

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ



"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Проректор з навчально-методичної роботи

Каріна НЕМАШКАЛО

НЕЙРОМЕРЕЖНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
робоча програма навчальної дисципліни

Галузь знань **12 "Інформаційні технології"**
Спеціальність **124 "Системний аналіз"**
Освітній рівень **перший (бакалаврський)**
Освітня програма **Управління складними системами**

Статус дисципліни **обов'язкова**
Мова викладання,
навчання та оцінювання **українська**

*Завідувач кафедри економічної кібернетики
і системного аналізу*

Лідія ГУР'ЯНОВА

**Харків
2022**

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри економічної кібернетики і системного аналізу
Протокол № 1 від 25.08.2022 р.

Розробник(-и):

Чаговець Л. О., к.е.н., доц. кафедри економічної кібернетики і системного аналізу

**Лист оновлення та перезатвердження
робочої програми навчальної дисципліни**

Навчальний рік	Дата засідання кафедри – розробника РПНД	Номер протоколу	Підпис завідувача кафедри

Вступ

Сучасний системний аналітик має знати і уміти використовувати в повсякденній роботі новітні методи і моделі на основі штучних нейронних мереж. Швидкий розвиток і широке застосування засобів обчислювальної техніки визначають вимоги до підготовки сучасного економіста, що повинний за допомогою сучасних пакетів прикладних програм вміти аналізувати складні соціально-економічні явища.

«**Нейромережне моделювання**» є однією з прикладних дисциплін професійного циклу, має одночасно теоретичне, методологічне і прикладне значення.

Метою вивчення дисципліни є опанування студентами сукупності теоретичних, методичних питань і практичного досвіду з основ штучних нейронних мереж на основі використання сучасних програмних заходів.

Завданням вивчення дисципліни є набуття комплексу знань щодо основних положень теорії штучних нейронних мереж, процедур побудови та навчання мереж, особливостей дослідження економіко-соціальних процесів на основі моделей штучних нейронних мереж.

Об'єктом вивчення дисципліни є процес моделювання методами нейронних мереж економічних систем.

Предметом дисципліни є методологічні й методичні інструменти побудови та дослідження штучних нейронних мереж для вивчення закономірностей функціонування та розвитку економічних систем в умовах нестаціонарності зовнішнього середовища.

Характеристика навчальної дисципліни

Курс

Курс	3
Семестр	6
Кількість кредитів ECTS	3
Форма підсумкового контролю	залік

Структурно-логічна схема вивчення навчальної дисципліни:

Пререквізити	Постреквізити
Інформаційний бізнес та хмарні технології Системний аналіз	Моделі економічної динаміки Дипломний проект

Компетентності та результати навчання за дисципліною:

Компетентності	Результати навчання
Інтегральна компетентність. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми системного аналізу у професійній діяльності або в процесі навчання, що передбачають застосування теоретичних положень та методів системного аналізу та інформаційних технологій і характеризуються комплексністю та невизначеністю умов КЗ 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу КЗ 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях	РН-6. Знати та вміти застосовувати основні методи постановки та вирішення задач системного аналізу в умовах невизначеності цілей, зовнішніх умов та конфліктів

