротехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

О. О. Литвин – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри ХТЛПід Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія».

*Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 8 від 28 березня 2025 року)*

Синтез нейромережевих і нечітких систем керування з використанням
С 38 MATLAB : Методичні вказівки до організації та планування самостійної роботи для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» [Електронний ресурс] / уклад. Г. І. Канюк, Т. Ю. Василюк, О. О. Варфоломієв. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. – (PDF 27 с.)

У методичних вказівках до організації та планування самостійної роботи студентів наведено стислу характеристику предмета, тематику лекційних та практичних занять за курсом, характеристику видів організації самостійної роботи при вивченні навчальної дисципліни.

Видання призначене здобувачам вищої освіти освітнього ступеня «магістр», що навчаються за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

УДК 681.51.01 (075.5)

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2025

© Канюк Г. І., Василюк Т. Ю.,
Варфоломієв О. О., уклад., 2025

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
2. СТІСЛА РОБОЧА ПРОГРАМА.....	6
2.1 Тематичний план навчальної дисципліни.....	6
2.2 Структура навчальної дисципліни.....	7
2.3 Теми практичних занять	8
2.4 Самостійна робота	8
2.5 Методи навчання	9
2.6 Методи контролю	9
2.7 Схема нарахування балів для підсумкового семестрового контролю	9
2.8 Питання для самоперевірки.....	10
2.9 Рекомендована література	13
2.11 Інформаційні ресурси.....	15
3. ВИДИ ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	21
3.1 Види організації самостійної роботи у процесі проведення очних занять	16
3.2 Види організації самостійної роботи, що виконуються у позаурочний час.....	16
3.3 Приклади відповідей на питання	17

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою вивчення дисципліни є освоєння дисциплінарних компетенцій по пізнанню принципів побудови і способів реалізації нейромережових, нечітких і нейро-нечітких систем управління за допомогою інструментальних засобів математичної системи MATLAB, набуття навичок їх практичного використання для ідентифікації динамічних об'єктів і систем за допомогою нейронних мереж і систем нечіткого висновку, аналізу і синтезу систем з нейромережовими і нечіткими регуляторами

Основні завдання вивчення дисципліни

- Формування вміння виконувати ідентифікацію динамічних об'єктів і систем з використанням нейронних мереж і систем нечіткого висновку.
- Формування навичок побудови нейромережових і нечітких систем управління, синтезу нейромережових і нечітких регуляторів;
- Оволодіти технікою застосування пакетів прикладних програм для виконання ідентифікації об'єктів і систем управління з застосуванням нейронних мереж і систем нечіткого висновку.
- Оволодіння технікою синтезу нейромережових і нечітких регуляторів з застосуванням системи MATLAB.

Кількість кредитів 4

Загальна кількість годин 120

Вивчення навчальної дисципліни сприяє здобуттю наступних компетентностей:

ЗК1. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

ЗК2. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

СК1. 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.

СК3. Здатність застосовувати методи моделювання та оптимізації для дослідження та підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.

СК6. Здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами.

СК7. Здатність застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для розв'язання складних задач і проблем автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Заплановані результати навчання

РН01. Створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережових 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.

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.

РН10. Розробляти і використовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для створення систем автоматизації складними організаційно-технічними об'єктами, професійно володіти спеціальними програмними засобами.

2 СТИСЛА РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Побудова нейромережевих і нечітких моделей динамічних об'єктів з використанням системи MATLAB

Тема 1. Побудова нейромережевих моделей динамічних об'єктів з використанням системи MATLAB

GUI-інтерфейс для пакету прикладних програм Neural Network Toolbox. Розробка нейромережевої моделі двомасової електромеханічної системи регулювання швидкості

Тема 2. Побудова нечітких моделей за допомогою пакету FUZZY LOGIC TOOLBOX

Призначення і можливості пакету Fuzzy Logic Toolbox. Графічний інтерфейс Fuzzy Logic Toolbox. Редактор систем нечіткого виведення FIS Editor. Розробка нечіткої апроксимуючої системи для вирішення завдання ідентифікації двомасової електромеханічної системи.

Тема 3. Побудова моделей динамічних об'єктів з використанням гібридних мереж

Реалізація ANFIS в середовищі MATLAB. Розробка нечіткої моделі гібридної мережі для вирішення завдання ідентифікації двомасової електромеханічної системи.

Розділ 2. Синтез нейромережевих і нечітких систем управління в середовищі MATLAB

Тема 1. Синтез нейромережевих систем управління в середовищі MATLAB

Регулятори, реалізовані в пакеті прикладних програм Neural Network Toolbox системи MATLAB. Принцип побудови регулятора з прогнозом NN Predictive Controller. Синтез нейрорегулятора з прогнозом NN Predictive Controller. Принцип побудови нейрорегулятора на основі моделі авторегресії з ковзаючим середнім NARMA-L2 CONTROLLER. Синтез нейрорегулятора NARMA-L2 CONTROLLER з використанням системи MATLAB. Принцип побудови нейрорегулятора з еталонною моделлю MODEL REFERENCE CONTROLLER. Синтез нейрорегулятора Model Reference Controller з використанням системи MATLAB

Тема 2. Синтез нечітких регуляторів з використанням системи MATLAB

Розробка моделі системи управління з нечітким регулятором. Формування бази правил системи нечіткого висновку. Розробка системи нечіткого висновку. Моделювання двомасової електромеханічної системи з нечітким регулятором.

2.2 Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Побудова нейромережових і нечітких моделей динамічних об’єктів з ви- користанням системи MATLAB												
Тема 1. Побудова нейромережових моделей динаміч- них об’єктів з ви- користанням сис- теми MATLAB	20	6	2			12	20	2	1			17
Тема 2. Побудова нечітких моделей за допомогою па- кету FUZZY LOGIC TOOLBOX	20	4	2			14	20	1	0,5			18,5
Тема 3. Побудова моделей динаміч- них об’єктів з ви- користанням гіб- ридних мереж	20	4	2			14	20	1	0,5			18,5
Разом за розділом 1	60	14	6			40	60	4	2			54
Розділ 2. Синтез нейромережових і нечітких систем управління в середовищі MATLAB												
Тема 1. Синтез нейромережових систем управління в середовищі MATLAB	34	8	4			22	30	2	1			27
Тема 2. Синтез не- чітких регуляторів з використанням системи MATLAB	26	6	2			18	30	2	1			27
Разом за розділом 2	60	14	6			40	60	4	2			54
Усього годин	120	28	12			80	120	8	4			108

2.3 Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Побудова нейромережевої моделі двомасової електромеханічної системи за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB	2
2	Побудова нечіткої моделі двомасової електромеханічної системи за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB	2
3	Побудова моделі двомасової електромеханічної системи в середовищі MATLAB з застосуванням гібридних мереж	2
4	Синтез нейрорегуляторів для двомасової електромеханічної системи в середовищі MATLAB	2
5	Моделювання нейромережевих систем управління в середовищі MATLAB	2
6	Синтез нечітких регуляторів для двомасової електромеханічної системи в середовищі MATLAB	2
	Разом	12

2.4 Самостійна робота

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Побудова нейромережевих моделей динамічних об'єктів з використанням системи MATLAB.. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти.	12
2	Побудова нечітких моделей за допомогою пакету FUZZY LOGIC TOOLBOX. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	14
3	Побудова моделей динамічних об'єктів з використанням гібридних мереж. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	14
4	Синтез нейромережевих систем управління в середовищі MATLAB. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичних занять. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти	22

5	Синтез нечітких регуляторів з використанням системи MATLAB. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичних занять. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти	18
	Разом	80

2.5 Методи навчання

Методи навчання – це різноманітні способи, які допомагають студентам засвоїти програмний матеріал, сприяють активізації навчального процесу, надають можливість набути нових компетенцій.

