



# Технології глибокого навчання

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

|                                                   |                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рівень вищої освіти                               | <i>Третій (доктор філософії)</i>                                                                                                             |
| Галузь знань                                      | <i>11 Математика та статистика</i>                                                                                                           |
| Спеціальність                                     | <i>113 Прикладна математика</i>                                                                                                              |
| Освітня програма                                  | <i>Прикладна математика</i>                                                                                                                  |
| Статус дисципліни                                 | <i>Вибіркова</i>                                                                                                                             |
| Форма навчання                                    | <i>Очна (денна)</i>                                                                                                                          |
| Рік підготовки, семестр                           | <i>3 семестр / осінній семестр</i>                                                                                                           |
| Обсяг дисципліни                                  | <i>6 кредитів / 180 годин , лекції – 10, практичні – 8, 162 - СРС</i>                                                                        |
| Семестровий контроль/<br>контрольні заходи        | <i>Екзамен</i>                                                                                                                               |
| Розклад занять                                    | <i><a href="http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses">http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses</a></i>                                               |
| Мова викладання                                   | <i>Українська</i>                                                                                                                            |
| Інформація про<br>керівника курсу /<br>викладачів | Лектор: <i>доктор технічних наук, професор Шелестов А.Ю.,<br/><a href="mailto:Andrii.shelestov@gmail.com">Andrii.shelestov@gmail.com</a></i> |

### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна "Технології глибокого навчання" вивчає сучасний розділ машинного навчання – глибокі нейронні мережі і методи глибокого навчання. Методи глибинного навчання аналізуються в порівнянні з традиційними (shallow) нейронними мережами, визначаються їх відмінності і переваги. Розглядаються основні принципи, задачі, парадигми та підходи до глибинного навчання, включаючи згорткові та рекурентні нейронні мережі, генеративні змагальні нейронні мережі та їх використання в різних областях науки і аналізу даних. Розглядаються питання програмної реалізації глибинних архітектур, аналізу якості моделей та методи ансамблювання. Отримані компетенції будуть необхідні для аналітиків даних та дозволять розробляти сучасні алгоритми розпізнавання образів і комп'ютерного зору.

**Метою** навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- розуміння застосування методів глибокого навчання;
- володіння практичними навичками використання інструментів глибокого навчання для розв'язання сучасних задач на основі даних великого об'єму.

За результатами навчання студент в межах курсу буде **знати**:

- основні методи кластеризації багатовимірних даних;
- сучасні моделі класифікації багатовимірних даних;
- моделі глибоких нейронних мереж
- сучасні алгоритми глибокого навчання;

За результатами навчання студент в межах курсу буде **уміти**:

- розробляти моделі машинного та глибокого навчання;
- використовувати методи машинного та глибокого навчання для розв'язання прикладних задач на основі великих даних;
- будувати математичні моделі цифрових двійників для розв'язання прикладних задач бізнес-аналізу.

Силабус навчальної дисципліни «Технології глибокого навчання» розроблено на основі гнучкого підходу до формування навчальних завдань та видів діяльності, які потрібні здобувачам для

досягнення запланованих результатів навчання з подальшим проектуванням отриманого досвіду таким чином, щоб максимально підвищити ефективність навчання студентів в подальшому.

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

Для вивчення дисципліни «Технології глибокого навчання» студент має бути знайомий з класичними алгоритмами лінійної алгебри та роботи з масивами даних (сортування, конкатенація, пошук елементів, обчислення статистики елементів масиву). Знати основні інструменти програмного забезпечення для обробки даних, основи Python для Data Science. Використовувати теорію математичної статистики та теорії ймовірності для розв'язання математичних задач.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Розділ 1. Вступ до глибокого навчання

Тема 1.1 Вступ до глибокого навчання. Задачі розпізнавання образів. Біологічний нейрон

Тема 1.2 Модель нейрона в задачах класифікації. Система підтримки прийняття рішень

Тема 1.3 Задачі машинного навчання (класифікація, регресія та кластеризація).

