

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

ТЕХНОЛОГІЇ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ І НЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

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

Електронний ресурс

Харків – 2025

Рецензенти:

Р. М. ТРИЩ – 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)*

Технології нейронних мереж і нечіткого моделювання в системах управління : Методичні вказівки до організації та планування самостійної роботи для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 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 29 с.)

У методичних вказівках до організації та планування самостійної роботи студентів наведено стисло 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	8
2.1 Тематичний план навчальної дисципліни.....	8
2.2 Структура навчальної дисципліни.....	9
2.3 Теми практичних занять	10
2.4 Самостійна робота	10
2.5 Методи навчання	12
2.6 Методи контролю	12
2.7 Схема нарахування балів для підсумкового семестрового контролю	12
2.8 Питання для самоперевірки.....	13
2.9 Методичне забезпечення	17
2.10 Рекомендована література	17
2.11 Інформаційні ресурси.....	10
3. ВИДИ ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	21
3.1 Види організації самостійної роботи у процесі проведення очних занять	20
3.2 Види організації самостійної роботи, що виконуються у позаурочний час	20
3.3 Приклади відповідей на питання	21
3.4 Приклади рішення задач	25

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою вивчення дисципліни є надання студентам магістерської програми теоретичних знань і практичних навичок, необхідних для розробки, дослідження та впровадження сучасних методів інтелектуального управління на основі нейронних мереж та нечіткого моделювання. Дисципліна спрямована на підготовку майбутніх фахівців, здатних вирішувати складні завдання автоматизації та управління в умовах невизначеності та нелінійності, використовуючи інноваційні технології штучного інтелекту.

Основні завдання вивчення дисципліни

1. Ознайомлення з теоретичними основами нейронних мереж і нечіткої логіки.
 - Вивчення принципів роботи штучних нейронних мереж (ШНМ), їх різновидів, архітектур і застосувань.
 - Розуміння основ нечіткої логіки, включаючи поняття нечітких множин, нечітких висловлювань і нечітких систем управління.
2. Оволодіння методами проектування інтелектуальних систем управління.
 - Навчання принципам проектування нейронних мереж та систем нечіткого управління для моделювання та оптимізації реальних процесів.
 - Формування вмінь застосовувати методи гібридних систем, що поєднують нейронні мережі і нечітку логіку, для підвищення ефективності управління складними динамічними процесами.
3. Розвиток практичних навичок моделювання.
 - Опанування інструментів для моделювання нейронних мереж та нечітких систем управління в середовищі MATLAB, Simulink.
 - Вміння налаштовувати параметри нейронних мереж, тренувати їх та аналізувати якість навчання.
4. Аналіз і вирішення задач управління в умовах невизначеності та складної динаміки.
 - Оволодіння методами нечіткого управління, що дозволяють керувати системами в умовах невизначеності даних та змінних параметрів.
 - Розробка алгоритмів управління, здатних адаптуватися до змін середовища, за допомогою нейронних мереж та нечітких систем.
5. Дослідження можливостей інтеграції інтелектуальних систем управління.
 - Вивчення можливостей і обмежень інтеграції нейронних мереж та нечіткої логіки в автоматизовані системи управління виробничими та технологічними процесами.
 - Розробка методів підвищення продуктивності та ефективності управління за допомогою інтелектуальних технологій.
6. Розвиток аналітичних і дослідницьких навичок.
 - Проведення наукових досліджень в області нейронних мереж та нечітких систем.

- Здатність аналізувати сучасні наукові праці та впроваджувати новітні досягнення у практику розробки систем управління.

Кількість кредитів 5.

Загальна кількість годин 150.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

Знати:

структурні схеми штучного нейрона;
 класифікацію нейронних мереж і їх властивості;
 архітектуру нейронних мереж прямого розповсюдження;
 властивості багатошарових мереж;
 методи навчання нейронних мереж;
 шляхи застосування нейронних мереж в системах управління;
 моделі систем, використовувані при нейромережевій ідентифікації;
 методи ідентифікації динамічних систем за допомогою нейронних мереж;
 структурні схеми нейромережевих систем управління нелінійними динамічними об'єктами;
 принцип побудови нейромережевих регуляторів;
 методи синтезу нейромережевих регуляторів з застосуванням системи MATLAB.
 характеристики нечітких множин;
 функції приналежності нечіткої логіки;
 операції над нечіткими множинами і відносинами;
 нечітка і лінгвістична змінні, нечіткі числа;
 алгоритми нечітких висновків;
 шляхи застосування систем нечіткого висновку в системах управління;
 методи ідентифікації динамічних систем з використанням систем нечіткого висновку;
 методи синтезу фаззі-регуляторів з застосуванням системи MATLAB;
 основи теорії гібридних мереж;
 методи синтезу моделей динамічних об'єктів з використанням гібридних мереж в середовищі MATLAB.

Вміти:

на основі знання про штучні нейронні мережі, що є адаптивними системами, здатними навчатися рішенню складних задач, вміти вибрати структуру і метод навчання нейронної мережі;

на основі знання завдань алгоритмічного і структурного синтезу нейромережевих систем управління вміти провести обґрунтований вибір змістовної інформації, необхідної для навчання багатошарових нейронних мереж для формування нею оптимального закону управління і встановлення умов існування рішення задачі управління для класу нелінійних об'єктів і необхідних цілей управління;

застосовуючи знання, одержані при вивченні дисципліни стосовно того, що за допомогою багатозарового персептрону можна апроксимувати з бажаною точністю не тільки будь-які статичні функції, а також той факт, що попередні значення вхідних/вихідних координат у вхідному векторі дозволяють додати прямонаправленим мережам динамічні властивості вміти виконати побудову нейромережових моделей динамічних об'єктів і систем;

застосовуючи знання, одержані при вивченні дисципліни стосовно здібності штучних нейронних мереж до самонавчання вміти використовувати нейрорегулятор в умовах істотних невизначеностей, коли для реалізації традиційних методів адаптивного управління необхідною умовою є наявність великого об'єму апріорної інформації про об'єкт управління;