Під час вивчення дисципліни застосовуються такі методи навчання: пояснювально-ілюстративний, репродуктивний, частково-пошуковий, дослідницький, проблемного викладу; словесні, наочні, практичні; аналіз, синтез, індукція, дедукція; активні методи (дискусії та дебати, метод кейсів), інтерактивні методи (інтерактивні лекції, мозкові штурми, інтерактивні симуляції), проектні методи (проектне навчання, метод проектів); методи дистанційного навчання.

2.6 Методи контролю

Методи контролю – це способи, з допомогою яких визначається результативність навчально-пізнавального процесу та інших видів діяльності студентів. На заняттях використовуються такі види контролю: поточний і підсумковий.

Поточний контроль – усне та письмове опитування, експрес-опитування, контрольні роботи, тестування, оцінка практичних навичок, перевірка завдань для самостійної роботи, кейс-метод, комп'ютерні симуляції.

Підсумковий контроль – іспит, курсовий проєкт.

2.7. Схема нарахування балів для підсумкового семестрового контролю

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання								Екзамен	Сума	
Розділ 1				Розділ 2						Разом
T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	60	40	100
7	7	6	10	10	5	9	6			

T1, T2 ... – теми розділів

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

2.8 Питання для самоперевірки

1. Яке призначення пакету прикладних програм Neural Network Toolbox системи MATLAB?
2. Перечисліть функції, які дозволяє виконувати інтерфейс **NNTool**.
3. Які обмеження має інтерфейс **NNTool**?
4. Як виконується виклик GUI-інтерфейсу **NNTool**?
5. Поясніть призначення кнопок вікна **Network/Data Manager**.
6. Перечисліть операції, які операції необхідно виконати, щоб створити нейронну мережу.
7. Які дані вводяться за допомогою вікна **Create New Data**?
8. Перечисліть і поясніть призначення полів, які має вікно **Create New Network**.
9. Які поля має вікно **Import or Load to Network/Data Manager**?
10. Які поля має вікно **Export or Save from Network/Data Manager**?
11. Які закладки має панель **Network**?
12. Наведіть методику синтезу нейромережевої моделі двомасової електромеханічної системи.
13. Як вибирається кількість нейронів прихованого шару?
14. Як вибирається кількість циклів навчання?
15. За допомогою якого оператора можна побудувати модель нейронної мережі в системі Simulink?
16. Які блоки використовуються для набуття затриманих значень вхідної і вихідної змінних?
17. Перечисліть основні програми, що входять до складу Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB, які дозволяють працювати в режимі GUI?

18. Поясніть призначення і можливості редактора систем нечіткого виведення FIS Editor.
19. Поясніть призначення і можливості редактора функцій приналежності Membership Function Editor.
20. Поясніть призначення і можливості редактора правил системи нечіткого висновку Rule Editor.
21. Поясніть призначення і можливості програми перегляду правил системи нечіткого висновку Rule Viewer.
22. Поясніть призначення і можливості програми перегляду поверхні відгуку системи нечіткого висновку Surface View.
23. Наведіть методику синтезу нечіткої моделі двомасової електромеханічної системи.
24. Як вибирається кількість вхідних сигналів системи нечіткого висновку?
25. Як вибирається тип і кількість функцій приналежності вхідних і вихідної змінної?
26. Як виконується формування і введення правил нечіткого висновку?
27. З якою метою використовуються вікна перегляду правил і перегляду поверхні відгуку ?
28. Наведіть і поясніть схему моделі двомасової системи для перевірки адекватності побудованої нечіткої моделі.
29. Як можна використовувати системи нечіткого висновку, створені за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox, для моделювання в Simulink?
30. Як реалізовані гібридні мережі в пакеті прикладних програм Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB?
31. Поясніть призначення і можливості редактора ANFIS.
32. Перечисліть і поясніть пункти меню редактора ANFIS.
33. Наведіть методику синтезу гібридної мережі для побудови моделі двомасової електромеханічної системи.
34. Як формуються навчальні, тестові і перевірочні дані?
35. Як вибирається кількість термів вхідних і вихідного сигналів системи нечіткого висновку?
36. Як можна візуалізувати систему нечіткого висновку?
37. Які методи використовуються для навчання гібридної мережі?
38. За допомогою яких засобів можна виконувати корекцію параметрів гібридної мережі?
39. Як виконується моделювання нечіткої моделі гібридної мережі в Simulink?
40. Перечисліть регулятори реалізовані в пакеті прикладних програм Neural Network Toolbox системи MATLAB.
41. Поясніть принцип дії регулятора з прогнозом NN Predictive Controller, регулятора на основі моделі авторегресії з ковзаючим середнім NARMA-L2 Controller, регулятора на основі еталонної моделі Model Reference Controller.

42. Поясніть структуру нейронних мереж, які використовуються в кожному регуляторі.
43. Наведіть структурні схеми системи управління з нейрорегулятором NN Predictive Controller, NARMA-L2 Controller і Model Reference Controller.
44. Перечисліть основні етапи синтезу нейромережевих систем управління, побудованих на основі вищеназваних регуляторів.
45. Як виконується формування навчальної послідовності?
46. Як відбувається контроль процесу навчання мережі?
47. Як вибираються параметри нейрорегулятора?
48. Які функції виконують нейронні мережі в вищеназваних регуляторах?
49. Скільки шарів містить нейронна мережа нейрорегулятора NARMA-L2 Controller?
50. Скільки нейронних мереж містить нейрорегулятор Model Reference Controller?
51. Зобразіть схему системи управління двомасовою електромеханічною системою з нечітким регулятором?
52. Побудувати за допомогою пакета прикладних програм **Fuzzy Logic Toolbox** системи MATLAB схему моделі системи управління двомасовою електромеханічною системою електроприводом ТП-Д з нечітким регулятором.
53. Які сигнали слід подавати на вхід нечіткого регулятора?
54. Як визначаються вхідні і вихідні лінгвістичні змінні системи нечіткого висновку?
55. Які множини використовуються як терм-множини всіх лінгвістичних змінних?
56. Як формується база правил системи нечіткого висновку? Як визначається їх кількість?
57. Поясніть порядок синтезу нечітких регуляторів в середовищі MATLAB.
58. Як задаються терми і їх функції приналежності для вхідних і вихідних змінних системи нечіткого висновку?
59. Як задаються діапазони зміни вхідних і вихідних змінних?
60. Як виконується настройка функцій приналежності вхідних і вихідних змінних?
61. Як задаються правила нечіткого висновку?
62. Якими способами може бути викликана програма перегляду поверхні нечіткого висновку?
63. Як можна отримати графік залежності вихідної змінної від однієї з вхідних змінних?
64. Як виконується моделювання системи управління з нечітким регулятором?

