



Теорія машинного навчання Machine Learning

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (доктор філософії)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>122 Комп'ютерні науки</i>
Освітня програма	<i>КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>2 кредити (60 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>Перший та другий тиждень: Лекція/практичні, четвер, 10-25, on-line</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н. Кравцов Григорій Олексійович, контактні дані: hryhoriy.kravtsov@gmail.com</i> Практичні : <i>к.т.н. Кравцов Григорій Олексійович, контактні дані: hryhoriy.kravtsov@gmail.com</i>
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Теорія машинного навчання Machine Learning» (ІВ1-2) є нормативною дисципліною навчального плану підготовки докторів філософії з спеціальності «Комп'ютерні науки» і грає важливу роль у підготовці фахівців.

Дисципліна «Теорія машинного навчання Machine Learning» спрямована на вивчення підходів, методів і механізмів функціонування та використання засобів машинного навчання. Необхідність в використанні нових підходів обумовлена тим, що сучасні підходи до вирішення складних завдань, які потребують обробки надзвичайно великого обсягу даних, потребують використання великої кількості обчислювальних ресурсів.

Вивчення даної дисципліни дозволить набути важливих компетенцій в плані розвитку існуючих і використанню нових підходів проектування, розробки та використання засобів машинного навчання, а також засвоїти методи їх підготовки для практичного застосування.

Метою вивчення дисципліни «Теорія машинного навчання Machine Learning» є підготовка фахівців, здатних розв'язувати комплексні проблеми в галузі науково-дослідної діяльності у сфері розробки та використання засобів машинного навчання, організацію рішень на основі окремих компонентів машинного навчання, їх способи налаштування та тестування в практичних умовах.

Метою кредитного модуля є формування у аспірантів загальних та спеціальних (фахових, предметних) компетентностей:

- ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
- ЗК02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел
- ЗК03. Здатність працювати в міжнародному контексті.
- ЗК04. Здатність розв'язувати комплексні проблеми комп'ютерних наук на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності
- СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у комп'ютерних науках та дотичних до них міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з комп'ютерних наук та суміжних галузей.
- СК02. Здатність застосовувати сучасні методології, методи та інструменти експериментальних і теоретичних досліджень у сфері комп'ютерних наук, сучасні цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси у науковій та освітній діяльності.
- СК03. Здатність виявляти, ставити та вирішувати дослідницькі науково-прикладні задачі та/або проблеми в сфері комп'ютерних наук, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.
- СК04. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти у галузі комп'ютерних наук та дотичні до неї міждисциплінарних проектах, демонструвати лідерство під час їх реалізації.
- СК05. Здатність здійснювати науково-педагогічну діяльність у вищій освіті у сфері комп'ютерних наук
- СК06. Здатність аналізувати та оцінювати сучасний стан і тенденції розвитку комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Програмні результати навчання:

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни аспіранти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати наступні результати навчання:

- ПРН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з комп'ютерних наук і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.
- ПРН02. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми комп'ютерних наук державною та іноземною мовами, оприлюднювати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.
- ПРН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.
- ПРН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у комп'ютерних науках та дотичних міждисциплінарних напрямках.
- ПРН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з комп'ютерних наук та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.
- ПРН06. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.
- ПРН07. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або

професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми комп'ютерної науки з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.

- ПРН08. Визначати актуальні наукові та практичні проблеми у сфері комп'ютерних наук, глибоко розуміти загальні принципи та методи комп'ютерних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері комп'ютерних наук та у викладацькій практиці.
- ПРН09. Вивчати, узагальнювати та впроваджувати в навчальний процес інновації комп'ютерних наук.
- ПРН10. Відшукувати, оцінювати та критично аналізувати інформацію щодо поточного стану та трендів розвитку, інструментів та методів досліджень, наукових та інноваційних проєктів з комп'ютерних наук.
- ПРН11. Організувати і здійснювати освітній процес у сфері комп'ютерних наук, його наукове, навчально-методичне та нормативне забезпечення, застосувати ефективні методики викладання навчальних дисциплін.