на основі знання про такі властивості штучних нейронних мереж, як висока швидкодія і надійність нейрорегуляторів, що обумовлена високим ступенем паралельності штучних нейронних мереж, простота реалізації нейронних мереж і їх здібність до навчання вміти застосовувати їх при управлінні складними нелінійними об'єктами в реальному часі;

застосовуючи знання, одержані при вивченні дисципліни стосовно формування бази правил нечітких висновків, алгоритмів нечіткого висновку, методів приведення до чіткості вміти виконати розробку нечіткої апроксимуючої системи для вирішення завдань ідентифікації нелінійних динамічних об'єктів;

на основі знання завдань методики формування бази правил нечітких висновків, алгоритмів нечіткого висновку, методів приведення до чіткості вміти вибрати алгоритм нечіткого висновку і метод приведення до чіткості для синтезу нечітких систем управління складними динамічними об'єктами;

на основі знання теорії гібридних мереж вміти виконати розробку нечіткої моделі гібридної мережі для вирішення завдання ідентифікації складних динамічних об'єктів і систем

Володіти:

методами навчання нейронних мереж;
методами ідентифікації динамічних систем за допомогою нейронних мереж;
методами побудови нейромережових систем управління;
методами синтезу нейромережових регуляторів;
методами ідентифікації динамічних систем з використанням систем нечіткого висновку;
методами побудови нечітких систем управління;
методами синтезу моделей динамічних об'єктів з використанням гібридних мереж в середовищі MATLAB.

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.

СК5. Здатність інтегрувати знання з інших галузей, застосовувати системний підхід та враховувати нетехнічні аспекти при розв'язанні інженерних задач та проведенні наукових досліджень.

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. Застосування нейромережевих технологій в системах управління

Тема 1. Основні поняття і структурні схеми штучних нейронних мереж

Галузі застосування штучних нейронних мереж. Нейромережевий підхід до управління. Біологічні основи функціонування нейрона. Структурна схема штучного нейрона: нейрон зі скалярним входом; функції активації нейрона; нейрон з векторним входом. Класифікація нейронних мереж і їх властивості. Здібності багатошарових мереж. Архітектура і властивості нейронних мереж прямого розповсюдження: одношарові мережі; багатошарові мережі; мережі прямого розповсюдження з сигмоїдальними функціями активації

Тема 2. Навчання нейронних мереж

Сутність процесу навчання. Явище перенавчання. Здібність узагальнення. Критерій якості навчання. Навчання одношарової мережі. Навчання багатошарової мережі. Метод зворотного розповсюдження помилки. Налаштування вагових коефіцієнтів мережі.

Тема 3. Ідентифікація динамічних систем за допомогою нейронних мереж

Моделі систем, використовувані при нейромережевій ідентифікації. Нейронні мережі як універсальні моделі. Побудова прямої і інверсної нейронної моделі об'єкту.

Тема 4. Синтез нейромережевих систем управління з використанням системи MATLAB

Нейромережева система управління нелінійним динамічним об'єктом. 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 з використанням системи MATLAB. Принцип побудови нейрорегулятора на основі моделі авторегресії з ковзаючим середнім NARMA-L2 CONTROLLER. Синтез нейрорегулятора NARMA-L2 CONTROLLER з використанням системи MATLAB4. Принцип побудови нейрорегулятора з еталонною моделлю MODEL REFERENCE CONTROLLER. Синтез нейрорегулятора MODEL REFERENCE CONTROLLER з використанням системи MATLAB.

Розділ 2. Застосування систем нечіткого висновку в задачах управління

Тема 1. Основи теорії нечітких множин і нечіткої логіки

Ефективність систем прийняття рішень, що використовують методи нечіткої логіки. Основні поняття нечіткої логіки. Операції над нечіткими множинами і відносинами. Нечіткі і лінгвістичні змінні, нечіткі числа. Нечіткі висновки. Використання систем нечіткого висновку в задачах управління.

Тема 2. Гібридні мережі

Основні поняття і визначення гібридних мереж. Алгоритми навчання і використання гібридних мереж. Нечіткий гібридний класифікатор.

Тема 3. Синтез нечітких регуляторів з використанням системи MATLAB

Призначення і можливості пакету Fuzzy Logic Toolbox. Графічний інтерфейс Fuzzy Logic Toolbox. Розробка моделі системи управління з нечітким регулятором. Формування бази правил системи нечіткого висновку. Розробка системи нечіткого висновку. Моделювання двомасової електромеханічної системи з нечітким регулятором

Тема 4. Побудова моделей динамічних об'єктів з використанням гібридних мереж.

Основні поняття і визначення гібридних мереж. Алгоритми навчання і використання гібридних мереж. Нечіткий гібридний класифікатор.

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. Застосування нейромережових технологій в системах управління												
Тема 1. Основні поняття і структурні схеми штучних нейронних мереж	18	4	2			12	18	1	0,5			16,5
Тема 2. Навчання нейронних мереж	18	4	2			12	18	1	0,5			16,5
Тема 3. Ідентифікація динамічних систем за допомогою нейронних мереж	14	4	2			8	14	1	1			12
Тема 4. Синтез нейромережових систем управління з використанням системи MATLAB	26	4	4			18	26	1	2			23
Разом за розділом 1	76	16	10			50	76	4	4			68
Розділ 2. Застосування систем нечіткого висновку в задачах управління												
Тема 1. Основи теорії нечітких множин і нечіткої логіки	24	4	2			18	24	1				23
Тема 2. Гібридні мережі	12	2	2			8	12	1				11
Тема 3. Синтез нечітких регуляторів з використанням системи MATLAB	22	4	4			14	22	1	1			20

Тема 4. Побудова моделей динамічних об'єктів з використанням гібридних мереж	16	4	2			10	16	1	1			14
Разом за розділом 2	74	14	10			50	74	4	2			68
Усього годин	150	30	20			100	150	8	6			136

