



Причинний ШІ на Python

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

- Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	12 Інформаційні технології
Спеціальність	122 Комп'ютерні науки
Освітня програма	Цифрові технології в енергетиці
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс 7 семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити ЕКТС / 120 годин: 36 лек. 18 лаб. 66 СРС залік, МКР.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік м.к.р.
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: старший викладач Беспала Ольга Миколаївна Лабораторні роботи: старший викладач Беспала Ольга Миколаївна bespala.olha@iit.kpi.ua
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua

- Програма навчальної дисципліни

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

При опануванні даної дисципліни студенти познайомляться з основними принципами, методами та інструментами причинного аналізу та причинного штучного інтелекту (Causal AI), а також із практичними підходами їх реалізації мовою програмування Python. Курс поєднує фундаментальні концепції теорії причинності з сучасними методами машинного навчання, що дозволяє студентам навчитися будувати причинні графи, виявляти латентні змінні, оцінювати причинні ефекти та розробляти системи штучного інтелекту, здатні пояснювати свої рішення.

У відповідності до ОПП у студентів повинні сформуватися наступні загальні та фахові компетентності:

ЗК 01	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
ЗК 02	Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
ЗК 07	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
ФК 02	Здатність до виявлення статистичних закономірностей недетермінованих явищ, застосування методів обчислювального інтелекту, зокрема статистичної, нейромережевої та нечіткої обробки даних, методів машинного навчання та генетичного програмування тощо

Мета: формування у студентів системи теоретичних знань і практичних навичок у сфері причинного аналізу даних та їх застосування для створення інтелектуальних систем на Python.

Особлива увага приділяється поєднанню класичного машинного навчання та причинного підходу до моделювання даних з метою розробки прозорих, інтерпретованих та стійких алгоритмів.

Предмет дисципліни: цикл виявлення, формалізації та аналізу причинно-наслідкових зв'язків у даних з використанням Python. Курс орієнтований на практико-орієнтоване навчання, що передбачає застосування алгоритмів причинного виведення, методів оцінки причинних ефектів, побудову та інтерпретацію причинних графів, а також інтеграцію Causal AI у сучасні проекти з машинного навчання.

В результаті засвоєння кредитного модуля студенти мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

ПРН 03	Використовувати знання закономірностей випадкових явищ, їх властивостей та операцій над ними, моделей випадкових процесів та сучасних програмних середовищ для розв'язування задач статистичної обробки даних і побудови прогнозних моделей.
ПРН 04	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.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати:

Знання:

- основні концепції теорії причинності (структурні каузальні моделі, графові представлення, інваріантність, критерій d-separation);
- відмінність між кореляційним і причинним аналізом;
- методи виявлення причинних структур у даних (PC-алгоритм, FCI, LiNGAM, GES тощо);
- сучасні бібліотеки Python для причинного аналізу (DoWhy, CausalDiscoveryToolbox, EconML, PyWhy).

Уміння:

- будувати та інтерпретувати причинні графи на основі даних;
- відпрацьовувати повний цикл оцінки причинних ефектів (ATE, CATE, ITE);
- застосовувати Python-бібліотеки для проведення симуляцій, моделювання даних з латентними змінними та пропущеннями;
- інтегрувати методи причинного аналізу у проекти машинного навчання та ШІ.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни

Пререквізити дисципліни. Вивчення дисципліни спирається на знання, отримані студентами у попередні роки навчання за освітньою програмою бакалавра в галузі 12 Інформаційні технології. Зокрема, необхідними є знання та навички з дисциплін «Дискретна математика» (теорія графів, математична логіка), «Ймовірність та математична статистика», «Алгоритмізація та програмування», «Методи та системи штучного інтелекту» та «Бази даних». Студенти повинні мати практичний досвід програмування мовою Python, володіти основами роботи з бібліотеками для аналізу даних (pandas, numpy, matplotlib), а також мати розуміння базових концепцій штучного інтелекту та статистичного моделювання.