2.9 Рекомендована література

Основна (базова) література

1. Технології нейронних мереж і нечіткого моделювання в системах управління : підруч. для здобувачів вищої освіти спец. 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Г.І. Канюк, Б.І. Кузнецов, Т.Ю. Василець, А.Ю. Мезеря, О.О. Варфоломійєв. – Харків : Друкарня Мадрид, 2020. – 306 с.
2. Нейромережеві технології в системах управління: Підручник для вузів./ Б. І. Кузнецов, Т.Ю. Василець, Т.Б. Нікітіна, В. В. Коломиєць, О.О. Варфоломійєв; Укр. інж.-пед. акад.. - Харків: УПА, 2014. - 232 с.
3. Кирик В. В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник.. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 224 с.
4. Штучні нейронні мережі: навчальний посібник / С. В. Ткаліченко. – Кривий Ріг, 2023. – 150 с.
5. Штучні нейронні мережі: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / О.Г. Руденко, Є.В. Бодянський. – К: Компанія СМІТ, 2006, 404 с.
6. Желдак Т.А. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень: навч. посіб. / Т.А. Желдак, Л.С. Коряшкіна, С.А. Ус, за редакцією С.А. Ус ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 387 с.
7. Кирик В. В. К43 Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник / В. В. Кирик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка» 2019. – 224 с.
8. Антоненко В. М., Мамченко С.Д., Рогушина Ю.В. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями: навчальний посібник. – Ірпінь : Національний університет ДПС України, 2016. – 212 с.
9. Глибовець М.М., Отецький О.В. Штучний інтелект. – К.: Вид. дім «КМ Академія», 2002. – 366 с.
10. Ямпольський Л. С. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л. С. Ямпольський, Б. П. Ткач, О. І. Лісовиченко. - К. : ДП «Вид. дім «Персонал», 2011. - 544 с.
11. Методи та системи штучного інтелекту: Теорія і практика: Навчальний посібник / О.С. Булгаков, В.В. Зосімов, В.О. Поздєєв. – Одеса. : Олді плюс, 2020. – 356 с.

Додаткова (допоміжна) література

1. Субботін С. О. Нейронні мережі : теорія та практика: навч. посіб. / С. О. Субботін. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2020. – 184 с
2. Тимошук П.В. Штучні нейронні мережі; Навч. посібн. - Львів: Львівська політехніка, 2011. -444 с.
3. Кононюк, А. Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми. - Київ: Корнійчук, 2008. - 468 с.
4. Методи та системи штучного інтелекту: Навчальний посібник—/ Уклад. : А.С. Савченко, О. О. Синельников. – К. : НАУ, 2017. – 190 с.
5. Методи та системи штучного інтелекту: Навчальний посібник / Уклад.: І.М. Удовик, Г.М. Коротенко, Л.М. Коротенко, В.О. Трусів, А.Т. Харь. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2017. – 105 с.
6. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. / укл.Д.В. Лубко, С.В. Шаров. – Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. – 264 с.
7. Паламар М. І. Комп'ютерні технології штучного інтелекту для прецизійного управління у мехатронних системах : навч. посіб. / Михайло Паламар, Михайло Стрембіцький ; Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. Тернопіль : Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя, 2018. 127 с.
8. Литвин В.В. Інтелектуальні системи : підручник / В.В. Литвин, В.В. Пасічник, Ю.В. Яцишен. – Львів: Новий світ, 2009. – 405 с.
9. Троцько В.В., Методи штучного інтелекту: навчально-методичний і практичний посібник. / Троцько В.В. – Київ: Університет економіки та права «КРОК», 2020. – 86 с.
- 10.Куклін В. М. К Подання знань і операції над ними; навчальний посібник. / В. М. Куклін. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019 – 164 с.
- 11.Снитюк В. Є. Прогнозування. Моделі, методи, алгоритми / В. Є. Снитюк. – Київ : Маклаут, 2008. – 364 с.
- 12.Івахів, Орест Васильович. Основи побудови систем керування з нечіткою логікою : навчальний посібник /О. Івахів, М. Наконечний.– Львів :Растр-7,2017. – 129 с.
- 13.Коротка, Лариса Іванівна. Обчислювальний інтелект : теорія нечітких множин: навчальний посібник / Коротка Л.І., Зеленцов Д.Г., Науменко Н.Ю.,Ляшенко О.А., Солодка Н.О.– Дніпро :ДВНЗ УДХТУ,2020. – 161 с.
- 14.Шушура О.М. Методологічні основи побудови інформаційних технологій для автоматизації управління складними системами на принципах нечіткої логіки : дис. ... доктора технічних наук : 05.13.06 / Шушура Олексій Миколайович. К., 2018. 332 с.
- 15.В.П.Дьяконов, В.В.Круглов MATLAB 6.5 SP1/SP2 + Simulink 5/6 инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006.- 456 с.

- 16.Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6/[Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина]. – М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с
- 17.Дьяконов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. –СПб: Питер, 2001. –488 с.
- 18.Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечёткой логики и нечёткого вывода. – М.: Физматлит, 2002. – 252 с.
- 19.Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде МАТЛАБ и fuzzyTECH.-СП.:БХБ-Петербург, 2003.-736с.
- 20.ШтовбаС.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба – М.: "Горячая линия - Телеком", 2007. – 288 с.

2.11 Інформаційні ресурси

1. Сторінка дистанційного навчання URL <https://moodle.karazin.ua/>
2. Control Systems with Neural Network URL. <http://surl.li/yttvsa>
3. Introduction to Neural Networks in Control Systems URL <http://surl.li/tyxdkc>
4. Fuzzy Control Systems | Fuzzy Logic URL. <http://surl.li/jwcznw>
5. Overview of Fuzzy Logic and its Applications. URL. <http://surl.li/tqvzhd>

3 ВИДИ ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

За характером організації всі види самостійної роботи можна поділити на дві групи: види самостійної роботи у процесі проведення очних занять і види самостійної роботи, що проводяться у позаурочний час.

3.1 Види організації самостійної роботи у процесі проведення очних занять

3.1.1 Лекційні заняття

- приводячи конкретні приклади, показати необхідність оволодіння знаннями для формування професійних навичок;
- обґрунтувати важливість правильного конспектування та дати методичні поради щодо організації ефективного конспектування;
- з метою активізації розумової діяльності студентів на початку заняття (на протязі 5-7 хвилин) проводиться стисле опитування по раніш вивченому матеріалу, наприклад:

3.1.2 Практичні заняття

- використання методу обговорення навчального матеріалу для закріплення знань, що отримані під час лекційних занять та самостійної роботи;
- використання методу демонстрації для створення наглядного образу предмету чи явища, що розглядається;
- використання методу вправ для отримання найбільш важливих професійно необхідних вмінь;
- використання методу досліджень для формування у студентів навичок щодо самостійного отримання знань та результатів.

3.2. Види організації самостійної роботи , що виконуються студентами у позаурочний час

- Робота з навчальною літературою;
- робота з конспектами ;
- виконання домашніх завдань;
- підготовка до практичних занять;
- підготовка до контрольних заходів;
- робота в системі ДО.

3.3 Приклади відповідей на питання

1 Схема управління з прогнозом

Управління з прогнозом використовує принцип горизонту, що віддаляється, коли нейрмережева модель керованого об'єкту передбачає реакцію об'єкту на певному інтервалі часу в майбутньому. Прогноз використовується програмою чисельної оптимізації для того, щоб обчислити сигнал, що управляє, який мінімізує критерій якості

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} [y_r(t+j) - y_m(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_4} [u'(t+j-1) - u'(t+j-2)]^2, \quad (1)$$

де константи N_1 , N_2 и N_4 задають межі, усередині яких обчислюються помилки стеження і потужність сигналу, що управляє. Змінна u' описує пробний сигнал, що управляє; y_r – очікувана, а y_m – дійсна реакція моделі даної системи. Величина ρ визначає внесок, який вносить потужність управління в критерій якості. Структурна схема на рис.1 ілюструє процес управління з прогнозом. Регулятор складається з нейрмережевої моделі керованого об'єкту і блоку оптимізації. Блок оптимізації визначає значення, які мінімізують критерій якості управління, а відповідний сигнал, що управляє, управляє процесом.