2.3 Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вивчення функцій пакету прикладних програм NEURAL NETWORK TOOLBOX системи MATLAB	2
2	Побудова нейромережевих моделей за допомогою пакету NEURAL NETWORK TOOLBOX системи MATLAB	2
3	Синтез регулятора з прогнозом NN Predictive controller з використанням системи MATLAB	2
4	Синтез нейрорегулятора на основі моделі авторегресії з ковзаючим середнім NARMA– L2 Controller з використанням системи MATLAB	2
5	Синтез нейрорегулятора з еталонною моделлю model Reference Controller з використанням системи MATLAB	2
6	Вивчення функцій пакету Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB	2
7	Побудова нечітких моделей за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB	2
8	Синтез нечітких регуляторів з використанням системи MATLAB	4
9	Розробка нечіткої моделі гібридної мережі для вирішення завдання ідентифікації двомасової електромеханічної системи	2
	Разом	20

2.4 Самостійна робота

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Основні поняття і структурні схеми штучних нейронних мереж. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання курсового проекту. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти.	12

2	Навчання нейронних мереж. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання курсового проєкту. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	12
3	Ідентифікація динамічних систем за допомогою нейронних мереж Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання курсового проєкту. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	8
4	Синтез нейромережових систем управління з використанням системи MATLAB. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичних занять. Виконання курсового проєкту. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти	18
5	Основи теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання курсового проєкту. Виконання індивідуальних завдань.	18
6	Гібридні мережі. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання курсового проєкту. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	8
7	Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичних занять. Виконання курсового проєкту. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	14
8	Побудова моделей динамічних об'єктів з використанням гібридних мереж. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання курсового проєкту. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти.	10
	Разом	100

2.5 Методи навчання

Методи навчання – це різноманітні способи, які допомагають студентам засвоїти програмний матеріал, сприяють активізації навчального процесу, надають можливість набутти 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

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. Що називається нейронною мережею?
2. Які найважливіші особливості та властивості нейронних мереж?
3. Дайте визначення нейромережевої системи управління.
4. Перерахуйте області застосування штучних нейронних мереж.
5. Які фактори обумовлюють застосування нейромережевих технологій в системах управління?
6. Наведіть структурну схему і запишіть основні рівняння штучного нейрона з скалярним входом (без зсуву і зі зсувом).
7. Які ви знаєте види функцій активації нейронів? Запишіть їх формули та намалюйте графіки.
8. Наведіть структурну схему і запишіть основні рівняння штучного нейрона з векторним входом.
9. Наведіть укрупнену схему нейрона з векторним входом. Дайте пояснення основних елементів схеми.
10. Дайте визначення нейронної мережі.
11. Назвіть етапи формування нейронної мережі.
12. Назвіть типи нейронів в мережі в залежності від функцій, що вони виконують.
13. Наведіть класифікацію нейронних мереж по числу шарів. Зобразіть схему двохшарової мережі прямого розповсюдження.
14. Які нейронні мережі використовуються в задачах управління?
15. Зобразіть схему і запишіть рівняння одношарової нейронної мережі.
16. Зобразіть розгорнуту і укрупнену схему багатошарової нейронної мережі.
17. Перечисліть основні достоїнства багатошарових прямонаправлених нейронних мереж.
18. У чому полягає сутність процесу навчання нейронних мереж?
19. Що таке «явище перенавчання»? Як виявити ефект перенавчання?
20. У чому полягає здібність узагальнення нейронних мереж?
21. Запишіть квадратичний функціонал якості навчання.
22. Які проблеми виникають при використанні градієнтних методів настройки параметрів ШНМ?
23. Які ви знаєте методи навчання нейронних мереж?
24. Запишіть основні етапи навчання одношарової мережі.
25. Запишіть основні етапи навчання багатошарової мережі методом зворотного розповсюдження помилки.
26. Перечисліть і запишіть основні співвідношення методів настройки вагових коефіцієнтів мережі.
27. Які моделі систем використовуються при нейромережевій ідентифікації?
28. Запишіть рівняння узагальнених NARMAX або NARX моделей, що враховують різні види нелінійностей по вхідних і вихідних змінних.

- 29.Зобразіть структурні схеми узагальнених NARMAX або NARX моделей, що враховують різні види нелінійностей по вхідних і вихідних змінних.
- 30.Запишіть рівняння прямої і інверсної нейронних NARX моделей нелінійної динамічної системи.
- 31.Зобразіть структурні схеми прямої і інверсної нейронних NARX моделей.
- 32.Зобразіть структурні схеми *тренування прямої і інверсної нейронних моделей*.
- 33.Запишіть типову послідовність дій, що приводить до формування нейромоделі (ідентифікації) динамічної системи.
- 34.Зобразіть схему ідентифікації нелінійного об'єкту управління за допомогою штучної нейронної мережі.
- 35.Які Ви знаєте програмні засоби для побудови нейромережових моделей динамічних об'єктів і систем?
- 36.Перечисліть регулятори реалізовані в пакеті прикладних програм Neural Network Toolbox системи MATLAB.
- 37.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.
- 38.Поясніть структуру нейронних мереж, які використовуються в кожному регуляторі.
- 39.Наведіть структурні схеми системи управління з нейрорегулятором NN Predictive Controller, NARMA-L2 Controller і Model Reference Controller.
- 40.Перечисліть основні етапи синтезу нейромережових систем управління, побудованих на основі вищеназваних регуляторів.
- 41.Як виконується формування навчальної послідовності?
- 42.Як відбувається контроль процесу навчання мережі?
- 43.Як вибираються параметри нейрорегулятора?
- 44.Які функції виконують нейронні мережі в вищеназваних регуляторах?
- 45.Скільки шарів містить нейронна мережа нейрорегулятора NARMA-L2 Controller?
- 46.Скільки нейронних мереж містить нейрорегулятор Model Reference Controller?
- 47.У яких випадках доцільно використовувати нечітке управління?
- 48.Які теореми обґрунтовують можливість використання апарату нечіткої логіки в задачах управління?
- 49.Перечисліть основні недоліки систем з нечіткою логікою.
- 50.Дайте визначення нечіткої множини. Наведіть приклади завдання нечіткої множини.
- 51.Дайте визначення функції приналежності нечіткої логіки. Які типові форми функцій найчастіше використовуються в нечіткій логіці для завдання функцій приналежності? Наведіть їх рівняння і графіки.
- 52.Перечисліть основні логічні операції, які можливі з нечіткими множинами. Дайте їх графічну інтерпретацію.