<p>КЗ 4. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності КЗ 9.</p> <p>КФ 4. Здатність визначати основні чинники, які впливають на розвиток фізичних, економічних, соціальних процесів, виокремлювати в них стохастичні та невизначені показники, формулювати їх у вигляді випадкових або нечітких величин, векторів, процесів та досліджувати залежності між ними</p> <p>КФ 5. Здатність формулювати задачі оптимізації при проектуванні систем управління та прийняття рішень, а саме: математичні моделі, критерії оптимальності, обмеження, цілі управління; обирати раціональні методи та алгоритми розв'язання задач оптимізації та оптимального керування</p>	
<p>Інтегральна компетентність. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми системного аналізу у професійній діяльності або в процесі навчання, що передбачають застосування теоретичних положень та методів системного аналізу та інформаційних технологій і характеризуються комплексністю та невизначеністю умов</p> <p>КЗ 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу</p> <p>КЗ 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях</p> <p>КФ 7. Здатність використовувати сучасні інформаційні технології для комп'ютерної реалізації математичних моделей та прогнозування поведінки конкретних систем а саме: об'єктно-орієнтований підхід при проектуванні складних систем різної природи, прикладні математичні пакети, застосування баз даних і знань</p>	<p>РН-12. Застосовувати методи і засоби роботи з даними і знаннями, методи математичного, логіко-семантичного, об'єктного та імітаційного моделювання, технології системного і статистичного аналізу</p>
<p>Інтегральна компетентність. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми системного аналізу у професійній діяльності або в процесі навчання, що передбачають застосування теоретичних положень та методів системного аналізу та інформаційних технологій і характеризуються комплексністю та невизначеністю умов</p> <p>КЗ 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу</p> <p>КЗ 4. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності</p> <p>КЗ 13. Здатність працювати в міжнародному контексті.</p> <p>КФ 3. Здатність будувати математично коректні</p>	<p>РН-14. Розуміти і застосовувати на практиці методи статистичного моделювання і прогнозування, оцінювати вихідні дані</p>

<p>моделі статичних та динамічних процесів і систем із зосередженими та розподіленими параметрами із врахуванням невизначеності зовнішніх та внутрішніх факторів</p> <p>КФ 4. Здатність визначати основні чинники, які впливають на розвиток фізичних, економічних, соціальних процесів, виокремлювати в них стохастичні та невизначені показники, формулювати їх у вигляді випадкових або нечітких величин, векторів, процесів та досліджувати залежності між ними</p> <p>КФ 10. Здатність розробляти експериментальні та спостережувальні дослідження і аналізувати дані, отримані в них</p>	
<p>КФ-13. Здатність використовувати сучасні технології в системах електронної комерції, здійснювати управління проектами, зокрема, в галузі Data Science, бізнес-аналітики та аналітики ринків, які засновані на обробці великих масивів даних, побудови рекомендаційних систем під потреби бізнес-середовища</p>	<p>РН-19. Проектувати та впроваджувати системи електронної комерції, застосовувати сучасні алгоритми та методи Data Science, бізнес-аналітики та аналітики ринків для обґрунтування та підвищення якості управлінських рішень в бізнес-економіці, побудови рекомендаційних систем</p>
<p>КЗ 14. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт</p>	<p>РН15. Розуміти українську та іноземну мови на рівні, достатньому для обробки фахових інформаційно-літературних джерел, професійного усного і письмового спілкування, написання текстів за фаховою тематикою</p>

Програма навчальної дисципліни

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДАМИ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Тема 1. Вступ

1.1. Штучні нейронні мережі

Поняття штучних нейронних мереж (ШНМ), їх зв'язок з біологічними нейронами. Напрямки застосування штучних нейронних мереж. Характерні властивості людського мозку, які можуть бути використані для штучних систем. Поняття паралельно розподілених системам, конекціоністських моделей, нейрокомп'ютерів. Побудова нервових клітин людського мозку.

1.2. Історичний аспект

Етапи розвитку ШНМ. Загальна теорія інформаційних обчислень Маккаллоха і Піттса. Перший законом навчання для ШНМ. Персептрон як спрощена модель біологічного механізму визначення сенсорної інформації.

Тема 2. Структура штучної нейронної мережі. Функція активації штучного нейрона

2.1. Штучний нейрон.

Поняття і загальна характеристика штучного нейрону, його структурні елементи. Формули функціонування нейрону. Параметри нейрону.

2.2. Види функцій активації.

Види функцій активації, що набули поширення в штучних НМ. Жорстка сходи́нка. Полога сходи́нка. Логістична функція. Гіперболічний тангенс. Експонента. Лінійна функція.

2.3. Нейромережеві топології.