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

Пререквізити: для успішного оволодіння матеріалом даного курсу необхідні знання з наступних дисциплін: основи математичного аналізу та математичної статистики; теорія графів; теорія функцій; алгоритми та структури даних; основи програмування.

Постреквізити: компетентності та перелік напрямків діяльності, що забезпечуються: вміння отримувати обґрунтовані результати дослідження, захист дисертаційної роботи, педагогічна практика.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи машинного навчання

- 1.1. *Машинне навчання: основні поняття та область застосування.*
- 1.2. *Види машинного навчання.*
- 1.3. *Навчання з учителем, без учителя.*
- 1.4. *Навчання з підкріпленням.*
- 1.5. *Огляд алгоритмів та інструментів машинного навчання.*

Розділ 2. Лінійна регресія

- 2.1. *Лінійна регресія – теорія та застосування.*
- 2.2. *Рівняння лінійної регресії.*
- 2.3. *Гradientний спуск.*
- 2.4. *Лінійна регресія з багатьма змінними.*
- 2.5. *Функція втрат.*

Розділ 3. Логістична регресія

- 3.1. *Класифікація методом логістичної регресії.*
- 3.2. *Ймовірнісна інтерпретація логістичної регресії.*
- 3.3. *Багатокласова класифікація. Проблема перенавчання*
- 3.4. *Оцінка ефективності навчання моделі.*

Розділ 4. Кластеризація та аналіз даних

- 4.1. *Кластеризація даних – методи та застосування.*
- 4.2. *Метод k-середніх.*
- 4.3. *Оцінка моделі та зменшення розмірності.*
- 4.4. *Метод головних компонент (PCA).*
- 4.5. *Відкриті дані та аналіз текстових даних.*
- 4.6. *Ієрархічна кластеризація*

Розділ 5. Нейронні мережі

- 5.1. *Математична основа нейронних мереж.*
- 5.2. *Поняття та типи функції активації.*
- 5.3. *Функція втрат. Бінарна та багато-класова класифікація.*
- 5.4. *Різновиди сучасних нейронних мереж та їх застосування.*
- 5.5. *Навчання нейронних мереж: алгоритм градієнтного спуску.*
- 5.6. *Метод зворотного поширення помилки.*

Розділ 6. Основи глибинного навчання

- 6.1. *Рекурентні (CNN), LSTM, Трансформери.*
- 6.2. *Проблема оптимізації гіпер-параметрів*
- 6.3. *Багатошарові нейронні мережі та глибоке навчання.*
- 6.4. *Поняття рекурентної нейронної мережі та довгої короткочасної пам'яті.*
- 6.5. *Трансформери та масштабована скалярнодобуткова увага.*
- 6.6. *Гіперпараметри, проблеми та алгоритми їх оптимізації..*

Розділ 7. Деревя прийняття рішень

- 7.1. *Деревя прийняття рішень. Індекс gini.*
- 7.2. *Побудова класифікаційних і регресійних дерев.*
- 7.3. *Метод випадкового лісу.*
- 7.4. *Алгоритм дерева прийняття рішень.*
- 7.5. *Поняття індексу gini. Алгоритм CART.*
- 7.6. *Ітераційна побудова дерева для задач класифікації та регресії.*

Розділ 8. Додаткові методи машинного навчання

- 8.1. *Генетичні алгоритми.*
- 8.2. *Нечітка логіка.*
- 8.3. *Навчання з підкріпленням.*
- 8.4. *Мультиагентні системи. Інтелектуальні агенти.*