Розділ 2. Багатошарові нейронні мережі

Тема 2.1 Персептрон. Активаційні функції

Тема 2.2 Багатошарова нейронна мережа (MLP). Режими роботи MLP

Тема 2.3 Архітектура нейронної мережі

Тема 2.4 Активаційна функція Softmax

Розділ 3. Навчання нейронних мереж

Тема 3.1 Алгоритм навчання штучної нейронної мережі методом зворотного поширення помилок, метод градієнтного спуску

Тема 3.2 Оптимізація градієнтного спуску методами: Nesterov Accelerated Gradient, Adagrad, Adadelata, Adam, Adamax

Тема 3.3 Проблеми навчання нейромереж. Функції втрат. Перенавчання

Розділ 4. Глибокі нейронні мережі. Згорткові нейронні мережі

Тема 4.1 Глибокі нейронні мережі. Згорткові нейронні мережі

Тема 4.1 Компоненти згорткової нейронної мережі

Розділ 5. Метрики точності в задачах класифікації

Тема 5.1 Метрики точності в задачах класифікації

Тема 5.2 Задача валідації – оцінки точності класифікації. Матриця невідповідності

Розділ 6. Прикладні задачі супутникового моніторингу на основі методів глибокого навчання

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

### **Основна література**

1. Шелестов А. Ю. Методи глибинного навчання для геопросторового аналізу та задач спостереження Землі / Шелестов А. Ю., Лавренюк М. С., Яйлимов Б. Я., Ткаченко О. М. // К.: “Наукова думка” – 2019. – 228 с.
2. Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., & Shelestov, A. (2017). Deep learning classification of land cover and crop types using remote sensing data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 14(5), 778-782.
3. M. Lavreniuk, L. Shumilo, B. Yailymov & N. Kussul. Reviewing Deep Learning Methods in the Applied Problems of Economic Monitoring Based on Geospatial Data. In: Cybern Syst Anal 58, 1008–1020 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00535-9>.

### **Додаткова література**

1. Sebastian Raschka. Python Machine Learning. Third Edition. [Machine Learning and Deep Learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow 2](#).
2. Goodfellow, Ian, et al. Deep learning. Vol. 1. No. 2. Cambridge: MIT press, 2016.
3. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. nature, 521(7553), 436-444.
4. A. Shelestov, B. Yailymov, H. Yailymova, L. Shumilo, M. Lavreniuk, A. Lavreniuk, S. Sylantyev, N. Kussul. Advanced Method of Land Cover Classification Based on High Spatial Resolution Data and Convolutional Neural Network. Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. — Volume 10, Issue 1 — pp. 125-132. [doi:10.25673/76943](https://doi.org/10.25673/76943).

5. Методи комп'ютерного зору і глибоких нейронних мереж для еколого-економічного аналізу. Куцусь Н.М., Шелестов А.Ю., Лавренюк А.М., Яйлимов Б.Я., Яйлимова Г.О., Колотий А.В., Дрозд С.Ю., Савін В.В., Мікава П.В., Кириленко І.А., Яворський О.А., Охріменко А.О., Пархомчук О.М., Харь Д.Ф., Волкова Є.А. К.: "Наукова думка" – 2024. – 474 с. ISBN: 978-966-00-1940-9.
6. Conservation policies and management in the Ukrainian Emerald Network have maintained reforestation rate despite the war. Leonid Shumilo, Sergii Skakun, Meredith L. Gore, Andrii Shelestov, Nataliia Kussul, George Hurtt, Dmytro Karabchuk & Volodymyr Yarotskiy. In: Commun Earth Environ 4, 443 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01099-4>.
7. Cloud Platforms and Technologies for Big Satellite Data Processing. Kussul, N., Shelestov, A., Yailymov, B. In: Dovgyi, S., Trofymchuk, O., Ustimenko, V., Globa, L. (eds) Information and Communication Technologies and Sustainable Development. ICT&SD 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023. vol 809. Springer, Cham. pp. 303–321. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3_19).
8. Transfer learning and single-polarized SAR image preprocessing for oil spill detection. Nataliia Kussul, Yevhenii Salii, Volodymyr Kuzin, Bohdan Yailymov, Andrii Shelestov. ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2024, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ophoto.2024.100081>.
9. A Survey of Deep Learning for Remote Sensing, Earth Intelligence and Decision Making. Kussul, N., Kuzin, V., Shelestov, A. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 1198. Springer, Cham. 2024. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61221-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61221-3_5).
10. Improving spatial resolution of chlorophyll-a in the Mediterranean sea based on machine learning. Bohdan Yailymov, Nataliia Kussul, Pavlo Henitsoi, Andrii Shelestov. Radioelectronic and computer systems, Vol 2024, No 2 (2024), p. 52-65. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.2.05>.