Поняття нейромережевої топології. Базові топології. Шарові мережі. Мережі рекурентного типу. Топологічні особливості вибору функції активації.

Тема 3. Методи та алгоритми навчання штучних нейронних мереж

3.1. Парадигми навчання.

Класифікація штучних нейронних мереж за парадигмами їх навчання. Супервізорне навчання. Несупервізорне навчання. Посилене навчання.

3.2. Алгоритми навчання.

Правило Хебба. Корекція за помилкою. Метод конкуренції. Машина Больцмана. Алгоритм зворотного поширення помилки.

3.3. Проблеми навчання нейронних мереж.

Параліч нейронної мережі. Локальні мінімуми. Проблема визначення величини кроку навчання. Тимчасова нестійкість. Емпіричні процедури для вибору кількості нейронів і кількості шарів в мережі. Наслідки малої та перевищеної кількості нейронів або шарів. Масштабування вихідних даних. Застосування темпів росту та приросту.

3.4. Вибір архітектури мережі.

3.5. Підготовка вхідних і вихідних даних.

Тема 4. Методи генерації альтернатив та побудови вибірок валідації

4.1. Організація процедури генерації альтернатив.

Способи генерування альтернатив. Умови складання побудови системи експертних оцінок. Методи колективних та індивідуальних експертних оцінок.

4.2. Оптимізатори та формування вибірки валідації.

Оптимізатори алгоритму градієнтного спуску Adam. Оптимізатор SGD.

4.3. Способи формування вибірки валідації

Способи генерації підвбірок валідації

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ПРИКЛАДНІ АРХІТЕКТУРИ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Тема 5. Персептрони

5.1. Персептронний нейрон.

Нейронна модель Маккалокка і Пітса. Елементи персептронного нейрону. Персептрон з багатьма виходами.

5.2. Персептрона представляємість.

Теорема про навчання персептронів. Можливості систем на базі одношарових персептронів.

5.3. Алгоритм рішення задач за допомогою багатошарового персептрона.

Проблема XOR одношарової однеїронної системи. Лінійна роздільність. Подолання обмеження лінійної роздільності. Класифікуючі можливості дво- та тришарової мереж.

Тема 6. Нейронні мережі прямого та зворотного поширення сигналу

6.1. Архітектура лінійних мереж.

Архітектура лінійної мережі. Створення та навчання лінійних мереж.

6.2. Рекурентні мережі

Загальні особливості та властивості рекурентних мереж. Зворотне поширення у часу. Проста рекурентна мережа, її застосування.

6.3. Приклади задач, що розв'язуються за допомогою зворотних зв'язків.

Загальний алгоритм рішення задач за допомогою багат шарового персептрона, його етапи. Задача класифікації. Розпізнавання образів. Прогнозування одновимірної функції. Апроксимація багатовимірної функції.

Тема 7. Мережі з самоорганізацією на основі конкуренції

7.1. Мережі Кохонена, що самоорганізуються.

Особливості сучасних алгоритмів навчання без вчителя. Мережі Кохонена для вирішення задач класифікації. Загальний алгоритм класифікації.

7.2. Мережа Кохонена для задач класифікації.

Особливості застосування нейронних мереж для класифікації. Топологія мережі Кохонена.

Тема 8. Радіальні базисні мережі

8.1. Основні положення радіально-базисних мереж.

Глобальна і локальна апроксимація. Поняття радіальної базисної функції. Мережі з радіальними базисними функціями. Радіальний нейрон.

8.2. Математичні основи радіальних мереж.

Теорема Ковера про роздільність множин. Проблема визначення кількості радіальних нейронів.

8.3. Радіальна нейронна мережа

Функція Гауса. Структура радіальної мережі.

Тема 9. Гібридні нейронні мережі. Системи нечіткого логічного виводу

9.1. Нечіткі функції приналежності.

Поняття функції приналежності. Типи функцій приналежності. Методи фазифікації та дефазифікації. Створення бази вирішальних правил.