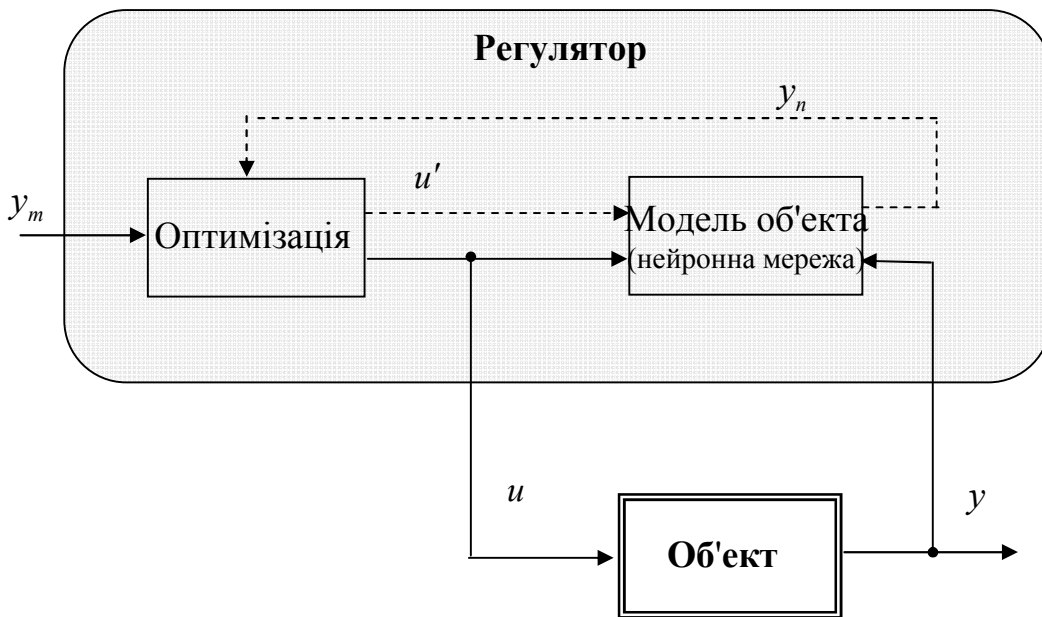


Рис.1. Структурна схема системи з регулятором, що використовує принцип прогнозу

Коли функціонал якості мінімізований, генерується вхідний сигнал, що управляє, що дозволяє об'єкту відстежувати задану траєкторію з деякою точністю. Для реалізації оптимального управління, функціонал якості мінімізується за допомогою алгоритму Ньютона-рафсона.

Синтез нейроконтроллера складається з двох етапів: етап ідентифікації об'єкту управління і етап синтезу закону управління. На етапі ідентифікації розробляється модель керованого об'єкту у вигляді нейронної мережі, яка на етапі синтезу використовується для синтезу регулятора.

2. Структура регулятора NARMA-L2 CONTROLLER у вигляді нейронної мережі

При синтезі даного регулятора будується дискретна нелінійна модель нелінійного об'єкту управління як авторегресійна модель з ковзаючим середнім, або NARMA-модель у формі

$$y(k+d) = N[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] \quad (1)$$

де $y(k)$ - вихід моделі; d - число тактів прогнозу; $u(k)$ - вхід моделі.

Якщо потрібно спроектувати стежачу систему, яка забезпечує рух по заданій траєкторії

$$y(k+d) = y_r(k+d), \quad (2)$$

то необхідно сформувати регулятор наступного вигляду при $d \geq 2$.:

$$u(k+1) = \frac{y_r(k+d) - f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]}{g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]} \quad (3)$$

На рис. 1 показана структура відповідного регулятора у вигляді нейронної мережі.

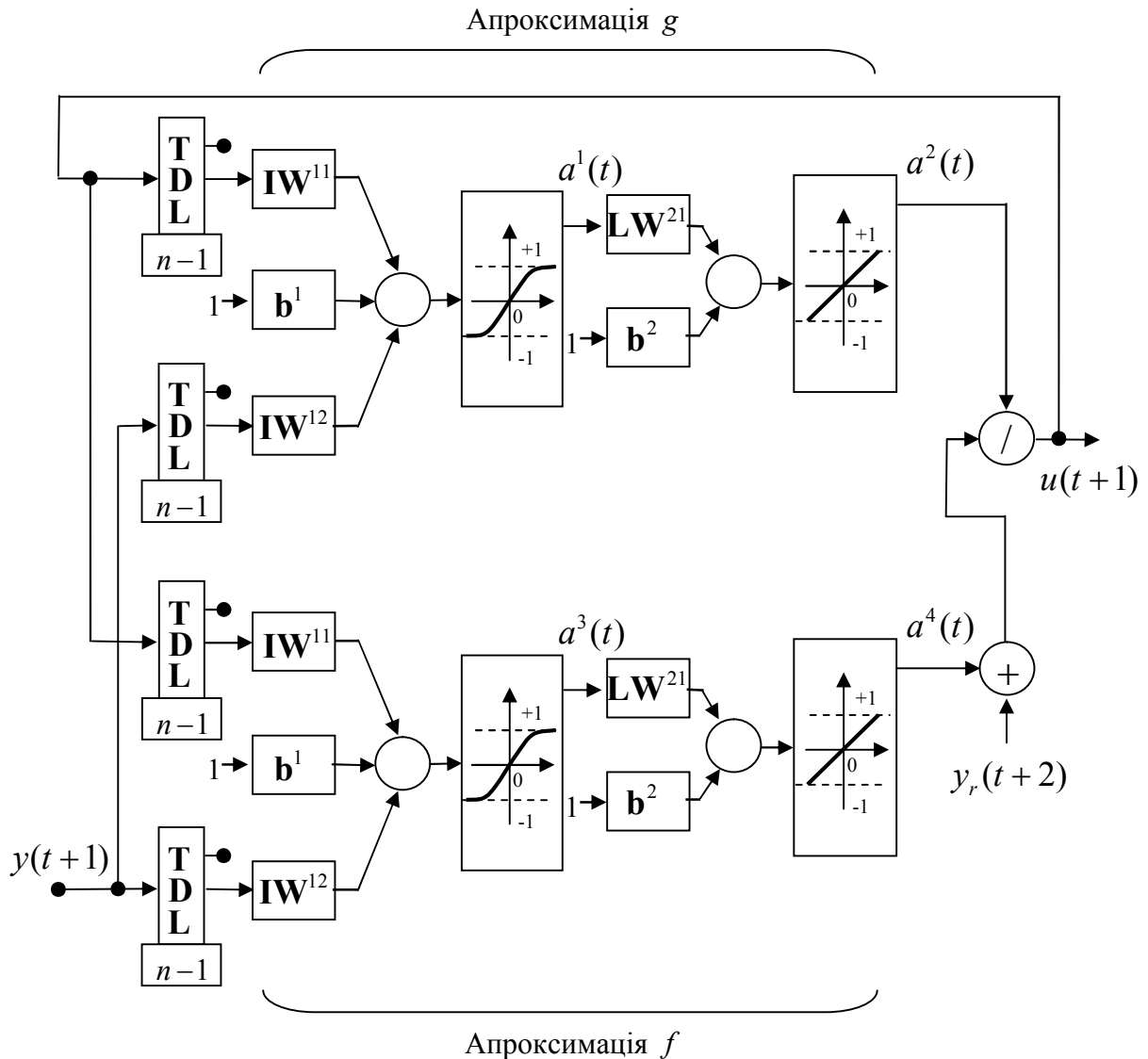


Рис. 1. Структура NARMA-L2 регулятора у вигляді нейронної мережі

Ділянки мережі виконують апроксимацію нелінійних операторів g і f у вигляді виходів $\hat{g} = a^2(t)$ і $\hat{f} = a^4(t)$. Входами регулятора є сигнали $y(t+1)$ і $u(t+1)$ (останній реалізований у вигляді зворотного зв'язку,)а також еталонний сигнал $y_r(t+2)$. Блоки затримки здійснюють запам'ятовування відповідних послідовностей входу і виходу, а потім використовуються двошарові нейронні мережі, які формують оцінки нелінійних операторів і обчислюють сигнал управління у формі (3)

3 Схема включення нейронних мереж регулятора і об'єкту управління в системі управління з еталонною моделлю

Архітектура нейронних мереж регулятора і об'єкту управління надані на рис. 1. Мережі мають два шари нейронів і містять лінії затримок, використовувані для формування входів нейронних мереж.

