



Сучасні методи оптимізації

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	12 Інформаційні технології
Спеціальність	122 Комп'ютерні науки та інформаційні технології
Освітня програма	Системи і методи штучного інтелекту
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити ЄКТС (лекції - 36 годин, практичні - 18 годин, СРС - 66 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: аспірант, Козирєв А. Ю., a.kozyriev@kpi.ua , antonkozyriev.me Практичні: аспірант, Козирєв А. Ю.
Розміщення курсу	Github

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна "Сучасні методи оптимізації" є невід'ємною частиною навчального плану підготовки бакалаврів з комп'ютерних наук, що має критичне значення для формування компетентностей майбутніх фахівців у сфері обчислювального інтелекту. Ця дисципліна орієнтована на надання знань та навичок, які дозволяють студентам ефективно вирішувати складні оптимізаційні задачі в різних галузях, включаючи економіку, фінанси та інформаційні технології. У рамках курсу студенти будуть вивчати сучасні градієнтні та стохастичні методи оптимізації, методи обчислювального інтелекту, такі як генетичні алгоритми та еволюційне програмування, з акцентом на останні досягнення у цих сферах.

Успішне опанування дисципліни "Сучасні методи оптимізації" надає студентам важливі загальні та фахові компетенції:

ЗК01: Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК02: Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК03: Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК06: Здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями.

ФК03: Здатність до логічного мислення, побудови логічних висновків, використання формальних мов і моделей алгоритмічних обчислень, проектування, розроблення й аналізу

алгоритмів, оцінювання їх ефективності та складності, розв'язності та нерозв'язності алгоритмічних проблем для адекватного моделювання предметних областей і створення програмних та інформаційних систем.

ФК08: Здатність проектувати та розробляти програмне забезпечення із застосуванням різних парадигм програмування: узагальненого, об'єктно-орієнтованого, функціонального, логічного, з відповідними моделями, методами й алгоритмами обчислень, структурами даних і механізмами управління.

Після завершення дисципліни студенти матимуть наступні програмні результати навчання:

ПРН22: Формалізувати змістовну задачу дослідження операцій, побудувати її математичну модель та виконати оцінку адекватності розробленої математичної моделі, застосовувати методи та моделі дослідження операцій в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень в різних предметних областях.

ПРН23: Вибирати та застосовувати відповідний метод розв'язування задачі оптимізації, знаходити її оптимальний розв'язок, коригувати модель й розв'язок на основі отриманих нових знань про задачу, обґрунтовано вибрати відповідний метод оптимізації прийняття рішень в залежності від класу моделей і розробити відповідний алгоритм.

В процесі вивчення дисципліни здобувачі вищої освіти матимуть змогу отримати:

- **знання:**

- сучасних методів безумовної та умовної оптимізації;
- сучасних методів стохастичної оптимізації, сучасних методів обчислювального інтелекту;
- прикладних задач оптимізації, генетичних алгоритмів та еволюційного програмування з орієнтиром на сучасні здобутки напряму.

- **уміння:**

- аналізувати, проектувати та будувати програмне забезпечення з використанням математичних моделей та алгоритмів оптимізації;
- застосовувати набуті знання як засоби прийняття оптимальних рішень у задачах оптимізації при аналізі даних та навчанні нейромереж для створення інтелектуальних програмних систем працюючих у режимі реального часу.

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

Вивчення дисципліни "Сучасні методи оптимізації" базується на знанні студентами основ з дисциплін "Математичний аналіз", "Лінійна алгебра" та "Обчислювальна математика", а також розуміння понять ймовірнісних процесів та математичної статистики з дисципліни "Теорія ймовірностей".

Знання та практичні навички, отримані в результаті вивчення дисципліни, використовуються в дисциплінах "Нейронні мережі" та "Методи та системи штучного інтелекту".

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Методи безумовної оптимізації

- **Тема 1.1.** Методи прямого пошуку;
- **Тема 1.2.** Методи градієнтного спуску;
- **Тема 1.3.** Методи оптимізації другого порядку.