53. Дайте визначення нечіткої і лінгвістичної змінних. Наведіть приклад.
54. Перечисліть етапи формування логічного висновку. Наведіть приклади формування нечітких висновків.
55. Наведіть алгоритми нечіткого висновку: Mamdani, Tsukamoto, Sugeno, Larsen, спрощений алгоритм нечіткого висновку.
56. Перечисліть методи приведення до чіткості. Наведіть відповідні формули.
57. Наведіть структурну схему системи управління з нечітким регулятором
58. Яке призначення пакету прикладних програм Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB?
59. Перечисліть основні програми, що входять до складу Fuzzy Logic Toolbox, які дозволяють працювати в режимі GUI?
60. Поясніть призначення і можливості редактора систем нечіткого виведення FIS Editor.
61. Поясніть призначення і можливості редактора функцій приналежності Membership Function Editor.
62. Поясніть призначення і можливості редактора правил системи нечіткого висновку Rule Editor.
63. Поясніть призначення і можливості програми перегляду правил системи нечіткого висновку Rule Viewer.
64. Поясніть призначення і можливості програми перегляду поверхні відгуку системи нечіткого висновку Surface View.
65. Наведіть методику синтезу нечіткої моделі двомасової електромеханічної системи.
66. Як вибирається кількість вхідних сигналів системи нечіткого висновку?
67. Як вибирається тип і кількість функцій приналежності вхідних і вихідної змінної?
68. Як виконується формування і введення правил нечіткого висновку?
69. З якою метою використовуються вікна перегляду правил і перегляду поверхні відгуку ?
70. Наведіть і поясніть схему моделі двомасової системи для перевірки адекватності побудованої нечіткої моделі.
71. Як можна використовувати системи нечіткого висновку, створені за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox, для моделювання в Simulink?
72. Як реалізовані гібридні мережі в пакеті прикладних програм Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB?
73. Поясніть призначення і можливості редактора ANFIS.
74. Перечисліть і поясніть пункти меню редактора ANFIS.
75. Наведіть методику синтезу гібридної мережі для побудови моделі двомасової електромеханічної системи.
76. Як формуються навчальні, тестові і перевіірочні дані?
- 77.

78. Як вибирається кількість термів вхідних і вихідного сигналів системи нечіткого висновку?
79. Як можна візуалізувати систему нечіткого висновку?
80. Які методи використовуються для навчання гібридної мережі?
81. За допомогою яких засобів можна виконувати корекцію параметрів гібридної мережі?
82. Як виконується моделювання нечіткої моделі гібридної мережі в Simulink?
83. Зобразіть схему системи управління двомасовою електромеханічною системою з нечітким регулятором?
84. Які сигнали слід подавати на вхід нечіткого регулятора?
85. Як визначаються вхідні і вихідні лінгвістичні змінні системи нечіткого висновку?
86. Які множини використовуються як терм-множини всіх лінгвістичних змінних?
87. Як формується база правил системи нечіткого висновку? Як визначається їх кількість?
88. Поясніть порядок синтезу нечітких регуляторів в середовищі MATLAB.
89. Як задаються терми і їх функції приналежності для вхідних і вихідних змінних системи нечіткого висновку?
90. Як задаються діапазони зміни вхідних і вихідних змінних?
91. Як виконується настройка функцій приналежності вхідних і вихідних змінних?
92. Як задаються правила нечіткого висновку?
93. Якими способами може бути викликана програма перегляду поверхні нечіткого висновку?
94. Як можна отримати графік залежності вихідної змінної від однієї з вхідних змінних?
95. Як виконується моделювання системи управління з нечітким регулятором?

2.9 Методичне забезпечення

1. Технології нейронних мереж і нечіткого моделювання в системах управління: навч.-метод. посіб. для здобувачів вищої освіти ОС «магістр» денної та заоч. форм здобуття освіти спец. 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка. Ч.1 / Г. І. Канюк, Т. Ю. Василець О. О. Варфоломійєв. Х. : ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2025. – 127 с..
2. Технології нейронних мереж і нечіткого моделювання в системах управління : навч.-метод. посіб. для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» денної та заоч. форм здобуття освіти спец. 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Ч.2 / Г. І. Канюк, Т. Ю. Василець О. О. Варфоломійєв. Х. : ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2025. – 107 с.
3. Технології нейронних мереж і нечіткого моделювання в системах управління : метод. вказ. до проведення практичних занять. для студ. ОС «магістр» денної та заоч. форм навч. спец: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка.. Ч.1 / Упоряд. Г. І. Канюк, Т. Ю. Василець. – Х. : ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2025. – 116 с.
4. Технології нейронних мереж і нечіткого моделювання в системах управління: метод. вказ. до проведення практичних занять. для студ. ОС «магістр» денної та заоч. форм навч. спец: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка. Ч.2 / Упоряд. Г. І. Канюк, Т. Ю. Василець. – Х. : ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2025. – 100 с.

2.10 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 : КПП ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка» 2019.– 224с.
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. – 356с.

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. Трусов, 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. Штовба С.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 курсової роботи;
- 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.