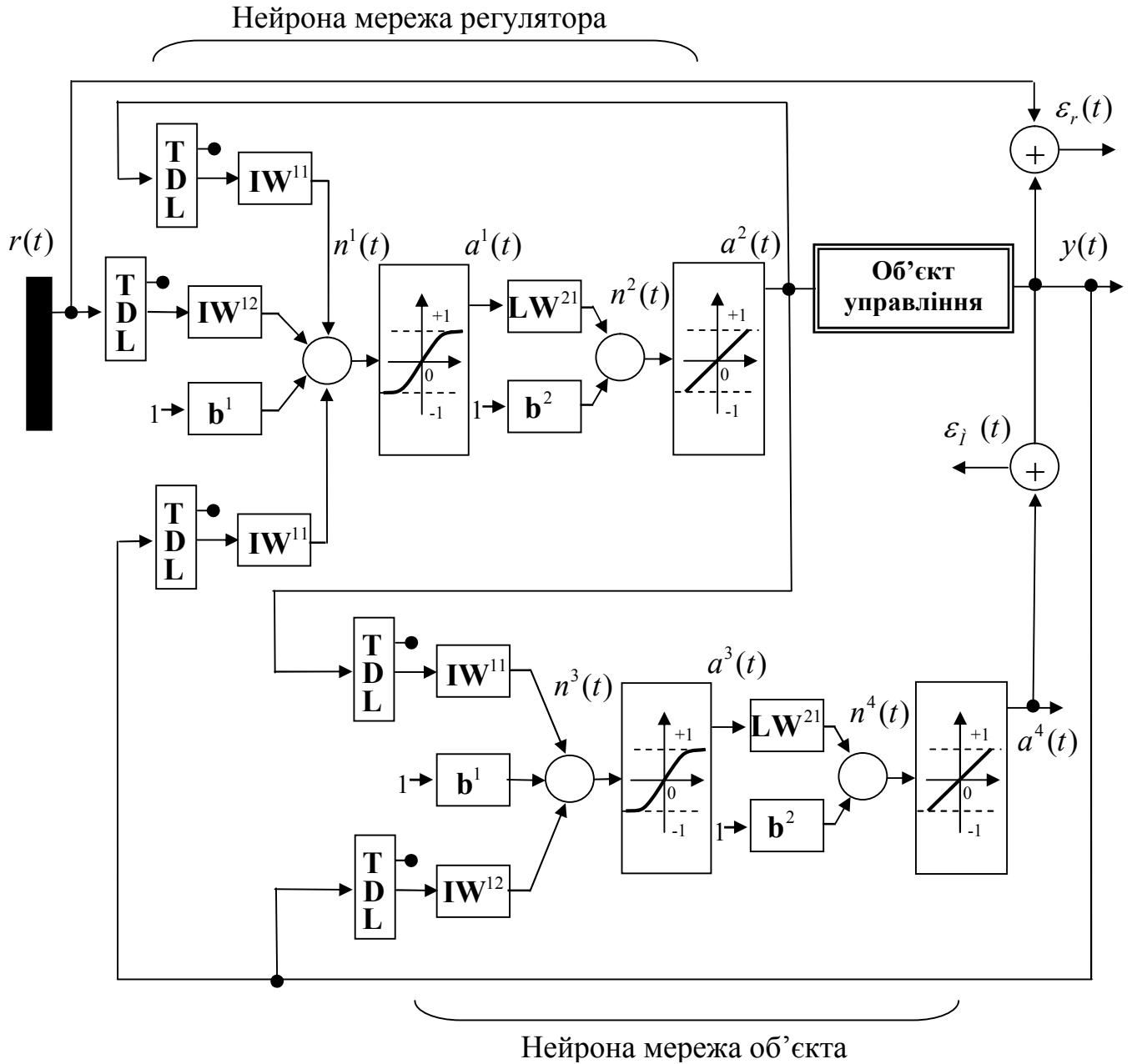


Рисунок 1 - Схема включення нейронних мереж регулятора і об'єкту управління в системі управління з еталонною моделлю

4 Ідентифікація об'єкту управління за допомогою нейронних мереж при синтезі регулятора NN PREDICTIVE CONTROLLER

Схема підсистеми ідентифікації показана на рис. 1. вона включає модель об'єкту управління у вигляді нейронної мережі, яка повинна бути навчена в автономному режимі так, щоб мінімізувати помилку між реакціями об'єкту і моделі $e = y - y_n$ на послідовність пробних сигналів u .

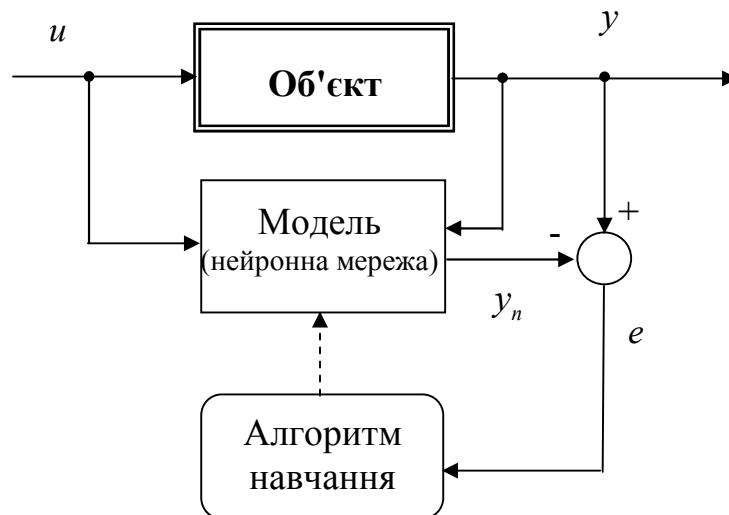


Рис.1. Схема підсистеми ідентифікації.

Нейронна мережа регулятора об'єкту управління представлена на рис. 2. вона має 2 шари нейронів і використовує лінії затримки (ЛЗ), щоб запам'ятати попередні значення входів і виходів об'єкту передбачити майбутнє значення виходу.