## Навчальний контент

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

Під час навчання застосовуються стратегія активного навчання, особистісно-орієнтовані розвиваючі підходи, засновані на активних формах і методах навчання (використання елементів сучасної організації наукових досліджень, метод мозкового штурму, дискусія, тощо).

Навчання здійснюється на основі студентоцентрованого підходу та стратегії взаємодії викладача та здобувача для засвоєння ними матеріалу та розвитку навичок розв'язання наукових задач. Для лекційних занять використовуються пояснювально-ілюстративні матеріали, для проведення практичних занять використовується пошуковий та дослідницький методи навчання, при яких викладач ставить перед аспірантами задачу, яка розв'язується самостійно або під керівництвом викладача з висуванням та перевіркою ідей, підбором необхідних джерел інформації, методів, підходів тощо. Для розв'язання задач може використовуватись мова програмування Python та середовище Google Collaboratory.

Дистанційна форма навчання: система Google Classroom та платформа для проведення онлайн-зустрічей Zoom, електронна пошта, канали Telegram.

### Загальна структура курсу

| Назви змістових модулів і тем                                                          | Кількість годин |              |         |                    |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|---------|--------------------|------|
|                                                                                        | Всього          | у тому числі |         |                    |      |
|                                                                                        |                 | Лекції       | лаб. р. | Практ. (Комп. пр.) | СР С |
| 1                                                                                      | 2               | 3            | 4       | 5                  | 6    |
| <b>Розділ 1. Вступ до дисципліни</b>                                                   | 11              | 1            |         |                    | 10   |
| Тема 1.1 Вступ до глибокого навчання. Задачі розпізнавання образів. Біологічний нейрон |                 |              |         |                    |      |
| Тема 1.2 Модель нейрона в задачах класифікації. Система підтримки прийняття рішень     |                 |              |         |                    |      |
| Тема 1.3 Задачі машинного навчання (класифікація, регресія та кластеризація)           |                 |              |         |                    |      |

|                                                                                                                       |            |           |  |          |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|--|----------|------------|
| <b>Розділ 2. Багатошарові нейронні мережі</b>                                                                         | 23         | 1         |  | 2        | 20         |
| Тема 2.1 Персептрон. Активуючі функції                                                                                |            |           |  |          |            |
| Тема 2.2 Багатошарова нейронна мережа (MLP). Режим роботи MLP                                                         |            |           |  |          |            |
| Тема 2.3 Архітектура нейронної мережі                                                                                 |            |           |  |          |            |
| Тема 2.4 Активуюча функція Softmax                                                                                    |            |           |  |          |            |
|                                                                                                                       |            |           |  |          |            |
| <b>Розділ 3. Навчання нейронних мереж</b>                                                                             | 34         | 2         |  | 2        | 30         |
| Тема 3.1 Алгоритм навчання штучної нейронної мережі методом зворотного поширення помилок, поняття градієнтного спуску |            |           |  |          |            |
| Тема 3.2 Оптимізація градієнтного спуску методами: Nesterov Accelerated Gradient, Adagrad, Adadelata, Adam, Adamax    |            |           |  |          |            |
| Тема 3.3 Проблеми навчання нейромереж. Функції втрат. Перенавчання                                                    |            |           |  |          |            |
|                                                                                                                       |            |           |  |          |            |
| <b>Розділ 4. Глибокі нейронні мережі. Згорткові нейронні мережі</b>                                                   | 44         | 2         |  | 2        | 40         |
| Тема 4.1 Глибокі нейронні мережі. Згорткові нейронні мережі                                                           |            |           |  |          |            |
| Тема 4.1 Компоненти згорткової нейронної мережі                                                                       |            |           |  |          |            |
|                                                                                                                       |            |           |  |          |            |
| <b>Розділ 5. Метрики точності в задачах класифікації</b>                                                              | 34         | 2         |  | 2        | 30         |
| Тема 5.1 Метрики точності в задачах класифікації                                                                      |            |           |  |          |            |
| Тема 5.2 Задача валідації – оцінки точності класифікації. Матриця невідповідності                                     |            |           |  |          |            |
|                                                                                                                       |            |           |  |          |            |
| <b>Розділ 6. Задачі супутникового моніторингу на основі методів глибокого навчання</b>                                | 34         | 2         |  |          | 32         |
| Тема 6.1 Прикладні задачі супутникового моніторингу на основі методів глибокого навчання                              |            |           |  |          |            |
| <b>Всього годин</b>                                                                                                   | <b>180</b> | <b>10</b> |  | <b>8</b> | <b>162</b> |

