

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри
економічної кібернетики і системного аналізу
Протокол № 1 від 22.08.2023 р.

ПОГОДЖЕНО

Проректор з навчально-методичної роботи

Каріна НЕМАШКАЛО



НЕЙРОМЕРЕЖНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

робоча програма навчальної дисципліни (РПНД)

Галузь знань
Спеціальність
Освітній рівень
Освітня програма

**12 "Інформаційні технології"
124 "Системний аналіз"
перший (бакалаврський)
Управління складними системами**

Статус дисципліни
Мова викладання, навчання та оцінювання

**обов'язкова
українська**

Розробник:
к.е.н., доцент

Любов ЧАГОВЕЦЬ

Завідувач кафедри
економічної кібернетики
і системного аналізу

Лідія ГУР'ЯНОВА

Гарант програми

Оксана ПАНАСЕНКО

**Харків
2024**

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 інформаційних засобів визначають вимоги до підготовки сучасного фахівця, який має за допомогою сучасних прикладних програм вміти аналізувати складні явища.

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

Метою вивчення дисципліни є опанування здобувачами 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 нестационарності зовнішнього середовища.

Результати навчання та компетентності, які формує навчальна дисципліна визначено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати навчання та компетентності, які формує навчальна дисципліна

Результати навчання	Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач вищої освіти
РН6	КЗ 1, КЗ 2, КЗ 4, КФ 4, КФ 5
РН12	КЗ 1, КЗ 2, КФ 7
РН14	КЗ 1, КЗ 4, КЗ 13, КФ 3, КФ 4, КФ 10
РН15	КЗ 14, КФ 13
РН19	КФ 13

де, КЗ 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу

КЗ 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях

КЗ 4. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності

КЗ 13. Здатність працювати в міжнародному контексті

КЗ 14. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт

КФ 3. Здатність будувати математично коректні моделі статичних та динамічних процесів і систем із зосередженими та розподіленими параметрами із врахуванням невизначеності

зовнішніх та внутрішніх факторів

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

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

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

КФ 10. Здатність розробляти експериментальні та спостережувальні дослідження і аналізувати дані, отримані в них

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 DDDM систем під потреби бізнес-середовища

РН 6. Знати та вміти застосовувати основні методи постановки та вирішення задач системного аналізу в умовах невизначеності цілей, зовнішніх умов та конфліктів

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.

РН 14. Розуміти і застосовувати на практиці методи статистичного моделювання і прогнозування, оцінювати вихідні дані.

РН 15. Розуміти українську та іноземну мови на рівні, достатньому для обробки фахових інформаційно-літературних джерел, професійного усного і письмового спілкування, написання текстів за фаховою тематикою.

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 DDDM систем.

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст 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. Побудова нервових клітин людського мозку.

1.2. Історичні етапи розвитку теорії штучних нейронних мереж

Етапи розвитку ШНМ. ШНМ як спрощена модель біологічного механізму визначення сенсорної інформації.

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

2.1. Структура штучної нейронної мережі.

Модель найпростішого нейрона. Структура нейрона. Процес побудови ШНМ. Умови створення ШНМ.

2.2. Функції активації та перетворення інформації.

Функції перетворення вхідної інформації. Види функцій активації, що набули поширення в штучних НМ.

2.3. Класифікація неронних мереж.

Типи неронних мереж. Поняття нейромережної топології. Базові топології. Шарові мережі. Мережі рекурентного типу. Топологічні особливості вибору функції активації. Глибинне навчання

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.

Класифікація алгоритмів навчання. Градієнтні методи. Алгоритм зворотного поширення помилки.

3.3. Проблеми навчання нейронних мереж.

Параліч нейронної мережі. Локальні мінімуми. Проблема визначення величини кроку навчання. Правило навчання Хебба. Конкурентне та стохастичне навчання. Механізм контрольної перехресної перевірки

3.4. Оптимізатори навчання.

Моментна оптимізація. Алгоритм пришвидшеного градієнту Нестерова. AdaGrad. Оптимізатори алгоритму градієнтного спуску Adam. RMSProp.

Тема 4. Методи генерації альтернатив та побудови навчальних вибірок

4.1. Основні поняття статистичного навчання

Особливості статистичного машинного навчання. Підходи до машинного навчання, методи та моделі машинного навчання. Статистичний висновок

4.2. Статистичні методи розмічення вибірки.

Типи вибірок, критерії якості підгонки. Типізація критеріїв підгонки для різних класів задач машинного навчання. Типи помилок навчальної вибірки. Методи опрацювання даних для навчальної вибірки

4.3. Аналітичні методи вибору функцій активації

Вибір виду функції активації. Класифікатори та їх типи. Оцінка якості класифікатора. Альтернативні методи класифікації

4.4. Регуляризація та нормалізація

Поняття та особливості регуляризації. Батч-нормалізація. Внутрішній коваріаційний зсув

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ПРИКЛАДНІ АРХІТЕКТУРИ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Тема 5. Персептрони

5.1. Персептронний нейрон.

Нейронна модель персептрону. Елементи персептронного нейрону. Задачі, які вирішуються персептроном.

5.2. Персептронне подання.

Поняття персептронного подання. Проблема XOR одношарової однонейронної системи..

5.3. Лінійна роздільність

Можливості систем на базі одношарових персептронів. Лінійна роздільність. Подолання обмеження лінійної роздільності. Класифікуючі можливості дво- та тришарової мереж.

5.4. Алгоритми навчання персептрона.

Загальний алгоритм навчання персептрона. Теореми про навчання.

Тема 6. Нейронні мережі прямого та зворотного поширення сигналу

6.1. Типи мереж за поширенням сигналу.

Пряме та зворотнє поширення сигналу. Загальні особливості та властивості рекурентних мереж. Зворотнє поширення у часу. Проста рекурентна мережа, її застосування. Архітектури рекурентних мереж. Частково-рекурентні мережі.

6.2. Мережа Хопфілда

Структурна схема мережі Хопфілда. Задача асоціативної пам'яті. Проблема обмеженості

6.3. Мережа Хемінга

Переваги та особливості мережі Хемінга. Схема моделі та функціонування.

6.4. Мережа Елмана

Структурна схема мережі Елмана. Типи архітектур. Навчання рекурентних мереж

6.5. LSTM мережа

Особливості LSTM-моделі. Структура будови та робота LSTM

Тема 7. Мережі з самоорганізацією. Мережа Кохонена.

7.1. Особливості мереж із самоорганізацією.

Особливості сучасних алгоритмів навчання без вчителя. Мережі Кохонена для вирішення задач класифікації. Загальні проблеми кластеризації.

7.2. Структура мережі Кохонена.

Топологія мережі і модель Кохонена

7.3. Навчання мережі Кохонена

Навчання шару Кохонена. Загальний алгоритм навчання мережі. Приклади роботи мережі Кохонена. Поняття карти Кохонена. Мережі на базі шару Кохонена

Тема 8. Радіальні базисні мережі

8.1. Основні положення радіально-базисних мереж.

Поняття радіальної базисної функції.

8.2. Навчання мережі.

Загальні етапи навчання. Методи оцінки відхилення

8.3. Модифікації RBF-мережі

Радіальна базисна мережа з нульовою помилкою. Узагальнено-регресійна нейронна мережа.

Тема 9. Гібридні нейронні мережі та системи нечіткого логічного виводу

9.1. Поняття гібридної нейронної мережі та її властивості.

Гібридна нейронна мережа. Основні властивості нейро-нечітких мереж. Типи поєднання нечіткої логіки і нейронних мереж

9.2. Гібридні нейронні мережі ANFIS

Типи нейро-нечітких мереж. Принципи формування бази знань нейро-нечітких систем. Алгоритм побудови нечіткої нейронної мережі. Елементи нечітких нейромереж

9.3. Застосування нечітких нейронних мереж

Вирішення задачі класифікації (розпізнавання образів) за допомогою нечіткої нейронної мереж. Нечітка нейромережна модель ідентифікації класу економічної безпеки підприємства

Перелік лабораторних завдань за навчальною дисципліною наведено в табл. 2

Таблиця 2

Перелік лабораторних завдань

Назва теми	Зміст
Тема 1.	Завдання 1. Знайомство з системами з системами побудови нейронних мереж
Тема 2.	Завдання 2. Автоматизація побудови нейронної мережі у різних середовищах
Тема 3.	Завдання 3. Робота з функціями пакета Neural Network Toolbox. Встановлення фреймворків Keras, TensorFlow. Моделювання нейронних мереж з використанням одно- та багатошарового перцептрона
Тема 4.	Завдання 4. Оптимізатори в Keras, формування вибірки валідації

Тема 5.	Завдання 5. Класифікація двовимірних лінійно нероздільних векторів з використанням багат шарового персептрона
Тема 6.	Завдання 6. Моделювання рекурентних мереж Елмана
Тема 7.	Завдання 7. Моделювання мереж на основі конкурентного навчання. Моделювання лінійних мереж
Тема 8.	Завдання 8. Моделювання радіальних базисних мереж
Тема 9.	Завдання 9. Системи нечіткого логічного виводу. Методи боротьби з перенавчанням нейронної мережі. Батч-нормалізація

Перелік самостійної роботи за навчальною дисципліною наведено в табл.

3

Таблиця 3

Завдання для самостійної роботи здобувача та форми її контролю

Назва теми	Зміст
Тема 1.	Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до заняття, огляд теоретичного матеріалу з теми «Людський мозок. Представлення нейронних мереж за допомогою направлених графів», «Моделі представлення знань»
Тема 2.	Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до заняття. Виконання завдань «Апріорна інформація в структурі нейронної мережі», «Інваріанти в структурі нейронної мережі», «Значення зворотного зв'язку у структурі штучної нейронної мережі», «Стохастична модель нейрона», «Нейрон типу «адалайн»
Тема 3.	Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до заняття. Виконання індивідуальних завдань «Навчання на основі ефекту пам'яті», «Адаптивні можливості алгоритмів навчання нейронних мереж», «Статистична природа процесу навчання», «Підбирання оптимальної архітектури мережі»
Тема 4.	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою, підготовка до контрольної роботи. Виконання індивідуального завдання «Задача адаптивної фільтрації», «Методи безумовної оптимізації. Метод найменших квадратів», «Формування навчальної вибірки даних», «Методи ініціалізації початкових параметрів мережі», «Теорія регуляризації»
Тема 5.	Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до заняття. Завдання на тему «Гradientні алгоритми навчання мережі», «Евристичні методи навчання мережі»
Тема 6.	Пошук, підбір та огляд літературних джерел за заданою тематикою; Виконання завдань «Рекурентні мережі»
Тема 7.	Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до заняття. Виконання завдань «Алгоритми навчання мереж з самоорганізацією»
Тема 8.	Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до заняття. Виконання завдань «Порівняння радіальних базисних мереж і багат шарових персептронів»
Тема 9.	Вивчення лекційного матеріалу, підготовка до заняття. Виконання завдань «Гібридні мережі»

Кількість годин лекційних та лабораторних занять та годин самостійної роботи наведено в робочому плані (технологічній карті) з навчальної дисципліни.

Методи навчання

Під час викладання дисципліни “Нейромережне моделювання” для активізації навчального процесу передбачено застосування сучасних навчальних технологій, таких, як: робота в малих групах.

Розподіл форм та методів активізації процесу навчання за темами навчальної дисципліни

Тема	Практичне застосування навчальних технологій
Тема 2.	Робота в малих групах “Особливості сучасних прикладних пакетів моделювання методами нейронних мереж”
Тема 3.	Робота в малих групах з питання «Порівняльна характеристика сучасних алгоритмів навчання нейронних мереж»
Тема 4.	Робота в малих групах з питання “Вибір оптимальної архітектури нейронної мережі для дослідження економічних процесів”
Тема 5.	Робота в малих групах та презентація з питання «Перцептронні системи підтримки прийняття рішень»
Тема 6.	Робота в малих групах “Застосування багатoshарових мереж до прогнозування ринкової кон’юнктури
Тема 9.	Презентація роботи в малих групах з питання «Нейронечітке моделювання систем»

Робота в малих групах дає змогу структурувати лекційні або практично-семінарські заняття за формою і змістом, створює можливості для участі кожного здобувача вищої освіти 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) здобувачами вищої освіти 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 здобувачами вищої освіти у певній малій групі.

ФОРМИ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ

Університет використовує 100 бальну накопичувальну систему оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти.

Поточний контроль здійснюється під час проведення лекційних, лабораторних занять і має на меті перевірку рівня підготовленості здобувача вищої освіти до виконання конкретної роботи і оцінюється сумою набраних балів:

– для дисциплін з формою семестрового контролю залік: максимальна сума – 100 балів; мінімальна сума – 60 балів.

Підсумковий контроль включає семестровий контроль та атестацію здобувача вищої освіти. **Семестровий контроль** проводиться у формі семестрового заліку.

Підсумкова оцінка за навчальною дисципліною визначається сумуванням балів за поточний та підсумковий контроль.

Під час викладання навчальної дисципліни використовуються наступні контрольні заходи

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

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

Контрольних робіт – максимальний бал – 20 (10 за кожну контрольну).

Презентація – максимальний накопичений бал – 20 (10 за кожну презентацію).

Здобувача слід **вважати атестованим**, якщо сума балів, одержаних за результатами підсумкової/семестрової перевірки успішності, дорівнює або перевищує 60.

Більш детальну інформацію щодо системи оцінювання наведено в робочому плані (технологічній карті) з навчальної дисципліни.

Рекомендована література

Основна

1. Актуальні проблеми системного аналізу та моделювання процесів управління / За ред. В. Пономаренка, Л. Гур'янової, Я. Пеліової, Е. Ніжинського – Братислава-Харків, ВШЕМ – ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2023. – 409 с. Режим доступу: <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/29952>.

2. 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). – Рр. 20-29. Режим доступу: <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/22434>

Додаткова

3. Субботін С. О. Нейронні мережі : теорія та практика: навч. посіб./ С. О. Субботін. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2020. – 184 с.

4. 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).

5. Metalearning Applications to Automated Machine Learning and Data Mining Prof. Pavel Brazdil, Dr. Jan N. van Rijn, Dr. Carlos Soares // Cognitive Technologies (2022).
6. Handbook of Digital Face Manipulation and Detection From DeepFakes to Morphing Attacks Ph.D. Christian Rathgeb // Advances in Computer Vision and Pattern Recognition (2022).
7. Edward Curry, Sören Auer. Technologies and Applications for Big Data Value (2022).
8. Franz Barachini, Christian Stary. From Digital Twins to Digital Selves and Beyond Engineering and Social Models for a Trans-humanist World (2022).
9. Gianluigi Pillonetto. Regularized System Identification Learning Dynamic Models from Data // Communications and Control Engineering (2022).
10. Artificial Intelligence Technology Huawei Technologies Co., Ltd. (2023).
11. Sergio Consoli. Data Science for Economics and Finance Methodologies and Applications (2021).
12. Automated Machine Learning Methods, Systems, Challenges Prof. Dr. Frank Hutter, Lars Kotthoff // The Springer Series on Challenges in Machine Learning (2019).
13. Algorithms for Big Data DFG Priority Program 1736 Hannah Bast, Claudius Korzen, Ulrich Meyer // Lecture Notes in Computer Science (2022).

Інтернет-ресурси

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