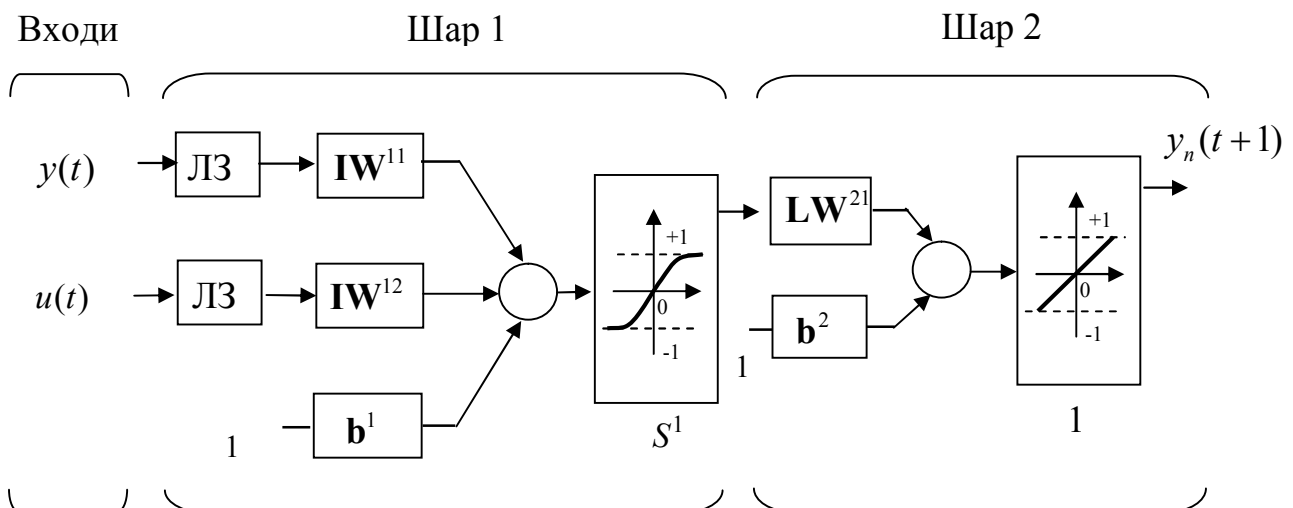


Рис.2. Нейронна мережа регулятора керованого об'єкту

Настройка параметрів цієї мережі виконується автономно методом групового навчання, використовуючи дані, отримані при випробуваннях реального об'єкту. Для навчання мережі може бути використаний будь-якому з навчальних алгоритмів для нейронних мереж. Найбвльш ефективним є алгоритм Левенберга-Марквардта. У ППП Neural Network Toolbox даний алгоритм реалізований у вигляді М-функції trainlm.

3.4 Приклад рішення задач

Задача 3.1 Побудувати за допомогою пакета прикладних програм Neural Network Toolbox системи MATLAB схему моделі системи управління двомасовою електромеханічною системою електроприводом Г-Д з нейрорегулятором NN Predictive Controller.

Рішення.

При синтезі нейрорегулятора NN Prediction Controller у вікні системи SIMULINK формується схема системи із структурою, показаною на рис. 1.

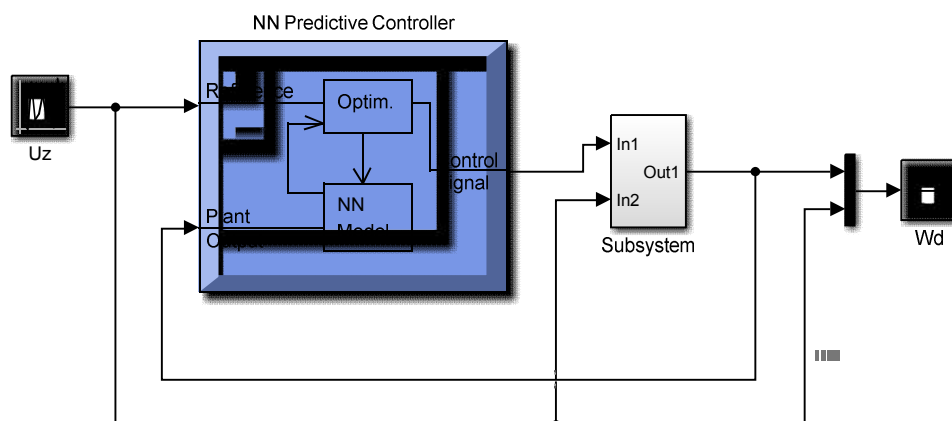


Рис. 1. Схема системи управління з нейрорегулятором NN Prediction Controller

Ця структура включає блок керованого об'єкту Subsystem і блок регулятора NN Prediction Controller, а також блоки генерації еталонного ступінчастого сигналу з випадковою амплітудою Random Reference, блоки побудови графіків. Особливість цієї структури полягає в тому, що вона виконується не тільки функції блок – схеми системи SIMULINK, але і функції графічного інтерфейсу користувача GUI.

У якості Subsystem задається необхідна модель об'єкту регулювання, наприклад схема моделі двомасової системи управління електроприводом керований перетворювач – двигун постійного збудження, показана на рис. 2

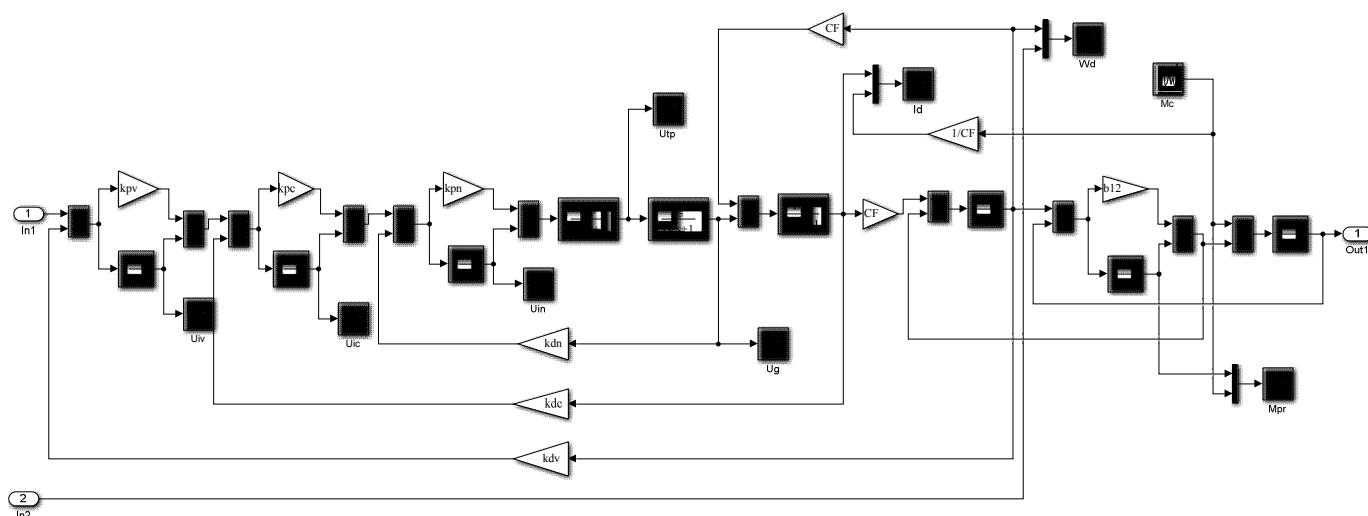


Рис.2. Модель керованого об'єкту нейрорегулятора

Задача 3.2 Побудувати за допомогою пакета прикладних програм Neural Network Toolbox системи MATLAB модель статичної мережі з прямою передачею сигналу з 9 нейронами, що генерується при синтезі регулятора NN Predictive Controller.

Рішення.