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базові матеріали

1. S.J. Russell, P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach // Prentice Hall, 2010 — 1166 с.
2. T. Mitchell, Machine Learning // McGraw Hill, 1997 – 421 с.
3. C.M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning // Springer, 2006 - 803 с.
4. E. Alpaydin, Introduction to Machine Learning // MIT Press, 2020 - 321 с.
5. M. Mohri, A. Rostamizadeh, A. Talwalkar, Foundations of Machine Learning // MIT Press, 2012 - 505 с.
6. Andreas C. Müller, Sarah Guido. Introduction to Machine Learning with Python. O'Reilly Media, 2017. — 377 с.
7. Sebastian Raschka, Vahid Mirjalili. Python Machine Learning, 2 ed. Packt Publishing. — 2017. — 622 с.
8. Luis Pedro Coelho, Willi Richert. Building Machine Learning Systems with Python, 2 edition. Packt Publishing. — 2015. — 326 с.
9. Jones A. The Unsupervised Learning Workshop / A. Jones, K. Christopher, B. Johnston., 2020. – 549 с. – (Packt Publishing).
10. Pramod Singh. Deploy Machine Learning Models to Production: With Flask, Streamlit, Docker, and Kubernetes on Google Cloud Platform. Apress. — 2021. — 161 с.

11. Rokach L. Data mining with decision trees. Theory and Applications / L. Rokach, O. Maimon. – Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015. – 328 с.
12. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press. – 800 с.
13. C. Aggarwal. Neural Networks and Deep Learning A Textbook. 2023. 529 с.
14. Foster D. Generative Deep Learning: Teaching Machines to Paint, Write, Compose, and Play. O'Reilly Media, Incorporated, 2023.
15. Feature Engineering / S. Sumathi та ін. Machine Learning for Decision Sciences with Case Studies in Python. Boca Raton, 2022. С. 351–371. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003258803-7>.

Додаткові матеріали

16. C.C. Aggarwal, Linear Algebra and Optimization for Machine Learning // Springer, 2020 - 517 с.
17. T. Trappenberg, Fundamentals of Machine Learning // Oxford University Press, 2020 - 272 с.
18. A. Jung, Machine Learning: The Basics (Machine Learning: Foundations, Methodologies, and Applications) // Springer, 2020 - 229 с.
19. C. Sammut, G.I. Webb, Encyclopedia of machine learning and data mining // Springer, 2017 - 1341 с. Machine Learning. Google for Developers. Google for Developers. URL: <https://developers.google.com/machine-learning>.
20. T. Mitchell, Machine Learning, URL: <http://www.cs.cmu.edu/~tom/mlbook.html>
21. Microsoft Machine Learning Studio (classic), URL: <https://studio.azureml.net>
22. OpenML, A worldwide machine learning lab, URL: <https://www.openml.org>
23. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community, URL: <https://www.kaggle.com>
24. Машинне навчання, Prometheus, URL: https://prometheus.org.ua/course/course-v1:IRF+ML101+2016_T3
25. Introduction to Machine Learning, MIT course (<https://openlearninglibrary.mit.edu/courses/course-v1:MITx+6.036+1T2019/about>)
26. Machine Learning Specialization, Coursera, URL: <https://www.coursera.org/specializations/machine-learning>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (дидактичні матеріали: презентація PowerPoint)
1	<p>Лекція 1. Основи машинного навчання</p> <p><i>Машинне навчання: основні поняття та область застосування.</i></p> <p><i>Види машинного навчання.</i></p> <p><i>Навчання з учителем, без учителя.</i></p> <p><i>Навчання з підкріпленням.</i></p> <p><i>Огляд алгоритмів та інструментів машинного навчання.</i></p> <p>Література: 1-5</p> <p>Самостійна робота: 1</p>