9.1. Система нечіткого логічного виводу Мамдані. Система нечіткого логічного виводу Сугено

Система виводу Мамдані. Система виводу Сугено.

9.3. Гібридні нейронні мережі ANFIS

Структура нечіткої нейронної мережі. Алгоритми навчання гібридних мереж.

Перелік лабораторних занять, а також питань та завдань до самостійної роботи наведено у таблиці "Рейтинг-план навчальної дисципліни".

Методи навчання та викладання

Під час викладання дисципліни "Нейромережне моделювання" для активізації навчального процесу передбачено застосування сучасних навчальних технологій, таких, як: робота в малих групах; семінари-дискусії, ділова гра.

Розподіл форм та методів активізації процесу навчання за темами навчальної дисципліни

Тема	Практичне застосування навчальних технологій
Тема 2. Структура штучної нейронної мережі. Функція активації штучного нейрона	Презентація роботи в малих групах "Особливості сучасних прикладних пакетів моделювання методами нейронних мереж"
Тема 3. Методи та алгоритми навчання	Семінар-дискусія з питання «Порівняльна характеристика сучасних алгоритмів навчання нейронних мереж»

штучних нейронних мереж	
Тема 4. Методи генерації альтернатив та побудови вибірок валідації	Семінар-дискусія з питання “Вибір оптимальної архітектури нейронної мережі для дослідження економічних процесів”
Тема 5. Персептрони	Презентація роботи в малих групах з питання “Персептронні системи підтримки прийняття рішень”
Тема 6. Нейронні мережі прямого та зворотного поширення сигналу	Робота в малих групах “Застосування багатошарових мереж до прогнозування ринкової кон’юнктури
Тема 9. Гібридні нейронні мережі. Системи нечіткого логічного виводу	Презентація роботи в малих групах з питання “Нейрончїтке моделювання система”

Робота в малих групах дає змогу структурувати лекційні або практично-семінарські заняття за формою і змістом, створює можливості для участі кожного студента в роботі за темою заняття, забезпечує формування особистісних якостей та досвіду соціального спілкування. Після висвітлення проблеми (при використанні проблемних лекцій) або стислого викладання матеріалу (при використанні міні-лекцій) студентам пропонується об’єднуватися у групи по 5-6 чоловік та презентувати наприкінці заняття своє бачення та сприйняття матеріалу.

Презентації – виступи перед аудиторією, що використовуються для представлення певних досягнень, результатів роботи групи, звіту про виконання індивідуальних завдань. Однією з позитивних рис презентації та її переваг при використанні в навчальному процесі є обмін досвідом, який здобули студенти при роботі у певній малій групі.

Порядок оцінювання результатів навчання

Система оцінювання сформованих компетентностей у студентів враховує види занять, які згідно з програмою навчальної дисципліни передбачають лекційні, лабораторні заняття. Оцінювання знань студента під час лабораторних занять має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання конкретної роботи. Об’єктами поточного контролю є: систематичність, активність та результативність роботи протягом семестру над вивченням програмного матеріалу дисципліни; відвідування занять; виконання завдань для самостійного опрацювання; рівень виконання модульних завдань.

Під час оцінювання практичних занять увага приділяється відповідності виконаного завдання або усної відповіді всім зазначеним критеріям якості, а також самостійності та своєчасності захисту виконаних завдань викладачу (згідно з графіком навчального процесу).

Оцінювання сформованих компетентностей у студентів здійснюється за накопичувальною 100-бальною системою. Контрольні заходи містять поточний та підсумковий контроль. Поточний контроль, що здійснюється протягом семестру під час проведення лекційних, лабораторних занять і оцінюється сумою набраних балів (мінімальна сума для отримання заліку – 60 балів).

Поточний контроль містить оцінювання студентів під час:

лекцій- експрес-опитування на парі, максимальний бал – 12 балів;

лабораторних робіт – експрес-опитування на лабораторних роботах, максимальний бал – 12; виконання завдань за лабораторними (18 балів за кожне завдання), максимальний бал – 36.