Розділ 2. Методи умовної оптимізації

- **Тема 2.1.** Методи штрафних функцій;
- **Тема 2.2.** Методи прямого пошуку з обмеженнями.

Розділ 3. Прикладні задачі оптимізації

- **Тема 3.1.** Задачі стохастичної оптимізації;
- **Тема 3.2.** Задачі еволюційного програмування.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Попов Ю.Д., Тюття В.І., Шевченко В.І. Методи оптимізації. – К.: Ел.вид КНУ, 2003.
2. Математичні методи дослідження операцій : підручник / Є. А. Лавров, Л. П. Перхун, В. В. Шендрік та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2017.
3. Методи оптимізації : підручник / В. В. Ладогубець, Т. С. Ладогубець, О. Д. Фіногенов – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
4. Duchi, J. (2018). Introductory lectures on stochastic optimization. *IAS/Park City Mathematics Series*. <https://doi.org/10.1090/pcms/025/03>
5. Grancharova, A., & Johansen, T. A. (2012). Explicit nonlinear model predictive control. *Lecture Notes in Control and Information Sciences*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-28780-0>
6. Norkin, V., Kozyriev, A., Norkin, B.: Modern stochastic quasi-gradient optimization algorithms. *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"* 69(2), 71–83 (Mar 2024). <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2024-2-6>, <https://jais.net.ua/index.php/files/article/view/228>

Допоміжна література

7. Norkin, V.I.: Stochastic generalized-differentiable functions in the problem of non-convex nonsmooth stochastic optimization. *Cybernetics* 22(6), 804–809 (1986). <https://doi.org/10.1007/bf01068698>
8. Norkin, V.I., Pflug, G.C., Ruszczyński, A.: A branch and bound method for stochastic global optimization. *Mathematical Programming* 83(1–3), 425–450 (Jan 1998). <https://doi.org/10.1007/bf02680569>
9. Mikhalevich, V.S., Gupal, A.M., Norkin, V.I.: Methods of nonconvex optimization (2024), <https://arxiv.org/abs/2406.10406>
10. Project Jupyter Documentation. Режим доступу: <https://docs.jupyter.org>. 2024.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції
Розділ 1. Методи безумовної оптимізації	
1	Тема 1.1. Методи прямого пошуку. Класифікація методів безумовної оптимізації. Особливості евристичних методів прямого пошуку.
2	Методи поліноміальної апроксимації. Метод ДСК. Метод ДСК-Пауелла.
3	Метод випадкового пошуку. Метод Хука-Дживса. Метод Нелдера-Міда.
4	Методи паралельного підпростору. Метод спряжених напрямів Пауелла.
5	Тема 1.2. Методи градієнтного спуску. Особливості методів оптимізації першого порядку. Метод пакетного градієнтного спуску. Метод стохастичного градієнтного спуску.

6	Модифікації градієнтних методів з адаптивним кроком.
7	Квазі-градієнтні методи оптимізації. Оцінювання швидкості збіжності.
8	Субградієнтні методи оптимізації.
9	Тема 1.3. Методи оптимізації другого порядку. Особливості методів оптимізації другого порядку похідних. Метод Ньютона. Метод Марквардта.
10	Квазі-Ньютонівські методи. Метод Бройдена. Метод Бройдена - Флетчера - Гольдфарба - Шанно. Метод Девідона - Флетчера - Пауелла. Модульна контрольна робота.
Розділ 2. Методи умовної оптимізації	
11	Тема 2.1. Методи штрафних функцій. Методи штрафних функцій. Основні типи штрафів.
12	Тема 2.2. Методи прямого пошуку з обмеженнями. Методи прямого пошуку в задачах умовної оптимізації. Метод пошуку Зойтендейка. Проективні методи.
13	Методи градієнтного спуску в задачах умовної оптимізації. Метод гілок та меж для градієнтних методів.
Розділ 3. Прикладні задачі оптимізації	
14	Тема 3.1. Задачі стохастичної оптимізації. Визначення задачі стохастичної оптимізації. Стохастичне наближення за Робінсом-Монро. Стохастичне наближення за Кіфером-Вулфовіцем.
15	Прикладні задачі стохастичної оптимізації. Задачі оптимізації фінансового портфелю. Задача стохастичної квантизації.
16	Задача глибинного навчання. Математична модель штучної нейронної мережі. Алгоритм зворотного розповсюдження помилки.
17	Тема 3.2. Задачі еволюційного програмування. Генетичні алгоритми. Оператор crossover. Оператор мутації.
18	Залік