2	Лекція 2. Лінійна регресія
---	-----------------------------------

	<p><i>Лінійна регресія – теорія та застосування. Рівняння лінійної регресії. Градієнтний спуск. Лінійна регресія з багатьма змінними. Функція втрат.</i></p> <p>Література: 9, 14</p> <p>Самостійна робота: 2</p>
3	<p>Лекція 3. Логістична регресія</p> <p><i>Класифікація методом логістичної регресії. Ймовірнісна інтерпретація логістичної регресії. Багатокласова класифікація. Проблема перенавчання. Оцінка ефективності навчання моделі.</i></p> <p>Література: 7, 9-11, 14</p> <p>Самостійна робота: 3</p>
4	<p>Лекція 4. Класифікація та аналіз даних</p> <p><i>Класифікація даних – методи та застосування. Метод k-середніх. Оцінка моделі та зменшення розмірності. Метод головних компонент (PCA). Відкриті дані та аналіз текстових даних. Ієрархічна класифікація</i></p> <p>Література: 7, 9, 11, 14</p> <p>Самостійна робота: 4</p>
5	<p>Лекція 5. Нейронні мережі</p> <p><i>Математична основа нейронних мереж. Поняття та типи функції активації. Функція втрат. Бінарна та багато-класова класифікація. Різновиди сучасних нейронних мереж та їх застосування. Навчання нейронних мереж. Метод зворотного поширення помилки. Особливості ініціалізації ваг. Навчання нейронних мереж: алгоритм градієнтного спуску та його модифікації. Покроковий алгоритм методу зворотного поширення помилки. Початкове налаштування гіпер-параметрів та ініціалізація ваг. Функція активації у процесі навчання</i></p> <p>Література: 6, 11, 14</p> <p>Самостійна робота: 5</p>
6	<p>Лекція 6. Основи глибинного навчання</p> <p><i>Рекурентні (CNN), LSTM, Трансформери. Проблема оптимізації гіпер-параметрів. Багатошарові нейронні мережі та глибоке навчання. Поняття рекурентної нейронної мережі та довгої короткочасної пам'яті. Трансформери та масштабована скалярнодобуткова увага. Гіперпараметри, проблеми та алгоритми їх оптимізація.</i></p> <p>Література: 6, 10, 11, 14</p> <p>Самостійна робота: 6</p>
7	<p>Лекція 7. Дерева прийняття рішень</p> <p><i>Дерева прийняття рішень. Індекс gini. Побудова класифікаційних і регресійних дерев. Метод випадкового лісу. Алгоритм дерева прийняття рішень. Поняття індексу gini. Алгоритм CART. Ітераційна побудова дерева для задач класифікації та регресії.</i></p> <p>Література: 10, 19</p> <p>Самостійна робота: 7</p>
8	<p>Лекція 8. Додаткові методи машинного навчання</p> <p><i>Генетичні алгоритми. Нечітка логіка. Навчання з підкріпленням. Мультиагентні системи. Інтелектуальні агенти.</i></p> <p>Література: 12-15</p> <p>Самостійна робота: 8</p>

Практичні заняття

№ з/п	Назва практичного заняття	Кількість ауд. годин
-------	---------------------------	----------------------

1	Практичне заняття 1. Ознайомлення з інструментами машинного навчання Література: 1, 7, 8, 21, 22, 24	1
2	Практичне заняття 2. Підготовка даних для аналізу Література: 16, 23	1
3	Практичне заняття 3. Лінійна регресія та метод найменших квадратів Література: 15, 18	1
4	Практичне заняття 4. Класифікація даних Література: 16, 23,	1
5	Практичне заняття 5. Кластеризація даних та аналіз головних компонент Література: 16, 17,	1
6	Практичне заняття 6. Глибинні нейронні мережі Література: 7, 8, 12	1
7	Практичне заняття 7. Використання CNN для обробки зображень Література: 12, 13	1
8	Практичне заняття 8. Рекурентні нейронні мережі (RNN) Література: 12, 13	1
9	Практичне заняття 9. Використання асоціативних правил для аналізу даних Література: 14,	1
10	Практичне заняття 10. Навчання з підкріпленням Література: 12-14	1