Контрольних робіт – максимальний бал – 20.

Презентація – максимальний накопичений бал – 20 (10 балів за кожне завдання).

Поточний контроль рівня знань у вигляді передбачає оцінку опанування студентом матеріалу лекційного модуля та вміння застосовувати його для вирішення практичної ситуації і проводиться у вигляді контрольних робіт. При цьому завдання може містити як запитання, що стосуються суто теоретичного матеріалу, так і запитання, спрямовані на вирішення невеличкого практичного завдання.

Підсумкова оцінка з дисципліни складається з кількох складових, що враховує оцінки кожного виду. Для розрахунку підсумкової оцінки розраховується сума значень за теоретичною та практичною частинами.

Рейтинг-план навчальної дисципліни

Тема	Форми та види навчання		Форми оцінювання	Макс. бал
Змістовий модуль 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДАМИ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ				
Тема 1	<i>Аудиторна робота</i>			
	Лекція	Тема 1. Вступ		
	<i>Самостійна робота</i>			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до лабораторних занять, виконання індивідуальних завдань, вивчення питань до самостійної роботи		
Тема 2	<i>Аудиторна робота</i>			
	Лекція	Тема 2. Структура штучної нейронної мережі. Функція активації штучного нейрона		
	Лабораторне заняття	Лабораторне заняття: “Знайомство з системами побудови нейронних мереж”. Лабораторне заняття: „Автоматизація побудови нейронної мережі у різних середовищах”.		
	<i>Самостійна робота</i>			
	Підготовка до занять	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до лабораторних занять, виконання індивідуальних завдань, вивчення питань до самостійної роботи		
Тема 3	<i>Аудиторна робота</i>			
	Лекція	Тема 3. Методи та алгоритми навчання штучних нейронних мереж		
	Лабораторне заняття	Лабораторне заняття: „Робота з функціями пакета Neural Network Toolbox. Встановлення фреймворків Keras, TensorFlow”. Лабораторне заняття: „Моделювання нейронних мереж з використанням одно- та багатошарового перцептрона”	Презентації	10

Тема	Форми та види навчання		Форми оцінювання	Макс. бал
	Самостійна робота			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до лабораторних занять, виконання індивідуальних завдань, вивчення питань до самостійної роботи		
	Аудиторна робота			
	Лекція	Тема 4. Методи генерації альтернатив та побудови навчальних вибірок	Експрес-опитування	6
	Лабораторне заняття	Лабораторне заняття: „Оптимізатори в Keras, формування вибірки валідації”		
Тема 4	Самостійна робота			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до лабораторних занять, виконання індивідуальних завдань, вивчення питань до самостійної роботи		
Змістовий модуль 2. ПРИКЛАДНІ АРХІТЕКТУРИ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ				
	Аудиторна робота			
	Лекція	Тема 5. Персептрони		
	Лабораторне заняття	Лабораторне заняття: „Класифікація двовимірних лінійно нероздільних векторів з використанням багатошарового персептрона”	Експрес-опитування на лабораторній	6
Тема 5	Самостійна робота			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до лабораторних занять, виконання індивідуальних завдань, вивчення питань до самостійної роботи		
	Лекція	Тема 6. Нейронні мережі прямого та зустрічного поширення сигналу		
	Лабораторне заняття	Лабораторне заняття: „Моделювання рекурентних мереж Елмана”	Завдання за лабораторними	18
			Контрольна робота	10
Тема 6	Самостійна робота			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до лабораторних занять, виконання індивідуальних завдань, вивчення питань до самостійної роботи		
Тема	Аудиторна робота			