Постреквізити дисципліни. Після завершення вивчення дисципліни студенти зможуть застосовувати методи причинного виведення та моделювання для вирішення практичних завдань аналізу даних, розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, побудови та перевірки причинно-наслідкових моделей у різних галузях (медицина, економіка, соціальні науки, IT). Набуті знання та навички стануть основою для вивчення спеціалізованих дисциплін магістерського рівня, виконання науково-дослідних завдань, а також при написанні кваліфікаційної

роботи бакалавра. Дисципліна забезпечує підґрунтя для інтеграції сучасних методів штучного інтелекту з інструментами причинного аналізу, що є актуальним напрямом розвитку науки та практики.

3. Зміст навчальної дисципліни

Лекційні заняття

Розділ 1. Вступ до причинного штучного інтелекту

Тема 1.1. Основні поняття штучного інтелекту та місце причинного моделювання

Тема 1.2. Від кореляції до каузальності: принципів відмінності та виклики для ШІ

Тема 1.3. Математичні основи причинних моделей (ймовірності, графи, SEM)

Розділ 2. Графові та структурні методи

Тема 2.1. Орієнтовані ациклічні графи (DAG) як основа причинного ШІ

Тема 2.2. Алгоритми побудови причинних графів: PC, FCI, GES

Тема 2.3. Робота з латентними змінними у причинних моделях

Розділ 3. Ідентифікація та оцінка ефектів

Тема 3.1. do-обчислення та критерії задніх і передніх дверей

Тема 3.2. Потенційні результати та Середній ефект втручання (ATE)

Тема 3.3. Методи оцінки причинних ефектів у Python (DoWhy, EconML)

Розділ 4. Робота з пропусками та експериментами

Тема 4.1. Причинні підходи до пропущених даних: MCAR, MAR, MNAR

Тема 4.2. Рандомізовані контрольовані експерименти (RCT) та квазіексперименти

Тема 4.3. Використання інструментальних змінних у причинному ШІ

Розділ 5. Прикладні аспекти та сучасні напрями

Тема 5.1. Причинний ШІ для машинного навчання: вибір моделей та корекція зсуву

Тема 5.2. Інтеграція причинних графів у глибинні нейронні мережі

Тема 5.3. Виявлення причинних структур у великих даних: сучасні виклики та обмеження

Розділ 6. Практика використання Python для причинного ШІ

Тема 6.1. Бібліотеки Python для причинного аналізу (DoWhy, CausalNex, PyWhy)

Тема 6.2. Аналіз реальних даних: від імпорту до побудови причинного графа

Тема 6.3. Прикладні кейси використання причинного ШІ у медицині, економіці та соціальних науках, тощо.

Лабораторні роботи

1. Побудова та аналіз причинних структур на Python.
2. Методи ШІ відкриття причинних структур.
3. Оцінка причинних ефектів за допомогою методів машинного навчання.
4. Інтеграція ML та причинного ШІ.
5. Причинний ШІ у практичних застосуваннях.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література

1. Pearl, J. Causality: Models, Reasoning and Inference. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 552 p.
2. Pearl, J., Glymour, M., Jewell, N. P. Causal Inference in Statistics: A Primer. Hoboken: Wiley, 2016. 248 p.
3. Peters, J., Janzing, D., Schölkopf, B. Elements of Causal Inference: Foundations and Learning Algorithms. Cambridge: MIT Press, 2017. 316 p.

4. Hernán, M. A., Robins, J. M. Causal Inference: What If. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2020. 400 p.
5. Glymour, C., Zhang, K., Spirtes, P. Review of Causal Discovery Methods Based on Graphical Models. *Frontiers in Genetics*, 2019. Vol. 10, Art. 524. 15 p.
6. Lohr, S. Sampling: Design and Analysis. 2nd ed. Boston: Brooks/Cole, 2010. 400 p.
7. Dowhy: A Python library for causal inference [Electronic resource]. URL: <https://microsoft.github.io/dowhy>
8. EconML: A Python package for ML-based causal inference [Electronic resource]. URL: <https://github.com/microsoft/EconML>
9. Koller, D., Friedman, N. Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques. Cambridge: MIT Press, 2009. 1320 p.
10. Spirtes, P., Glymour, C., Scheines, R. Causation, Prediction, and Search. 2nd ed. Cambridge: MIT Press, 2001. 540 p.
11. Bareinboim, E., Pearl, J. Causal Inference and the Data-Fusion Problem. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020. Vol. 117, No. 9, pp. 5232–5239.
12. Zhang, Y., Schölkopf, B. Causal Discovery in Machine Learning: Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2022. Vol. 44, No. 10, pp. 6662–6681.