Практичні / лабораторні роботи

Метою лабораторних робіт є закріплення теоретичних положень навчальної дисципліни, отримання практичних навичок дослідження сучасних методів оптимізації та їх застосування до релевантних задач в різних галузях. В результаті виконання робіт студенти отримають досвід розв'язання задач оптимізації за допомогою власного програмного забезпечення без використання готових рішень з відкритим кодом. Успішне виконання робіт надасть досвід з аналізу, проектування та побудови програмного забезпечення для розв'язання актуальних прикладних задач: оптимізація фінансового

портфелю, квантизація (кластеризація) набору даних для виявлення ознак та навчання штучних нейронних мереж і моделей генетичних алгоритмів.

№ з/п	Назва роботи	Кількість авд. годин
1	Лабораторна робота 1. “Дослідження методів оптимізації прямого пошуку” Програмна реалізація та аналіз обраного методу оптимізації прямого пошуку. Критерії збіжності методу оптимізації. Оптимізація негладких цільових функцій.	4
2	Лабораторна робота 2. “Дослідження методів оптимізації градієнтного спуску” Програмна реалізація та аналіз обраного градієнтного, субградієнтного, або квазі-градієнтні методу. Критерії збіжності методу оптимізації. Оцінювання швидкості збіжності.	4
3	Лабораторна робота 3. “Дослідження методів оптимізації другого порядку” Програмна реалізація та аналіз обраного методу оптимізації другого порядку похідних. Критерії збіжності методу оптимізації.	3
4	Лабораторна робота 4. “Дослідження методів умовної оптимізації” Адаптація обраних методів в першій та другій лабораторних роботах до задачі умовної оптимізації. Програмна реалізація та аналіз отриманих методів.	3
5	Лабораторна робота 5. “Застосування методів оптимізації в прикладних задачах” Програмна реалізація та аналіз прикладної моделі стохастичної оптимізації або еволюційного програмування з використанням обраного методу.	4

6. Самостійна робота здобувача вищої освіти

Підготовка до захисту лабораторних робіт та контрольних заходів здійснюється під час самостійної роботи студентів (СРС) з можливістю консультування з викладачем у визначений час консультацій або за допомогою електронного листування (електронна пошта, месенджери). Перед початком виконання лабораторної роботи студент в індивідуальному порядку обирає метод оптимізації або задачу за поточною темою та узгоджує вибір з викладачем. Під час виконання лабораторної роботи **забороняється використання сторонніх пакетів** програмного забезпечення з готовою реалізацією обраного методу або задачі. **Виключенням є тільки функціонал в сторонніх пакетах для виконання матричних операцій** (наприклад, NumPy). Хоча виконання лабораторної роботи не передбачає обмежень щодо вибору мови програмування та формату звіту студента, **рекомендованим форматом звітування є [Jupyter Notebook](#)** з використанням мови програмування Python. Під час захисту лабораторної роботи студент надає звіт з описом

обраного алгоритму, результатами роботи та вихідним кодом. Оцінювання лабораторної роботи визначаються за шкалою:

- «відмінно», детальне пояснення результатів, повна відповідь на питання, правильно працююче програмне забезпечення – 10 балів;
- «добре», детальне пояснення результатів з незначними неточностями, достатньо повна відповідь на питання (не менше 75% потрібної інформації), правильно працююче програмне забезпечення – 7-9 балів;
- «задовільно», пояснення результатів із значними помилками, неповна відповідь на питання (не менше 60% потрібної інформації), працююче програмне забезпечення з помилками – 4-6 балів;
- «незадовільно», незадовільне пояснення результатів, незадовільна відповідь на питання, некоректно працююче (або відсутнє) програмне забезпечення – 0-3 бали;

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять. Відсутність на аудиторному занятті не передбачає нарахування штрафних балів, оскільки фінальний рейтинговий бал студента формується виключно на основі оцінювання результатів навчання. Разом з тим, оцінювання результатів опанування питань лекційних занять оцінюватимуться під час аудиторних занять;

Пропущені контрольні заходи оцінювання: Кожен студент має право відпрацювати пропущені з поважної причини (лікарняний, мобільність тощо) контрольні заходи. Ознайомитись з положенням про контрольні заходи детальніше за посиланням: <https://kpi.ua/files/n3277.pdf>;

Процедура проведення контрольних заходів оцінювання: Студентам під час захисту лабораторних робіт, написання модульної контрольної роботи та написання залікової роботи забороняється використання літературних джерел, та програмних засобів для пошуку інформації;

Процедура оскарження результатів контрольних заходів оцінювання: Студент може підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Студенти мають право аргументовано оскаржити результати контрольних заходів, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного;

Календарний контроль проводиться з метою підвищення якості навчання студентів та моніторингу виконання студентом вимог силабусу;

Навчання іноземною мовою: У ході виконання завдань студентам може бути рекомендовано звернутися до англійських джерел.

Академічна доброчесність: Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Порушення академічної доброчесності може призвести до анулювання робіт студента. Ознайомитись з Кодексом честі детальніше за посиланням: <https://kpi.ua/code>;

Призначення штрафних балів: за несвоєчасну подачу звіту з лабораторної роботи штрафні бали не нараховуються.

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

Семестровий контроль проводиться у вигляді заліку. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система та університетська шкала.

Поточний контроль: виконання лабораторних робіт (загалом 50 балів), МКР (20 балів).

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

Семестровий контроль: залік (30 балів).

Умови допуску до семестрового контролю: зарахування усіх лабораторних робіт, семестровий рейтинг більше 40 балів.

Для отримання заліку з навчальної дисципліни «автоматом» потрібно мати рейтинг не менше 60 балів, а також зараховані усі лабораторні роботи. Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів за умови зарахування усіх лабораторних робіт, а також ті, хто бажає підвищити оцінку, виконують залікову контрольну роботу. Умовою успішного проходження першого (13.03) та другого календарного контролю (29.04) є поточний рейтинг не менше 50% від запланованих балів на відповідний календарний контроль. Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам 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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- До загального рейтингу студента можуть бути зараховані додаткові бали за наявності (максимально 10 балів, відповідно до "[Положення про систему оцінювання результатів](#)"):
 - призових місць у змаганнях за темою дисципліни на онлайн-платформі Kaggle (10 балів);
 - призових місць у хакатонах або олімпіадах за темою дисципліни (10 балів);
 - наявність внесків коду (code contributions) до репозиторіїв [Numpy](#), [Scikit-learn](#), [Scipy](#), [PyTorch](#), [Tensorflow](#) або [JAX](#) із запропонованням нового функціоналу або виправленням багів (10 балів);
 - сертифікатів проходження дистанційних або онлайн курсів за темою дисципліни (5 балів);
- Комунікація з викладачем будується за допомогою електронної пошти або месенджеру Telegram;
- Шаблони лабораторних робіт доступні у [відкритому репозиторії](#) на платформі Github.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено аспірант, Козирев Антон Юрійович

Ухвалено кафедрою штучного інтелекту (протокол № 14 від "11" червня 2024 р.)

Погоджено Методичною комісією ННІПСА (протокол № 10 від "24" червня 2024 р.)