### Лекційні заняття

| Назва теми лекції та перелік основних питань                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Кількість годин |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Лекція 1.</b> Вступ до глибокого навчання. Задачі розпізнавання образів. Біологічний нейрон. Модель нейрона в задачах класифікації. Система підтримки прийняття рішень. Задачі машинного навчання (класифікація, регресія та кластеризація). Персептрон. Активуючі функції. Багатошарова нейронна мережа<br>Література: 1, 2, 3, 4. | 2               |
| <b>Лекція 2.</b> Алгоритм навчання штучної нейронної мережі методом зворотного поширення помилок, поняття градієнтного спуску та його оптимізація Проблеми навчання нейромереж. Функції втрат. Перенавчання<br>Література: 1, 2, 3, 4.                                                                                                 | 2               |
| <b>Лекція 3.</b> Глибокі нейронні мережі. Згорткові нейронні мережі. Компоненти згорткової нейронної мережі<br>Література: 1, 2, 3, 4.                                                                                                                                                                                                 | 2               |
| <b>Лекція 4.</b> Метрики точності в задачах класифікації. Задача валідації<br>Література: 1, 2, 3, 4.                                                                                                                                                                                                                                  | 2               |
| <b>Лекція 5.</b> Прикладні задачі супутникового моніторингу на основі методів глибокого навчання<br>Література: 1, 2, 3, 4.                                                                                                                                                                                                            | 2               |
| <b>Всього годин</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>10</b>       |

### Практичні заняття (комп'ютерний практикум)

Основні завдання циклу комп'ютерних практикумів присвячені закріпленню знань, отриманих на лекційних заняттях та практичному оволодінню методами інтелектуальних обчислень.

| № з/п | Назва практикуму (комп'ютерного практикуму)                                                   | Кількість ауд. годин |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1     | Основи роботи Python з гетерогенними даними. Використання функції Softmax. Нормалізація даних | 2                    |
| 2     | Логістична регресія. Навчання нейронних мереж                                                 | 2                    |
| 3     | Класифікація гетерогенних даних за допомогою одного прихованого шару                          | 2                    |
| 4     | Побудова власної глибокої нейронної мережі та її навчання на гетерогенних даних               | 2                    |
|       | <b>Всього</b>                                                                                 | <b>8</b>             |

### Самостійна робота

| № з/п | Назва розділу, теми (окремого питання), що виноситься на самостійне опрацювання                                                         | Кількість годин СРС |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1     | Реалізація нейронних архітектур у програмному забезпеченні (Python: sclearn, TensorFlow, Keras, U-NET)                                  | 40                  |
| 2     | Дослідження застосовності різних активаційних функцій. Переваги та недоліки.                                                            | 22                  |
| 3     | Реалізація різних парадигм навчання нейронних мереж.                                                                                    | 40                  |
| 4     | Дослідження методів оцінки точності в задачах класифікації. Дослідження реалізацій статистичних методів оцінки точності класифікації    | 20                  |
| 5     | Дослідження загального робочого процесу класифікації з використанням різнорідних даних на прикладі задачі класифікації земного покриття | 40                  |
|       | <b>Всього</b>                                                                                                                           | <b>162</b>          |

### Індивідуальні завдання

Виконання індивідуальних семестрових завдань не передбачено.