Додаткова література

1. Беспала О. М. Оцінка ступеня впливу між параметрами структурно-причинної моделі. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2023. № 3(80). С. 104-111 DOI: 10.31673/2412-4338.2023.030011
2. Беспала О. М., Отрох С. І., Ружинський В. Г.. Моделювання спрямованого ациклічного графа для причинного висновку. *Наукові записки Державного університету телекомунікацій*. 2023. № 2 (1) С. 87-95 DOI: [10.31673/2518-7678.2023.020202](https://doi.org/10.31673/2518-7678.2023.020202).
3. Bepala O. Causal inference for models with latent variables. *Вісник науки*. 2022. Вип. 3, С. 17-22. <https://academconf.com/archiv/journal-3-2022.pdf>
4. Беспала О. М. Метод пошуку та оцінки впливу причинно-наслідкових зв'язків в системах прийняття рішень. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання*. 2020. № 2 (4). С. 59 – 72. <http://pim.khpi.edu.ua/article/view/2411-0558.2020.02.08>
5. Беспала О. М. Інструментарій причинно-наслідкового висновку: огляд та перспективи. *Системи керування та комп'ютери*. 2020. № 5. С. 52 – 63 DOI: 10.15407 / csc.2020.05.052
6. Беспала О.М., Тимкова А.В. Оптимізація прогнозування шляхом урахування причинного впливу. *Наукові записки Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*. 2025. № 1 DOI: 10.31673/2786-8362.2025.011761.
7. Сліпченко В. Г., Полягушко Л. Г., Круш О. Є. Система комплексного еко-енерго-економічного моніторингу для оптимізації управлінських рішень (області, району та міста) // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. – 2021. – № 4(268). – С. 13–20. – DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-13-20>.
8. Сліпченко В., Полягушко Л., Круш О. Розробка автоматизованої системи збору різноманітної інформації в системі комплексного еко-енерго-економічного моніторингу // *Technology audit and production reserves*. – 2022. – Т. 3, № 2(65). – С. 11–18. – DOI: 10.15587/2706-5448.2022.259069. – URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/download/259069/257465/600809>

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань	Кільк. ауд.год
Розділ 1. Вступ до причинного штучного інтелекту		
Тема 1.1. Основні поняття штучного інтелекту та місце причинного моделювання		
1	Лекція 1. Базові принципи ШІ, місце причинності серед підходів до аналізу даних.	2
Тема 1.2. Від кореляції до каузальності: принципові відмінності та виклики для ШІ		
2	Лекція 2. Відмінність статистичних залежностей від причинних зв'язків, ключові проблеми інтерпретації.	2
Тема 1.3. Математичні основи причинних моделей (ймовірності, графи, SEM)		
3	Лекція 3. Ймовірнісні підходи, графові структури та структурні рівняння як основа причинних моделей.	2
Розділ 2. Графові та структурні методи		
Тема 2.1. Орієнтовані ациклічні графи (DAG) як основа причинного ШІ		
4	Лекція 4. Формалізм DAG та їх застосування для моделювання причинних залежностей.	2
Тема 2.2. Алгоритми побудови причинних графів: PC, FCI, GES		
5	Лекція 5. Основні алгоритмічні методи виявлення причинних структур із даних.	2
Тема 2.3. Робота з латентними змінними у причинних моделях		
6	Лекція 6. Вплив прихованих факторів та методи їх врахування у причинному аналізі.	2
Розділ 3. Ідентифікація та оцінка ефектів		
Тема 3.1. do-обчислення та критерії задніх і передніх дверей (do-calculus, backdoor, frontdoor)		
7	Лекція 7. Формальні інструменти для обчислення причинних ефектів у графових моделях.	2
Тема 3.2. Потенційні результати та Середній ефект втручання (ATE)		
8	Лекція 8. Підхід потенційних результатів та показники середнього причинного ефекту.	2
Тема 3.3. Методи оцінки причинних ефектів у Python (DoWhy, EconML)		
9	Лекція 9. Інструментарій Python для практичної оцінки причинних ефектів.	2
Розділ 4. Робота з пропусками та експериментами		