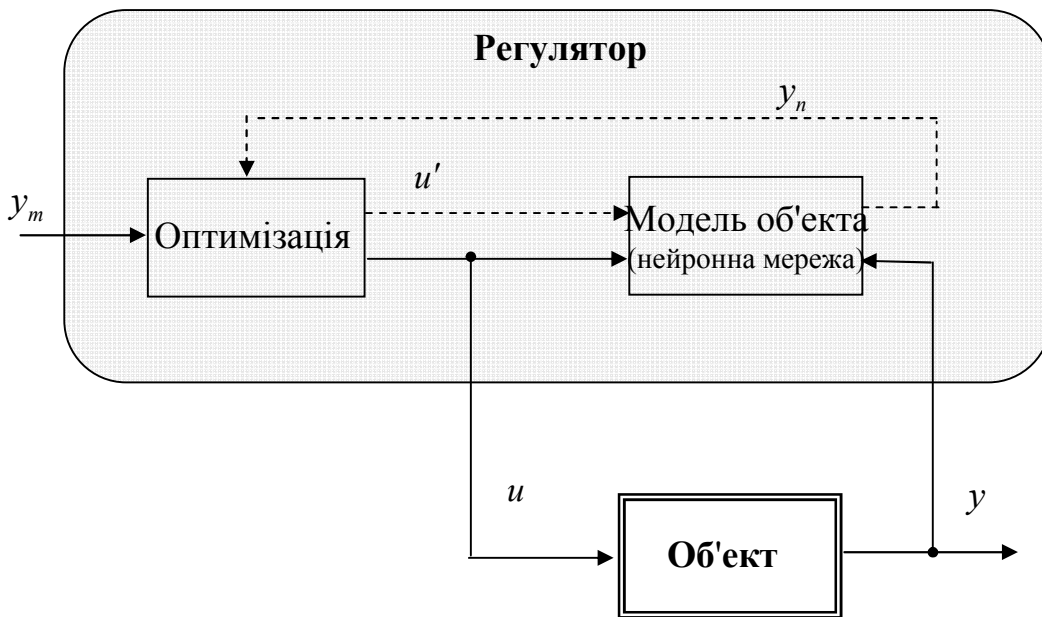


Рис.1. Структурна схема системи з регулятором, що використовує принцип прогнозу

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. Структурна схема системи з регулятором NARMA-L2 CONTROLLER

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 $d \geq 2$.:

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

Загальна структурна схема системи з регулятором NARMA-L2 показана на рис. 1.

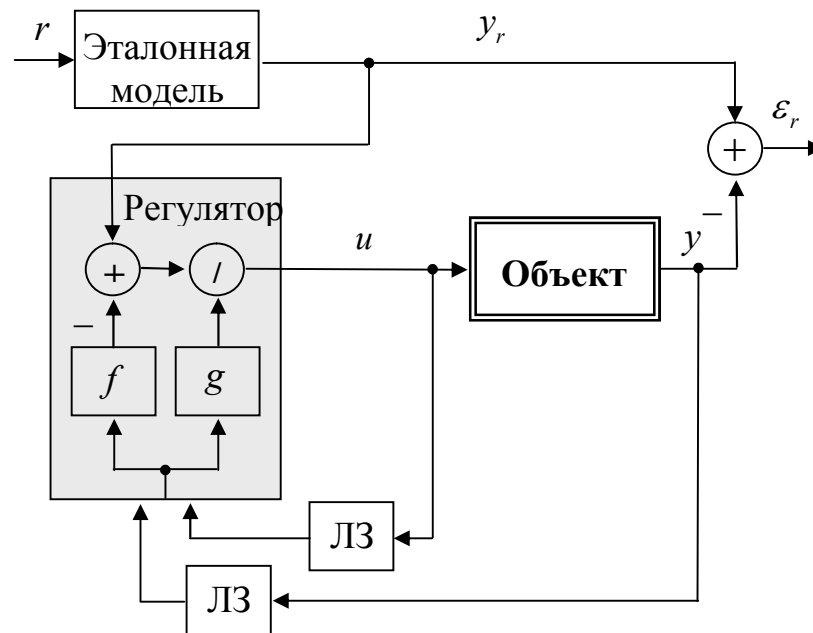


Рис.1. Структурна схема системи з регулятором NARMA-L2

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)

На схемі явним чином виділена еталонна модель, яка задає бажану траєкторію для виходу керованого об'єкту.

3 Принцип побудови регулятора з еталонною моделлю MODEL REFERENCE CONTROLLER

При реалізації системи управління з еталонною моделлю використовуються 2 нейронні мережі: для регулятора і для моделі об'єкту управління. Мета навчання регулятора полягає в тому, щоб рух об'єкту управління відстежував вихід еталонної моделі.

Структурна схема, що пояснює принцип побудови системи управління з еталонною моделлю, показана на рис..1.