6. Самостійна робота аспіранта

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
1	2	
1	Вступ до машинного навчання: загальна теорія та інструменти.	4
2	Лінійна регресія: градієнтний спуск, лінійна регресія з багатьма змінними	5
3	Логістична регресія: багатокласова класифікація, проблема перенавчання, оцінка ефективності навчання моделі.	5
4	Кластеризація та аналіз даних: відкриті дані та аналіз текстових даних, ієрархічна кластеризація	5
5	Нейронні мережі: метод зворотного поширення помилки; навчання нейронних мереж; алгоритм градієнтного спуску та його модифікації	7
6	Основи глибинного навчання: багатошарові нейронні мережі та глибоке навчання; поняття рекурентної нейронної мережі та довгої короткочасної пам'яті; трансформери та масштабована скалярнодобуткова увага	7
7	Дерева прийняття рішень: метод випадкового лісу; дерево прийняття рішень; ітераційна побудова дерева для задач класифікації та регресії	7
8	Додаткові теми з машинного навчання: генетичні алгоритми; нечітка логіка; навчання з підкріпленням.	8

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Відвідування лекцій переконливо рекомендується, але штрафних санкцій за пропуски лекцій не передбачено. Відвідування занять комп'ютерного практикуму необхідно в обсязі, достатньому для виконання вимог викладача щодо виконання і своєчасної здачі лабораторних робіт та індивідуального завдання.

Пропущені контрольні заходи

Лабораторні роботи можна здавати у відведений за розкладом час лабораторних занять, як до, так і після встановленого терміну здачі конкретної роботи. Додаткові години для здачі індивідуального завдання призначаються викладачем в межах часу лабораторних занять. Завідсутності поважних причин пропуску (медична довідка тощо) штрафні бали не нараховуються.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

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

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

Поточний контроль: виконання індивідуального завдання на проектування інформаційних систем, виконання комп'ютерних практикумів.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання /зарахування усіх практичних робіт/семестровий рейтинг більше 30 балів.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з двох складових: стартової – призначена для оцінювання заходів поточного контролю впродовж семестру та екзаменаційної – призначена для оцінювання окремих запитань (завдань) на екзамені і формується з балів, що він отримує за:

- 1) індивідуальне завдання на проектування інформаційної системи;
- 2) виконання комп'ютерних практикумів;
- 3) відповідь на екзамені.

1. Індивідуальне завдання

Ваговий бал – 25. Кожний аспірант виконує індивідуальне завдання щодо розробки інформаційної системи (програмного забезпечення) в рамках свого дисертаційного дослідження, яке передбачає використання всієї низки програмно-технічного інструментарію, що вивчається в рамках курсу.

2. Робота на комп'ютерних практичних заняттях

Ваговий бал – 5. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює $5 \cdot 9 = 45$ балів.

3. Відповідь на заліку

Кількість балів по відповіді на кожне питання визначається викладачем з врахуванням складності питання та якості відповіді. Максимальна кількість балів 30.

Штрафні та заохочувальні бали за:

- виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни надається від 2 до 5 заохочувальних балів.

Розрахунок шкали (R) рейтингу

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$RC = 70 + 30 = 100 \text{ балів.}$$

Для отримання аспірантом відповідних оцінок (ECTS та традиційних) його рейтингова оцінка *R* переводиться згідно з таблицею відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни «Теорія машинного навчання Machine Learning»;
- інша інформація для аспірантів щодо особливостей опанування навчальної дисципліни: Застосовуються стратегії активного і колективного навчання, які визначаються наступними методами і технологіями:

1) кредитно-модульна технологія навчання;

2) особистісно-орієнтовані (розвиваючі) технології, засновані на активних формах і методах навчання («аналіз ситуацій» ділові, імітаційні ігри, дискусія, експрес-конференція, навчальні дебати.);

3) інформаційно-комунікаційні технології, що забезпечують проблемно-дослідницький характер процесу навчання та активізацію самостійної роботи аспірантів (електронні презентації для лекційних занять, використання аудіо-, відео-підтримки навчальних занять, розробка і застосування на основі комп'ютерних і мультимедійних засобів творчих завдань, доповнення традиційних навчальних занять засобами взаємодії на основі мережевих комунікаційних можливостей).

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н. Кравцовим Григорієм Олексійовичем

Ухвалено: Вченою радою ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (протокол №10 від 26.09.2024 р.)