### 6. Самостійна робота студента/аспіранта

До СРС відносяться такі види робіт: вивчення теоретичного та додаткового матеріалу, виконання практичних завдань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою. Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання наведені у Положенні про рейтингову систему оцінювання з даного ОК.

Студент може бути допущений до екзамену за умови здачі всіх комп'ютерних практикумів.

### Політика та контроль

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

#### Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

| Заохочувальні бали                                                                                        |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Критерій                                                                                                  | Ваговий бал |
| Участь у олімпіадах/хакатонах за профілем спеціальності, вдосконалення методичних матеріалів з дисципліни | 1-10 балів  |
| Презентації за окремими питаннями                                                                         | До 5 балів  |
| Додаткові практичні завдання                                                                              | до 5 балів  |

### Відвідування занять

Відвідування лекцій та комп'ютерних практикумів, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак аспірантам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається

теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для успішного проходження дисципліни. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути його практичні уміння та навички.

### **Пропущені контрольні заходи**

Пропущений екзамен не зараховується; у такому випадку аспірант отримує запис у відомості «не з'явився» та повинен скласти екзамен на додатковій сесії.

### **Календарний рубіжний контроль**

Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації. Бал, необхідний для отримання позитивного календарного контролю доноситься до студентів викладачем не пізніше ніж за 2 тижні до початку календарного контролю.

### **Академічна доброчесність**

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

### **Норми етичної поведінки**

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

### **Процедура оскарження результатів контрольних заходів**

Аспіранти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів, та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Аспіранти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

### **Дистанційне навчання (необов'язковий пункт)**

Дистанційне навчання шляхом проходження додаткових онлайн-курсів за певною тематикою допускається за умови попереднього погодження з викладачем. У разі, якщо невелика кількість студентів має бажання пройти онлайн-курс за певною тематикою, вивчення матеріалу за допомогою таких курсів допускається, але студенти повинні виконати всі завдання, які передбачені у навчальній дисципліні.

### **Інклюзивне навчання**

Навчальна дисципліна «Технології глибокого навчання» може викладатися для більшості студентів з особливими освітніми потребами, окрім студентів з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

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

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що отримуються: за 4 комп'ютерні практикуми.

Семестровим контролем є **екзамен**.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання:

#### **1. Виконання та захист комп'ютерних практикумів 1-4:**

- повне виконання, повна відповідь при захисті 5;
- повне або часткове виконання, неповна відповідь при захисті 1...4;

#### **2. Результати обговорення напрямку, обраного для самостійного опрацювання – до 40 балів.**

#### **3. Заохочувальні бал**

- виконання додаткового практичного завдання 1...3 бали;
- участь в олімпіадах з програмування, модернізація методичних матеріалів з дисципліни до 10 заохочувальних балів.
- презентації за окремими питаннями до 5 балів
- додаткові практичні завдання до 5 балів

*Розрахунок шкали рейтингу:*

$$R = 5 \times 4 + 40 + 40 = 100 \text{ балів}$$

Рейтингова шкала оцінювання аспіранта:

| Рейтингові бали | Університетська шкала оцінок рівня<br>здобутих компетентностей |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|
| 95...100        | Відмінно                                                       |
| 85...94         | Дуже добре                                                     |
| 75...84         | Добре                                                          |
| 65...74         | Задовільно                                                     |
| 60...64         | Достатньо                                                      |
| 25...59         | Незадовільно                                                   |
| менше 25        | Не допущений                                                   |

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

Проходження додаткових курсів за тематикою навчальної дисципліни та наявність сертифікатів за їх результатом дає можливість підвищити свій загальний рейтинг після узгодження із викладачем

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

Складено д.т.н., проф., Шелестов А.Ю.

Ухвалено кафедрою ММАД (протокол № 7 від 26.06.2024),

Погоджено Методичною комісією НН ФТІ (протокол № 6 від 27.06.2024)