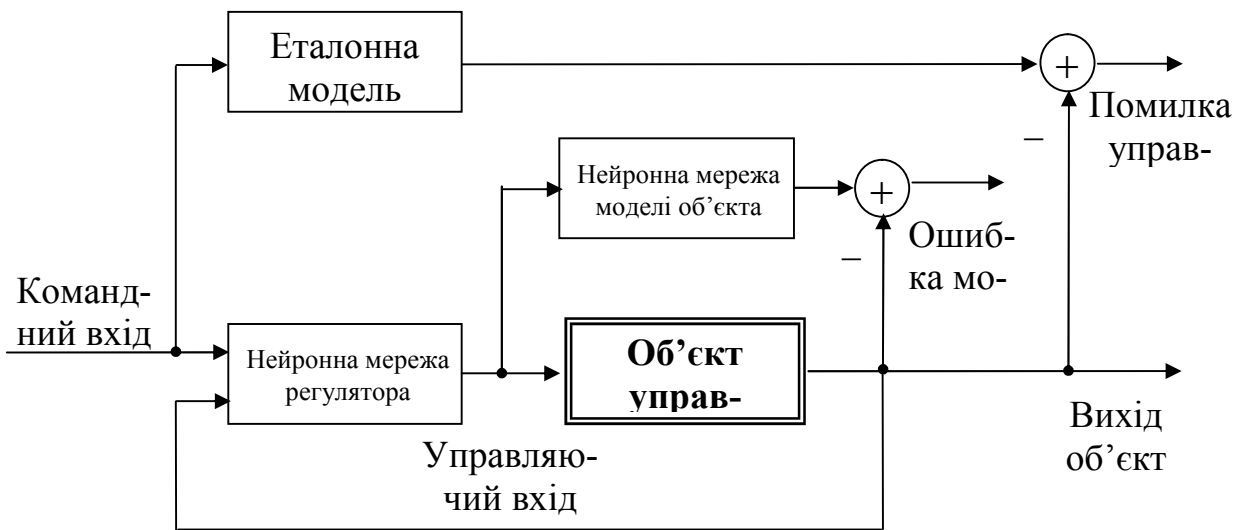


Рис. 1. Структурна схема системи управління з еталонною моделлю

У ній слід виділити еталонну модель, яка задає бажану траєкторію руху об'єкту управління, а також нейронні мережі, реалізуючі регулятор і модель об'єкту управління.

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 .

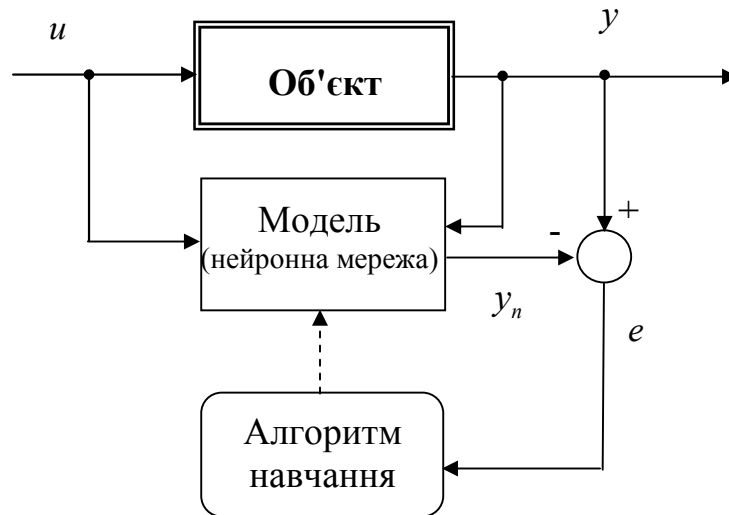


Рис.1. Схема підсистеми ідентифікації.

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.

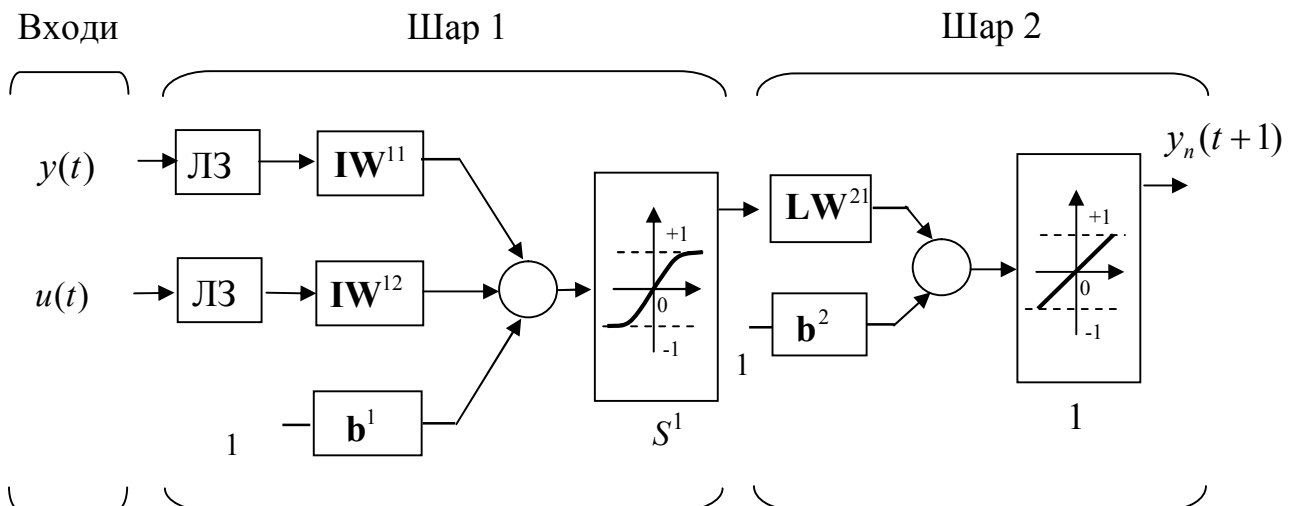


Рис.2. Нейронна мережа регулятора керованого об'єкту

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 ТП-Д з нейрорегулятором NN Prediction Controller.

Рішення.