При синтезі нейрорегулятора спочатку відбувається створення мережі з прямою передачею сигналу за допомогою М-функції `newff`. Дана функція не тільки створює мережу з ім'ям `netn`, але і ініціалізує її ваги і зсуви і готує нейронну мережу до навчання. Модель нейронної мережі може бути побудована в системі Simulink за допомогою оператора `gensim(netn)` (рис.1).

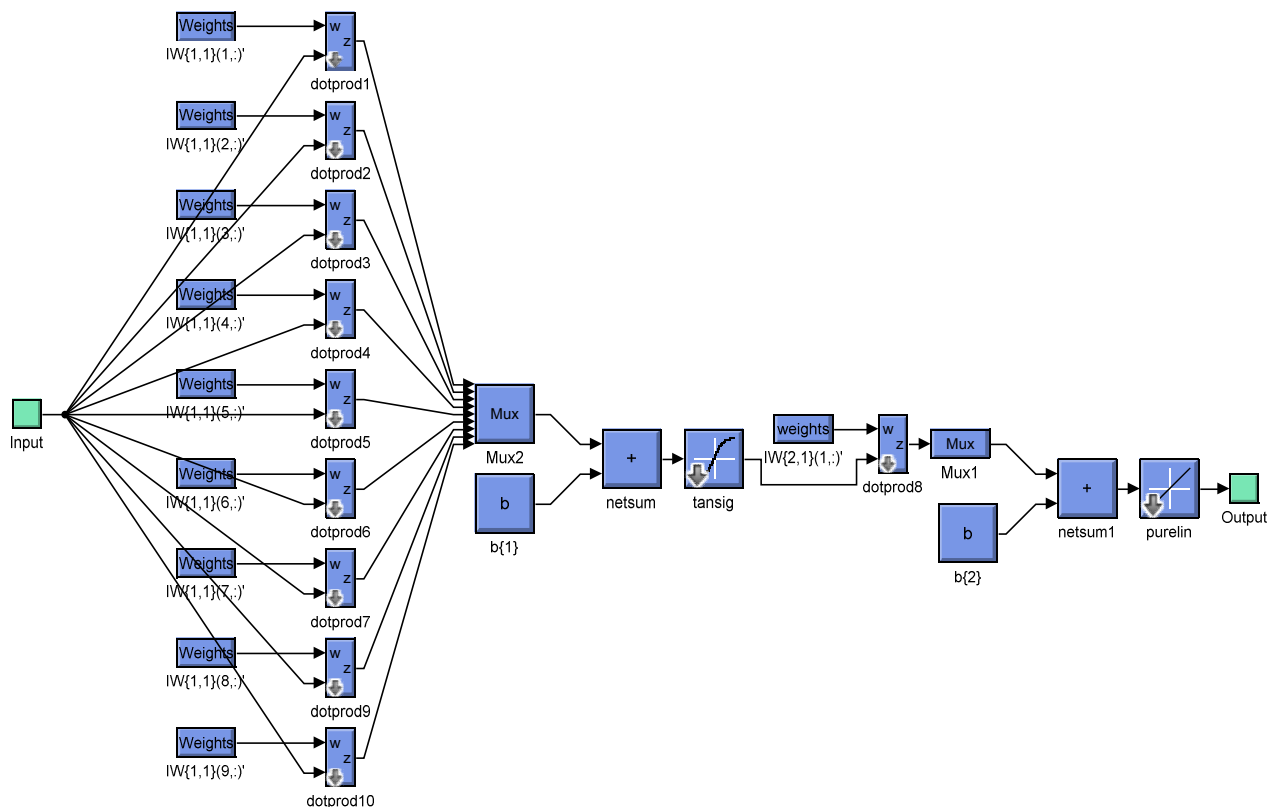


Рис. 1. Модель статичної мережі з прямою передачею сигналу, побудованою в Simulink

Дана мережа є статичною (статична мережа характеризується тим, що в її складі немає елементів запізнювання і зворотних зв'язків). Мережу використовує 1 вектор входу з 6 елементами, має 2 шар и з 12 нейронами в першому (прихованому) шарі і 1 нейроном в другому (вихідному) шарі. Використовувані функції активації: гіперболічного тангенса (`tansig`) - в першому шарі, лінійна (`purelin`) - в другому шарі.

Задача 3.3 Побудувати за допомогою пакета прикладних програм Neural Network Toolbox системи MATLAB модель динамічної мережі з елементами затримок, що генерується при синтезі регулятора NN Predictive Controller.

Рішення.

При синтезі нейррегулятора NN Predictive Controller спочатку виконується побудова і навчання статичної мережі. Після завершення навчання М-функція Nnident виконує побудову динамічної мережі із заданим числом затримок по входу і виходу моделі, не змінюючи при цьому набутих значень вагів і зсувів нейронів шарів. Схема моделі динамічної мережі, показана на рис.1. Дана схема побудована в режимі Simulink з елементів, які з'являються у вікнах в результаті використання оператора gensim(netn2) і активізації елементів мережі.

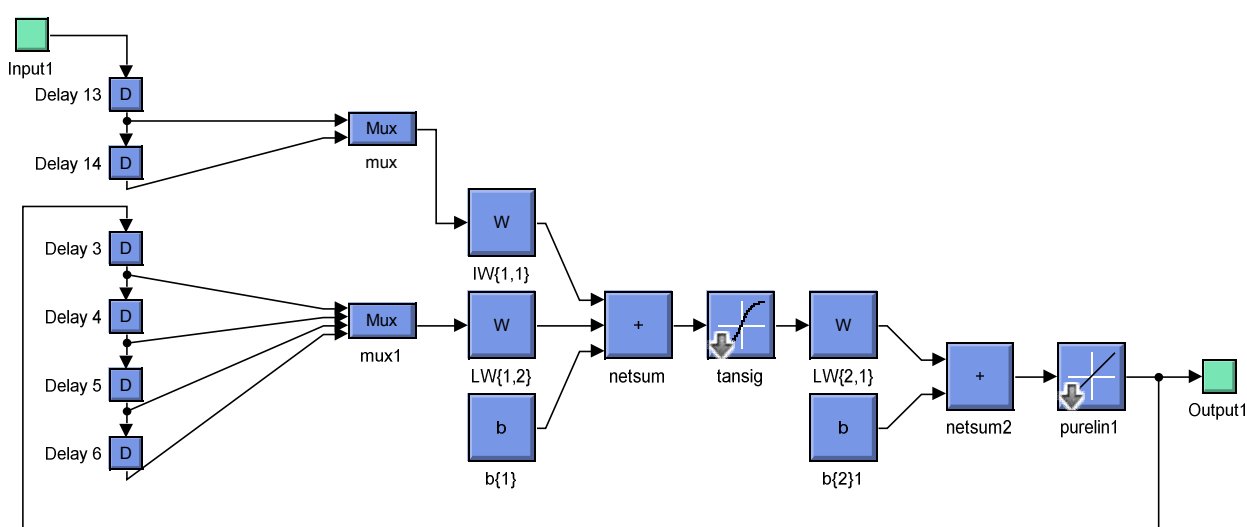


Рис. 1. Модель динамічної мережі з елементами затримок, побудованою в Simulink

Для побудови моделі мережі netn2 треба перервати виконання програми шляхом попереднього встановлення Breakpoint у відповідному місці функції Nnident.m, оскільки після закінчення виконання зазначеної функції побудова мереж стає неможливою.

В результаті параметри нейромережевої моделі керованого об'єкту вводяться в блок NN Predictive Controller системи Simulink.

Задача 3.4 Побудувати за допомогою пакета прикладних програм Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB схему моделі нечіткої системи управління двомасовою електромеханічною системою електроприводом ГП-Д з підсумовуючим підсилювачем..