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань	Кільк. ауд.год
Тема 4.1. Причинні підходи до пропущених даних: MCAR, MAR, MNAR		
10	Лекція 10. Типи пропусків та причинні стратегії їх обробки.	2
Тема 4.2. Рандомізовані контрольовані експерименти (RCT) та квазіексперименти		
11	Лекція 11. Методологія експериментів і наближених до них досліджень у причинному аналізі.	2
Тема 4.3. Використання інструментальних змінних у причинному ШІ		
12	Лекція 12. Інструментальні змінні як засіб ідентифікації причинних ефектів.	2
Розділ 5. Прикладні аспекти та сучасні напрями		
Тема 5.1. Причинний ШІ для машинного навчання: вибір моделей та корекція зсуву		
13	Лекція 13. Застосування причинних підходів для покращення моделей ML і боротьби з bias.	2
Тема 5.2. Інтеграція причинних графів у глибинні нейронні мережі		
14	Лекція 14. Методи поєднання причинних структур і глибокого навчання	2
Тема 5.3. Виявлення причинних структур у великих даних: сучасні виклики та обмеження		
15	Лекція 15. Автоматизоване відкриття причинних зв'язків у масштабних даних.	2
Розділ 6. Практика використання Python для причинного ШІ		
Тема 6.1. Бібліотеки Python для причинного аналізу (DoWhy, CausalNex, PyWhy)		
16	Лекція 16. Огляд сучасних бібліотек Python для каузального моделювання.	2
Тема 6.2. Аналіз реальних даних: від імпорту до побудови причинного граф		
17	Лекція 17. Приклад повного циклу обробки та аналізу даних у Python.	2
Тема 6.3. Прикладні кейси використання причинного ШІ у медицині, економіці та соціальних науках		
18	Лекція 18. Практичні сценарії застосування причинного аналізу у міждисциплінарних дослідженнях.	2

Лабораторні роботи

№	Назва лабораторної роботи	Кільк. ауд.год
1	Побудова та аналіз причинних структур на Python. Навчитись створювати та аналізувати причинні графи за допомогою Python.	4
2	Методи ШІ відкриття причинних структур. Ознайомитись з алгоритмами штучного інтелекту для виявлення причинних залежностей.	2
3	Оцінка причинних ефектів за допомогою методів машинного навчання.	2

№	Назва лабораторної роботи	Кільк. ауд.год
	Вивчити способи оцінки причинного впливу змінних із застосуванням ML.	
4	Інтеграція ML та причинного ШІ. Навчитись поєднувати машинне навчання та причинне моделювання для аналізу даних.	4
Модульна контрольна робота		2
5	Причинний ШІ у практичних застосуваннях. Проаналізувати приклади застосування причинного ШІ у реальних задачах.	4

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента (66 годин) передбачає підготовку до аудиторних занять та контрольних заходів, проведення розрахунків та підготовка вхідних даних до роботи.

Розподіл годин СРС: підготовка до заліку – 6 годин; підготовка до лабораторного практикуму – 1,5 година; підготовка до МКР – 3 години; підготовка до лекції – 1 година.

- Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекційних та лабораторних занять є обов'язковим за винятком поважних причин (хвороби, форс-мажорних обставин).

В разі пропущення занять з поважних причин викладач надає можливість студенту виконати усі або деякі лабораторні завдання (винятком є виконання деяких завдань у зв'язку із закінченням навчального процесу).

В разі пропущення занять без поважних причин, а також через порушення граничного терміну виконання завдання (deadline) студент може отримати 80% від максимальної оцінки відповідне завдання.

При захисті практичних робіт студент має продемонструвати розроблений програмний код та результати його виконання на тестових прикладах, як заздалегідь підготованих, так і запропонованих викладачем. У випадку дистанційної форми навчання захист відбувається на відповідній конференції шляхом демонстрації екрана.