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

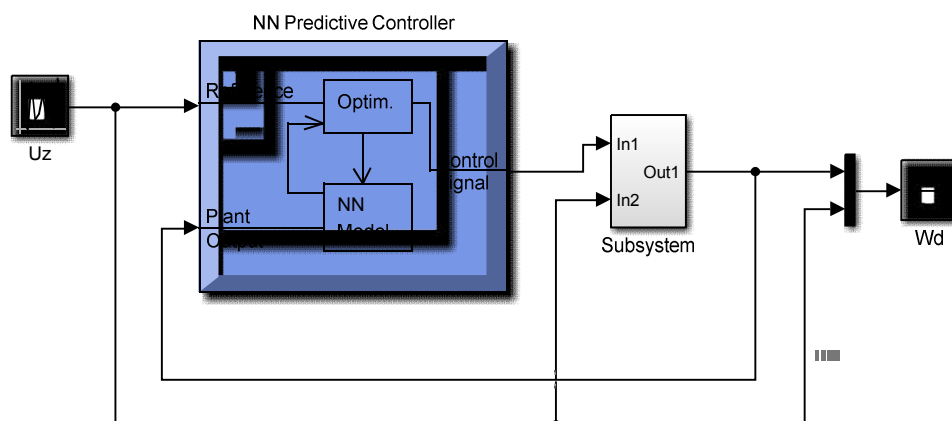


Рис. 1. Схема системи управління з нейрорегулятором NN Prediction Controller

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

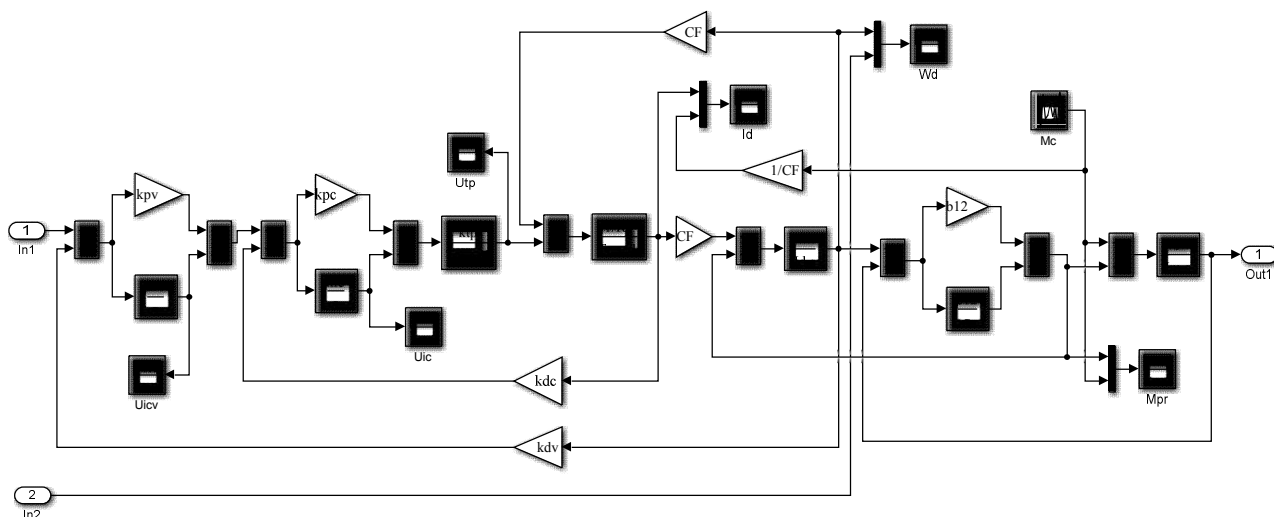


Рис.2. Модель керованого об'єкту нейрорегулятора

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

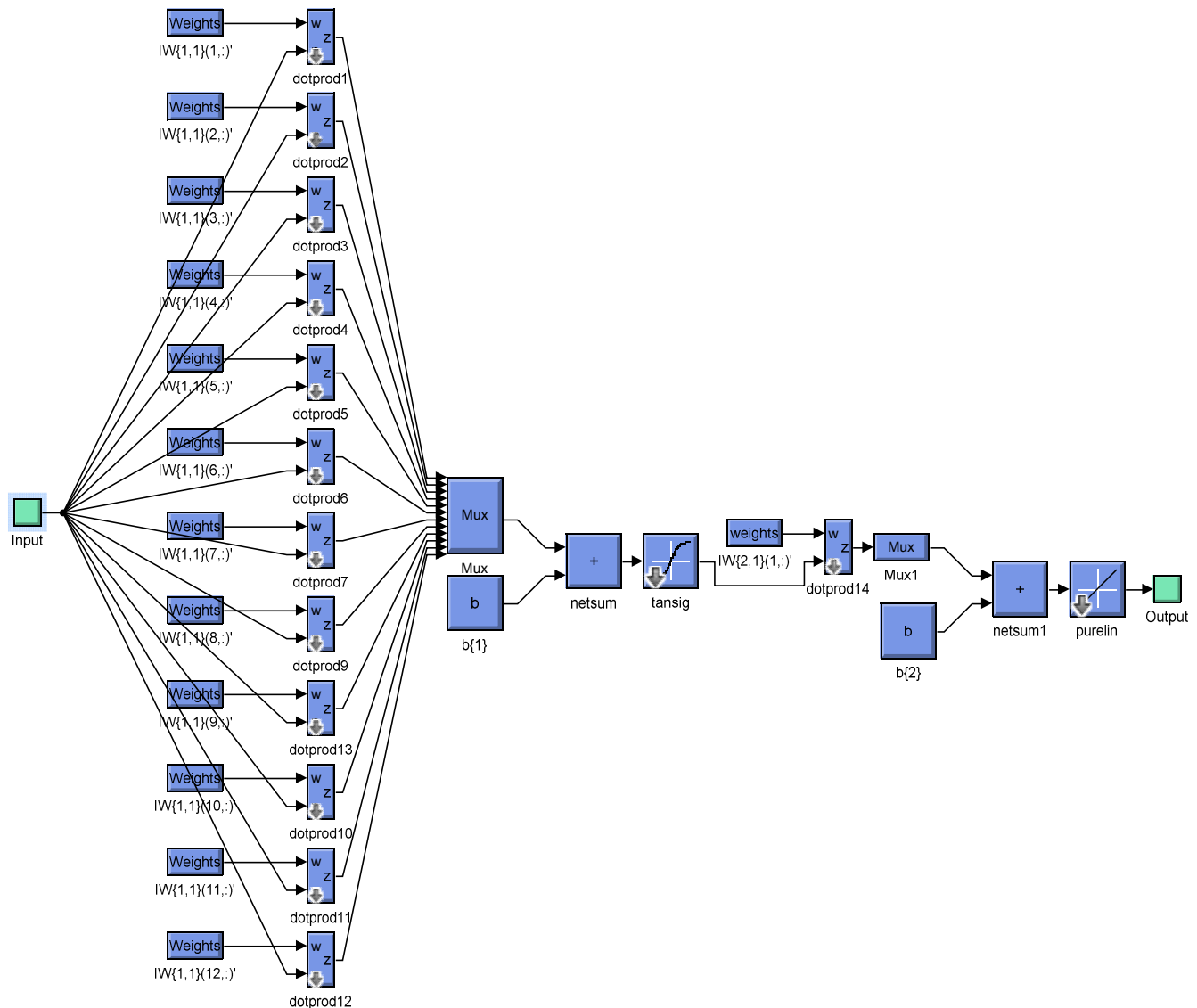


Рис. 1. Модель статичної мережі з прямою передачею сигналу, побудованою в Simulink

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 **Fuzzy Logic Toolbox** системи MATLAB схему моделі системи управління двомасовою електро-механічною системою електроприводом ТП-Д з нечітким регулятором.

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 підсистемою 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.

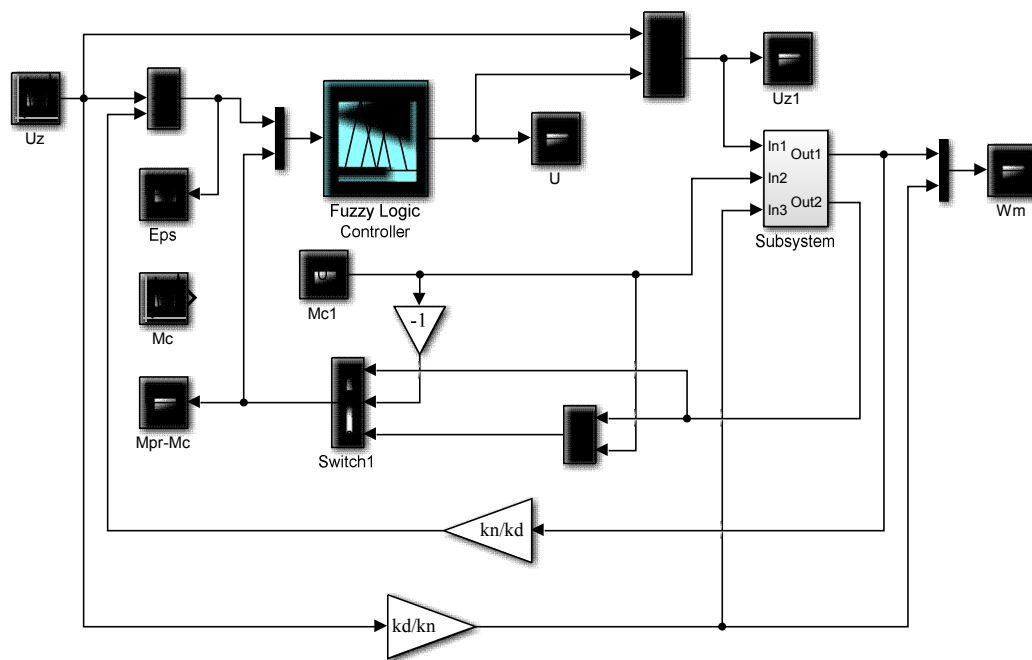


Рис. 1. Модель системи управління з нечітким регулятором

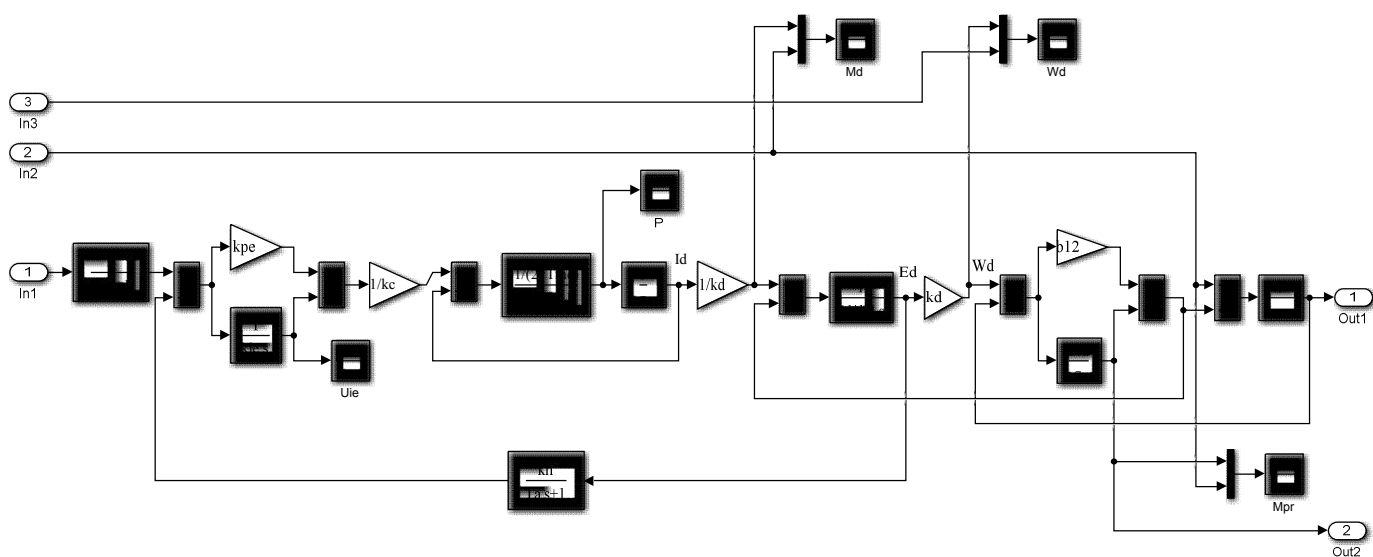


Рис.2. Модель об'єкту управління нечіткого регулятора

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

Канюк Геннадій Іванович
Василець Тетяна Юхимівна
Варфоломієв Олексій Олексійович

ТЕХНОЛОГІЇ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ І НЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

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

В авторській редакції

Підписано до розміщення 28.03.2025. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 0,96. Обсяг 0,652 Кб. Зам. № 110/25.

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