Рішення.

Визначимо мету управління як забезпечення задовільних показників якості функціонування двомасової електромеханічної системи. Будемо оцінювати якість функціонування системи по величині миттєвої помилки регулювання $\varepsilon(t)$, тобто різниці між заданим значенням швидкості обертання механізму $\omega_z(t)$ і реальною швидкістю обертання механізму $\omega_m(t)$. Очевидно, в регулятор, що забезпечує досягнення мети управління, повинна поступати інформація про величину помилки регулювання, при цьому регулятор повинен виробляти управляючий сигнал $U_{\text{рег}}(t)$, що подається на двомасову електромеханічну систему.

Оскільки двомасова система є інерційною, то при регулюванні слід враховувати похідну від помилки регулювання, в якості якої можна використовувати момент пружності $M_{\text{пр}}(t)$ в кінематичному ланцюзі електроприводу. Тобто, на вхід регулятора слід подавати також сигнал $M_{\text{пр}}(t)$.

Системи нечіткого висновку, створені за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox, допускають інтерпретацію з інструментальними засобами Simulink. Модель системи управління двомасовою електромеханічною системою з нечітким регулятором, побудована в Simulink показана на рис. 1. Схема містить блок **Fuzzy Logic Controller**, який співставляється з системою нечіткого висновку і підсистеми Subsystem, тобто моделі двомасової електромеханічної системи (рис. 2).

На входи нечіткого регулятора подається помилка регулювання $\varepsilon(t)$ і момент пружності $M_{\text{пр}}(t)$ (точніше – різниця між моментом пружності $M_{\text{пр}}(t)$ і моментом статичного навантаження $M_c(t)$, тобто $M_{\text{пр}}(t) - M_c(t)$). За допомогою регулятора формується управляюча дія $U_{\text{рег}}(t)$, що алгебраїчно підсумовується з напругою задання $U_z(t)$ і визначається напруга $U_{z1}(t)$, що діє на двомасову систему.

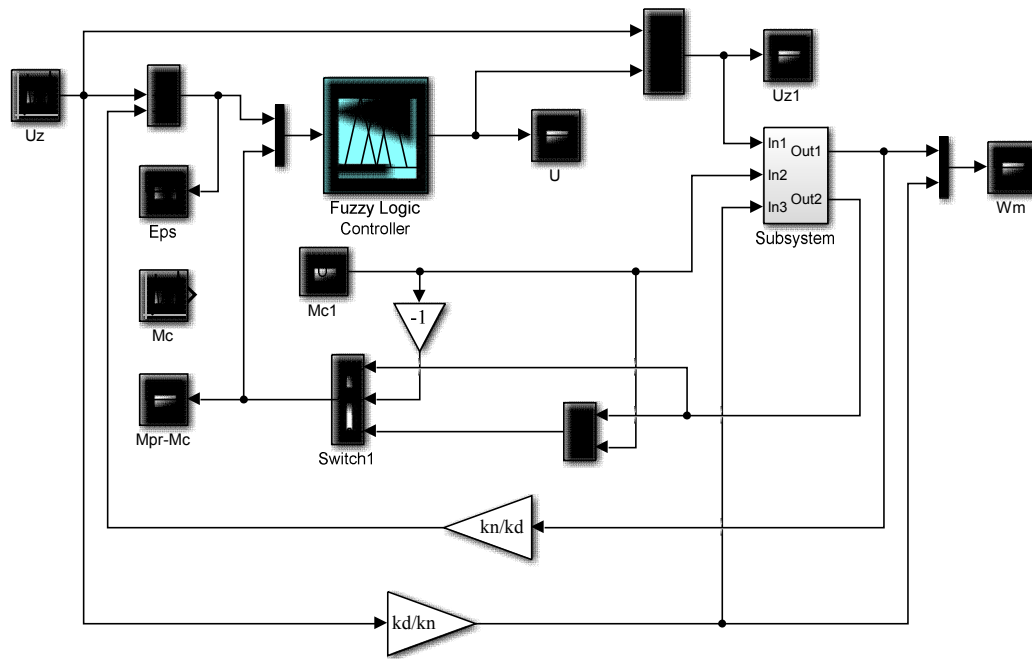


Рис. 1. Модель системи управління з нечітким регулятором

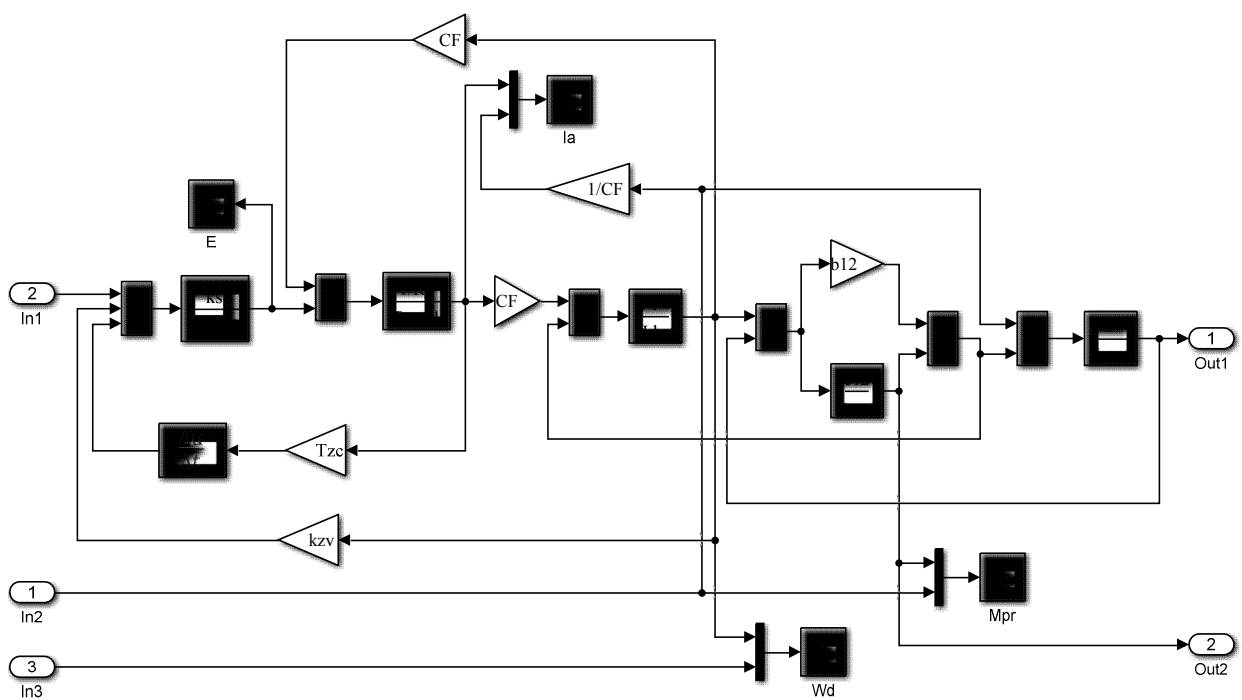


Рис.2. Модель об'єкту управління нечіткого регулятора

Електронне навчальне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

Канюк Геннадій Іванович
Василець Тетяна Юхимівна
Варфоломієв Олексій Олексійович

СИНТЕЗ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ І НЕЧІТКИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ MATLAB

Методичні вказівки
до організації та планування самостійної роботи
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

В авторській редакції

Підписано до розміщення 28.03.2025. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 0,75. Обсяг 0,660 Кб. Зам. № 108/25.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна