



# МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ МЕРЕЖ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврат)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>122 Комп'ютерні науки</i>
Освітня програма	<i>Системи і методи штучного інтелекту</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЕКТС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>schedule.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор, Данилов Валерій Якович, danilov1950@ukr.net</i> <i>Практичні / Семінарські: д.т.н., професор, Данилов Валерій Якович, danilov1950@ukr.net</i>
Розміщення курсу	<i>Платформа дистанційного навчання «Сікорський», Googleclassroom</i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Метою курсу є засвоєння принципів, методів та технологій обчислювального інтелекту штучних нейронних мереж, основ машинного навчання та самонавчання, рекурентних, згорткових, обмежених машин Больцмана, автокодувальників та генеративно-змагальних нейронних мереж для вирішення прикладних задач штучного інтелекту.

Об'єктом дослідження є основні принципи побудови нейронних мереж і глибокого навчання як самостійного напрямку в теорії інтелектуальних систем.

Предметом вивчення та дослідження є моделі нейронних мереж, їх властивості та основні типи сучасних варіантів архітектур нейронних мереж.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

#### знання:

- основ топологій нейронних мереж та систем;
- принципів навчання та глибокого навчання, як з учителем так і без учителя;
- методів налаштування відповідних градієнтних процедур.

**уміння:**

- обирати та застосовувати для конкретної задачі штучного інтелекту відповідну нейронну мережу;
- створювати ефективні алгоритми розв'язання нових проблем та прикладних задач штучного інтелекту.

**досвід:**

- розв'язання прикладних проблем штучного інтелекту;
- застосовувати принципи, моделі, методи, обчислювальні алгоритми до розв'язання задач штучного інтелекту;
- пошуку нових моделей нерегулярної поведінки в фінансово-економічних та соціальних процесах і системах методами штучного інтелекту.

Згідно з вимогами освітньої програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають оволодіти наступними компетенціями:

**Загальні компетентності (ЗК)**

ЗК1 - Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу,

ЗК2 - Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях,

ЗК11 - Здатність приймати обґрунтовані рішення.

**Фахові компетентності (ФК)**

ФК 11 - Здатність до інтелектуального аналізу даних на основі методів обчислювального інтелекту включно з великими та погано структурованими даними, їхньої оперативної обробки та візуалізації результатів аналізу в процесі розв'язування прикладних задач,

ФК 17 - Здатність забезпечувати моделювання технічних та інформаційних об'єктів і систем штучного інтелекту, проводити експерименти за заданими методиками з обробкою й аналізом результатів,

ФК 20 - Здатність розробляти системи розпізнавання образів та класифікації в різних предметних областях, обґрунтовано вибирати та використовувати алгоритми розпізнавання образів та проводити навчання систем розпізнавання образів,

ФК 27 - Здатність орієнтуватися в сучасних напрямках розвитку ШІ та нових засобах побудови систем штучного інтелекту та знаходити та розробляти новітні ефективні алгоритми.

**Програмні результати навчання**

ПР4 - Використовувати методи обчислювального інтелекту, машинного навчання,

нейромережевої та нечіткої обробки даних, генетичного та еволюційного програмування для розв'язання задач розпізнавання, прогнозування, класифікації,

ідентифікації об'єктів керування тощо,

ПР12 - Застосовувати методи та алгоритми обчислювального інтелекту та інтелектуального аналізу даних в задачах класифікації, прогнозування, кластерного аналізу, пошуку асоціативних правил з використанням програмних інструментів підтримки багатовимірного аналізу даних на основі технологій DataMining, TextMining, WebMining,

PR20 - Розробляти системи розпізнавання образів та класифікації в різних предметних областях, обґрунтовано вибирати та використовувати алгоритми розпізнавання образів та проводити навчання систем розпізнавання образів

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

**Пререквізити:** викладання навчальної дисципліни базується на знаннях, отриманих у результаті вивчення попередніх навчальних дисциплін потребує базових знань з математичних та інформаційних дисциплін, достатніх для сприйняття методів і моделей, що ґрунтуються на використанні методології штучного інтелекту та теорії підтримки прийняття рішень. Це теорія ймовірностей і прикладна статистика, математичний аналіз, диференціальні рівняння, чисельні методи, методи оптимізації, алгоритми та структури даних, основні нейронні мережі.

Дисципліна надає здобувачам першого ступеня вищої освіти необхідні знання та практичні навички для пошуку необхідних даних та експертних оцінок, накопичення та аналізу наукової інформації з штучного інтелекту, оформлення та захисту бакалаврської роботи, сприяє розвитку професійних умінь з формулювання та презентації результатів проведених досліджень, підтримки прийняття відповідних управлінських рішень.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Основні топології нейронних мереж**

Тема 1.1. Згорткові нейронні мережі. Операція згортки

Тема 1.2. Окремі види згорток (2d згортка, 3d згортка)

Тема 1.3. Компоненти згорткових нейронних мереж. Вхідний шар. Шар згортки. Шар субдескриптивізації

Тема 1.4. Обернене поширення похибки через згортковий шар. Обернене поширення похибки через шар субдескриптивізації

Тема 1.5. Згорткова нейронна мережа та розпізнавання цифр із набору даних MNIST

Тема 1.6. Сучасні типи згорткових архітектур. Мережа AlexNet, VGG, GoogLeNet, ResNet

### **Розділ 2. Рекурентні нейронні мережі**

Тема 2.1. Архітектура рекурентних нейронних мереж. Обернене поширення похибки в часі

Тема 2.2. Довга короткострокова пам'ять – LSTM. Керовані рекурентні блоки

Тема 2.3. Застосування рекурентних нейронних мереж. Прогнозування та передбачення часових рядів. Машинний переклад та розпізнавання мови

Тема 2.4. Трансформери

### **Розділ 3. Обмежена машина Больцмана**

Тема 3.1. Розподіл Больцмана. Баєсівський висновок: правдоподібність, апіорні та апостеріорні розподіли ймовірностей

Тема 3.2. Семплювання методами Монте-Карло по схемі марківських ланцюгів

Тема 3.3. Алгоритм Метрополіса

Тема 3.4. Обмежена машина Больцмана. Навчання обмеженої машини Больцмана

Тема 3.5. Семплювання по Гібсу

Тема 3.6. Блокове семплювання по Гібсу. Використання семплювання по Гібсу в обмежених машинах Больцмана

Тема 3.7. Контрастивна дивергенція  
Тема 3.8. Застосування машин Больцмана

#### **Розділ 4. Автокодувальники**

Тема 4.1. Топологія автокодувальників. Простий автокодувальник. Автокодувальник з багатьма прихованими шарами (згортковий автокодувальник). Комбінована мережа класифікацій для прогнозування класів

Тема 4.2. Розріджені автокодувальники. Відстань Кульбака-Лейбнера

Тема 4.3. Шумопоглинаючі автокодувальники. Використання автокодувальників

Тема 4.4. Варіаційний автокодувальник

#### **Розділ 5. Генеративно-змагальні нейронні мережі**

Тема 5.1. Означення генеративно-змагального процесу. Задачі мінімакса та максіміна. Гра з нульовою сумою. Функція вартості та тренування генеративно-змагальної нейронної мережі (GAN)

Тема 5.2. Міні-пакетний алгоритм для тренування GAN-мереж на основі стохастичного градієнтного спуску

Тема 5.3. Використання GAN-мереж для прогнозування криптовалюти. Топології C-RNN GAN, TimeGAN, RCGAN, QuantGAN. Алгоритми навчання

Тема 5.4. Використання GAN-мереж для прогнозування у фінансовій сфері. Топології Metropolis-Hastings GAN, Wasserstein GAN. Алгоритми навчання

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

##### **Базова**

1. Charu C. Aggarval Neural Networks and Deep Learning.- Springer Nature, 2018. - 512 с. (за запитом викладачу)
2. Електронний матеріал по генеративно-змагальним мережам, 90 с. (ІС «Електронний кампус»)
3. Santanu Pattanayak. Pro Deep Learning with TensorFlow. - Apress, 2017. – 473 с. (за запитом викладачу)
4. Література з магістерських робіт 2018-2023. (Е-архів КПІ ім. Ігоря Сікорського, за запитом викладачу)

#### **Навчальний контент**

#### **5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)**

##### **Лекційні заняття**

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Згорткові нейронні мережі. Операція згортки. Окремі види згортки (2d згортка, 3d згортка). Компоненти згорткових нейронних мереж. Вхідний шар. Шар згортки. Шар субдескрипції <i>Література:</i> [1 — с. 1-20, 2 – с. 12-17]

2	<p>Обернене поширення похибки через згортковий шар. Обернене поширення похибки через шар субдескрипції</p> <p><i>Література:</i> [1 — с. 25-59, 2 — с. 18-22]</p>
3	<p>Згорткова нейронна мережа та розпізнавання цифр із набору даних MNist. Сучасні типи згорткових архітектур. Мережа AlexNet, VGG, GoogLeNet, ResNet</p> <p><i>Література:</i> [1 — с. 61-78, 2 - с. 22-34]</p>
4	<p>Архітектура рекурентних нейронних мереж. Обернене поширення похибки в часі</p> <p><i>Література:</i> [1— с. 61-78, 2 – 22-34]</p>
5	<p>Довга короткострокова пам'ять – LSTM. Керовані рекурентні блоки <i>Література:</i> [1 — с. 78 – 102, 2 – 35-40]</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Автокодувальники на базі багатoshарового перцептрона (метод SVD)</p>
6	<p>Застосування рекурентних нейронних мереж. Прогнозування та передбачення часових рядів. Машинний переклад та розпізнавання мови. Трансформери</p> <p><i>Література:</i> [2 — с. 40-72]</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Сучасні стратегії градієнтного спуску. Стохастичний градієнтний спуск. Пакетна нормалізація в глибокому навчанні. Ансамблеві методи</p>
7	<p>Розподіл Больцмана. Баєсівський висновок: правдоподібність, апіорні та апостеріорні розподіли ймовірностей</p> <p><i>Література:</i> [1 — с. 229 – 255, 2 – с.73-79]</p>
8	<p>Семплювання методами Монте-Карло по схемі марківських ланцюгів. Алгоритм Метрополіса</p> <p><i>Література</i> [1 — с. 104-126]</p>
9	<p>Обмежена машина Больцмана. Навчання обмеженої машини Больцмана. Семплювання по Гібсу</p> <p><i>Література:</i> [2 — с. 80-88]</p>
10	<p>Блокове семплювання по Гібсу. Використання семплювання по Гібсу в обмежених машинах Больцмана. Контрастивна дивергенція. Застосування машин Больцмана</p> <p><i>Література:</i> [1 — с. 182-196, 2 – с. 88 - 118]</p>
11	<p>Топологія автокодувальників. Простий автокодувальник. Автокодувальник з багатьма прихованими шарами (згортковий автокодувальник). Комбінована мережа класифікацій для прогнозування класів</p> <p><i>Література:</i> [1 — с. 131-149, 2 – с. 139-168]</p>
12	<p>Розріджені автокодувальники. Відстань Кульбака-Лейбнера</p> <p><i>Література:</i> [1 — с. 158-168, 3 – с. 264-283]</p>

13	Шумопоглинаючі автокодувальники. Використання автокодувальників. Варіаційний автокодувальник <i>Література:</i> [6 — с. 332 - 338]
14	Означення генеративно-змагального процесу. Задачі мінімакса та максіміна. Гра з нульовою сумою. Функція вартості та тренування генеративно-змагальної нейронної мережі (GAN) <i>Література:</i> [6 — с. 280 - 290]
15	Модульна контрольна робота
16	Міні-пакетний алгоритм для тренування GAN-мереж на основі стохастичного градієнтного спуску <i>Література:</i> [6 — с. 282-295]
17	Використання GAN-мереж для прогнозування криптовалюти. Топології C-RNN GAN, TimeGAN, RCGAN, QuantGAN. Алгоритми навчання <i>Література:</i> [7]
18	Використання GAN-мереж для прогнозування у фінансовій сфері. Топології Metropolis-Hastings GAN, Wasserstein GAN. Алгоритми навчання <i>Література:</i> [8] <b>Завдання на СРС.</b> Типи генеративно-змагальних мереж. Методи навчання

### Практичні заняття

Виконання циклу практичних робіт забезпечує формування системного мислення, досвіду постановки задач та їх формалізації, застосування сучасних інформаційних середовищ для розв'язання системних задач

№ роботи	Назва теми та її зміст та завдання	Години
1	Згорткова нейронна мережа та її використання для розпізнавання цифр. Розробка топології.	2
2	Реалізація згорткової нейронної мережі за допомогою пакету TensorFlow. Обчислення	2
3	Рекурентна нейронна мережа та її використання для розпізнавання зображень. Розробка топології.	2
4	Реалізація рекурентної нейронної мережі за допомогою пакету TensorFlow. Обчислення	2
5	Автокодувальники та їх використання для розпізнавання мови. Розробка топології	2
6	Реалізація автокодувальників за допомогою пакету TensorFlow. Обчислення	2
7	Генеративно-змагальна мережа та її використання для генерації зображень. Розробка топології.	2
8	Реалізація генеративно-змагальної мережі за допомогою пакету TensorFlow. Обчислення	2
9	Залік	

### 6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання
1	Сучасні стратегії градієнтного спуску. Стохастичний градієнтний спуск. Пакетна нормалізація в глибокому навчанні. Ансамблеві методи
2	Логістична регресія. Мультикласові моделі. Класифікатор softmax
3	Тренування прихованого шару в згортковій мережі. Повністю контрольоване навчання
4	Ядерні методи в РБФ
5	Автокодувальники на базі багат шарового перцептрона (метод СВД)
6	Згорткові нейронні мережі. Метод зворотнього поширення похибки
7	Типи генеративно-змагальних мереж. Методи навчання

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- Здобувачі вищої освіти не повинні пропускати лекційні та практичні заняття без поважних причин.
- На кожній лекції чи практичному занятті здобувачі повинні активно залучатися до аналізу, обговорення та розв'язування поставлених задач. За активність в обговоренні проблеми, що розглядається, признаються заохочувальні бали.
- Викладач на кожній лекції повинен приділяти увагу до застосування викладених теоретичних основ прочитаних тем в різних галузях прикладної науки.
- Роботи мають бути виконані з дотриманням академічної доброчесності.
- Усі роботи здобувачі мають прикріплювати в особистому кабінеті гугл-класу (у разі дистанційного режиму роботи).
- Усі роботи здобувачі мають прикріплювати в особистому кабінеті гугл-класу.

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) Виконання восьми практичних робіт;
- 2) Виконання модульної контрольної роботи.

### Система рейтингових балів

1. Виконання практичної лабораторної роботи:
  - «відмінно» (повне виконання), повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації), правильне та своєчасне представлення програмного модуля, оформлення протоколу з наведеною формалізацією, наявність результатів виконання системної індивідуальної задачі, демонстрація вільного володіння теоретичним матеріалом при захисті роботи – 7 балів;
  - «добре» (майже повне виконання), достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями, правильне та своєчасне представлення програмного модуля, оформлення протоколу з наведеною формалізацією, наявність результатів виконання системної індивідуальної задачі, демонстрація вільного володіння теоретичним матеріалом при захисті роботи з можливими незначними неточностями і зауваженнями, які були виправлені в процесі виконання роботи – 6 балів;
  - «задовільно» (неповне виконання), неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки, обґрунтованості результатів виконання практичного завдання,

результатів виконання практичної роботи, відповідь на половину питань з теми роботи під час захисту (не менше 60% потрібної інформації) – 5 балів;

– «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів;

2. виконання та захист модульної контрольної роботи (44 бали - 4 запитання по 11 балів):

– «відмінно» (правильна відповідь), коректне повне, вчасне виконання індивідуальних завдань модульної контрольної роботи, демонстрація вільного володіння теоретичним матеріалом при захисті модульної контрольної роботи (не менше 90% потрібної інформації) - 11 балів (за одне питання);

– «добре» (переважно правильна відповідь), коректне повне, вчасне виконання індивідуальних завдань модульної контрольної роботи, демонстрація вільного володіння теоретичним матеріалом при захисті модульної контрольної роботи з можливими незначними неточностями і зауваженнями, які були виправлені безпосередньо на занятті, (не менше 75% потрібної інформації) – 7-8 балів;

– «задовільно» (неповна відповідь), неповна відповідь, невчасне або зі значними неточностями виконання індивідуальних завдань модульної контрольної роботи, відповідь на половину питань з теми під час захисту модульної контрольної роботи (не менше 65% потрібної інформації)– 5-7 балів;

– «незадовільно», незадовільна відповідь (неправильна відповідь) – 0 балів.

Кращим студентам можуть додаватися заохочувальні бали за оригінальні нестандартні розв'язки системних задач.

До необов'язкових складових може бути віднесено:

– участь у модернізації практичних робіт;

– доповіді на наукових студентських семінарах, якщо робота мала відношення до курсу «Нейронні мережі»;

За їх виконання студент може отримати до 10 заохочувальних балів ( у межах максимального числа 10 заохочувальних балів на повний рейтинг 100 балів).

### 3. Календарний контроль

За результатами роботи за перші 7 тижнів студент може набрати до 28 балів. На першому календарному контролі (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг балів не менше 14 балів.

За результатами роботи за перші 13 тижнів студент може набрати до 86 балів. На другому календарному контролі (13-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг балів не менше 43 балів.

Максимальна сума балів складає 100 балів. Необхідною умовою допуску до заліку є 40 балів рейтингу за умови виконання і захисту усіх практичних робіт.

### 4. Залік

Якщо студент виконав усі практичні роботи (набрав мінімум 40 балів), але не отримав мінімально необхідні для заліку 60 балів, то виконує залікову контрольну роботу, яка оцінюється в 100 балів і складається з 4 запитань за усіма темами дисципліни по 25 балів кожне (можливі оцінки за одне питання: 22-25 бали – «відмінно», 18-21 – «добре», 15-17 – «задовільно», 0 – «незадовільно»).

Зі студентами, які отримали 60 балів і більше, але бажають підвищити свою оцінку, проводиться додаткова співбесіда за темами дисципліни.

Сума балів за виконання практичних робіт, здачу модульної контрольної роботи та залік переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею.



Бали	оцінка
95-100	відмінно
85-94	дуже добре
75-84	добре
65-74	задовільно
60-64	достатньо
Менше 60	не задовільно
Менше 40	не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

### Теоретичні питання

#### Питання до МКР

1. Які типи рекурентних нейронних мереж ви знаєте?
2. Як відбувається навчання рекурентних нейронних мереж?
3. Яка активаційна функція використовується в рекурентних нейронних мережах?
4. Які типи активаційних функцій ви знаєте? Опишіть їх.
5. В чому суть методу зворотного поширення похибки в рекурентних нейронних мережах?
6. В чому полягає суть пакетного навчання?
7. Які сучасні методи навчання згорткових мереж ви знаєте?
8. В чому суть навчання згорткових нейронних мереж?
9. Які задачі розв'язує згорткова нейронна мережа?
10. Які методи навчання мережі автокодувальників ви знаєте?

#### Питання до заліку

11. В чому полягає суть методу контрастивної дивергенції?
12. В чому полягає суть навчання алгоритму Метрополіса?
13. Де використовуються обмежені машини Больцмана?
14. В чому полягає суть варіаційного автокодувальника?
15. Що лежить в основі зворотнього поширення похибки в згорткових нейронних мережах?
16. В чому полягає метод навчання без учителя?
17. Яка особливість навчання рекурентних нейронних мереж?
18. Опишіть топологію генеративно-змагальної мережі?
19. Які задачі розв'язуються генеративно-змагальними мережами?
20. Де використовуються автокодувальники?
21. Які сучасні методи глибинного навчання?

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Склали: д.т.н., професор, Данилов Валерій

Ухвалено кафедрою Штучного інтелекту (протокол № 14 від 11.06.2024)

Погоджено Методичною комісією ІПСА (протокол № 10 від 24.06.2024)