Тема	Форми та види навчання		Форми оцінювання	Макс. бал
7	Лекція	Тема 7. Нейронні мережі прямого та зустрічного поширення сигналу		
	Лабораторне заняття	Лабораторне заняття: „Моделювання лінійних мереж”		
	Самостійна робота			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до лабораторних занять, виконання індивідуальних завдань, вивчення питань до самостійної роботи		
Тема 8	Аудиторна робота			
	Лекція	Тема 8. Радіальні базисні мережі		
	Лабораторне заняття	Лабораторне заняття “Моделювання радіальних базисних мереж”		
	Самостійна робота			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до лабораторних занять, виконання індивідуальних завдань, вивчення питань до самостійної роботи		
Тема 9	Аудиторна робота			
	Лекція	Тема 9. Гібридні нейронні мережі. Системи нечіткого логічного виводу	Експрес-опитування	6
	Лабораторне заняття	Лабораторне заняття: „Системи нечіткого логічного виводу” Лабораторне заняття: „Методи боротьби з перенавчанням нейронної мережі. Батч-нормалізація”	Презентації	10
			Контрольна робота	10
			Завдання за лабораторними	18
			Експрес-опитування на лабораторній	6
	Самостійна робота			
Питання та завдання до самостійного опрацювання	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою. Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до лабораторних занять, виконання індивідуальних завдань, вивчення питань до самостійної роботи			
Загальна кількість балів				100

Рекомендована література

Основна

1. Субботін С. О. Нейронні мережі : теорія та практика: навч. посіб./ С. О. Субботін. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2020. – 184 с.
2. Atin_Basuchoudhary, James_T._Bang, Tinni_Sen. Machine-learning Techniques in Economics New Tools for Predicting Economic Growth: Cham. Springer, 2017. – 97 p.

Додаткова

3. Chagovets L. Fuzzy Logic and Neural Networks Application in Estimation of Economic Security / L.Chagovets, N. Chernova, O. Panasenko Oksana, I. Medvicka // Conference Proceedings of the 2nd International Scientific Conference “Economic and Social-Focused Issues of Modern World” (October 16 – 17, 2019, Bratislava, Slovak Republic). – Pp. 20-29.
4. Tools for modeling systems in the information economy / Volodymyr Ponomarenko, Tamara Klebanova, 2019, 472 p. <http://www.repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/22420>
5. xxAI - Beyond Explainable AI International Workshop, Held in Conjunction with ICML 2020, July 18, 2020, Vienna, Austria, Revised and Extended Papers Andreas Holzinger, Prof. Dr. Randy Goebel // Lecture Notes in Computer Science (2022).
6. Metalearning Applications to Automated Machine Learning and Data Mining Prof. Pavel Brazdil, Dr. Jan N. van Rijn, Dr. Carlos Soares // Cognitive Technologies (2022).
7. Handbook of Digital Face Manipulation and Detection From DeepFakes to Morphing Attacks Ph.D. Christian Rathgeb // Advances in Computer Vision and Pattern Recognition (2022).
8. Edward Curry, Sören Auer. Technologies and Applications for Big Data Value (2022).
9. Franz Barachini, Christian Stary. From Digital Twins to Digital Selves and Beyond Engineering and Social Models for a Trans-humanist World (2022).
10. Gianluigi Pillonetto. Regularized System Identification Learning Dynamic Models from Data // Communications and Control Engineering (2022).
11. Artificial Intelligence Technology Huawei Technologies Co., Ltd. (2023).
12. Sergio Consoli. Data Science for Economics and Finance Methodologies and Applications (2021).
13. Automated Machine Learning Methods, Systems, Challenges Prof. Dr. Frank Hutter, Lars Kotthoff // The Springer Series on Challenges in Machine Learning (2019).
14. Algorithms for Big Data DFG Priority Program 1736 Hannah Bast, Claudius Korzen, Ulrich Meyer // Lecture Notes in Computer Science (2022).

Інтернет-ресурси в Інтернеті

15. Електронний курс «Нейромережне моделювання» / Л.О.Чаговець – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pns.hneu.edu.ua/course/view.php?id=8493>