Протягом семестру студенти:

- виконують та захищають лабораторні роботи у відповідні терміни ,
- пишуть модульну контрольну роботу, контрольні роботи пишуться без застосування допоміжних засобів (мобільні телефони, планшети та ін.); результат пересилається у файлі викладачу;
- повинні позитивно закрити дві атестації,
- заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях; участь у факультетських та інститутських олімпіадах з навчальних дисциплін, участь у конкурсах робіт, підготовка оглядів наукових праць; презентацій по одній із тем СРС дисципліни тощо. Кількість заохочуваних балів не більше 10.
- по закінченні навчального процесу складають залік.

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>.

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

1. Поточний контроль (виконання робіт в семестрі) оцінюється у 100 балів. Розподіл балів наведено в таблиці:

Роботи	Максимальна кількість балів за виконання однієї роботи
Лабораторна робота 1	16
Лабораторна робота 2	16
Лабораторна робота 3	16
Лабораторна робота 4	16
Лабораторна робота 5	16
Модульна контрольна робота	20
Загальний бал	100

Штрафні бали віднімаються за:

1. неоптимальний алгоритм – 10% від максимальної кількості балів;
2. неоптимальні структури представлення інформації – 10% від максимальної кількості балів;
3. ненадану або невірну відповідь на запитання – 20% від максимальної кількості балів при захисті лабораторної роботи або 100% - на контрольній роботі.

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

Критерій	Перший календарний контроль	Другий календарний контроль
Термін календарного контролю	Тиждень 7-8	Тиждень 14-15
Умови отримання позитивної оцінки	≥ 24 бали	≥ 45 балів

3. Умови допуску до заліку: відсутність заборгованостей з лабораторних робіт 1 - 5.

Студенти, які виконали умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі студентами, які виконали умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими студентами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі проводиться семестровий контроль у вигляді заліку.

4. Відповідь на заліку оцінюється у 100 балів. Залікова робота складається з одного теоретичного питання та одного практичного завдання. Ваговий бал теоретичного питання – 50 балів, завдання – 50 балів.

Теоретична частина оцінюється таким чином:

- правильна чітко викладена, повна відповідь – (не менше 90% потрібної інформації) – 45-50 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 38-44 бали;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) – 30-37 балів;
- незадовільна відповідь – 0 балів.

Практичне завдання оцінюється таким чином:

- повне, безпомилкове розв'язування завдання – 45-50 балів;
- повне, розв'язування завдання із несуттєвими невідповідностями – 38-44 бали;
- завдання виконане з певними недоліками – 30-37 балів;
- завдання не виконано – 0 балів.

5. Рейтингова оцінка за освітній компонент за бажанням студента визначається одним з таких способів:

- 1) кількість балів, отриманих за поточний контроль, або
- 2) результат виконання залікової контрольної роботи (тоді не враховуються бали, отримані в семестрі).

Таблиця переведення рейтингових балів у оцінку за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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

Дистанційне навчання Можливе синхронне дистанційне навчання з використанням платформ для відео-конференцій та освітньої платформи для дистанційного навчання в університеті.

Інклюзивне навчання Допускається

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Стартові бали можуть бути перезараховані як результати навчання, одержані в неформальній освіті, за наявності у студента сертифікату проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою, викладач закриває відповідну частину курсу (лабораторні чи лекції). В якості прикладу, теми розділу 1-2 можуть бути зараховані за наявності сертифікату з проходження курсу «Прискорений курс з причинності: Виведення причинно-наслідкових зв'язків на основі даних спостережень» за посиланням <https://www.coursera.org/learn/crash-course-in-causality>; теми розділу 4 можуть бути зараховані за наявності сертифікату з проходження курсу «Основні методи причинно-наслідкового висновку для науки про дані» за посиланням <https://www.coursera.org/projects/essential-causal-inference-for-data-science>.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено старшим викладачем Беспалою Ольгою Миколаївною

Ухвалено кафедрою ЦТЕ (протокол № 22 від 25.06.2025)

Погоджено Методичною радою НН ІАТЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 9 від 27.06.2025)