

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА КІБЕРНЕТИКИ
КАФЕДРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
МЕТОДИ ОПУКЛОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ / METHODS
CONVEX OPTIMIZATION

для студентів / for students

галузь знань
спеціальність
освітній рівень
освітня програма

12 «Інформаційні технології»/ Information Technologies
122 «Комп'ютерні науки»/ Computer Science
магістр / Master
«Штучний інтелект» / Artificial Intelligence

вид дисципліни вільного вибору студента (за блоками) / free choice

| | |
|--|--|
| Форма навчання | денна |
| Навчальний рік | 2019/2020 |
| Семестр | 3 |
| Кількість кредитів ECTS | 5 |
| Мова викладання, навчання та оцінювання | англійська, українська / English, Ukrainian |
| Форма заключного контролю | іспит/exam |

Викладач: д. ф.-м. н., професор Стецюк П.І. (лекції, лабораторні заняття)

Пролонговано: на 20__/20__ н. р. _____ (_____) «__»__ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н. р. _____ (_____) «__»__ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2020

Розробник: **Стецюк Петро Іванович**, д. ф.-м. н., професор кафедри інтелектуальних програмних систем.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри інтелектуальних програмних систем

_____ (підпис)  (Провотар О.І.)
(прізвище та ініціали)

Протокол № 12 від «14» травня 2020 р.

Схвалено Гарантом освітньо-наукової програми «Штучний інтелект»

_____ 

(Крак Ю.В.)

«28» 08 2020 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету комп'ютерних наук та кібернетики

Протокол від «28» серпня 2020 року № 1

Голова науково-методичної комісії

_____ (підпис) 

(Омельчук Л.Л.)
(прізвище та ініціали)

«28» серпня 2020 року

1. Мета дисципліни

Метою дисципліни «Методи опуклої оптимізації» є оволодіння знаннями та навиками застосування теорії та методів негладкої оптимізації при побудові та аналізі алгоритмів розв'язання прикладних задач оптимізації.

Discipline aim. The purpose of the discipline "Methods convex optimization" is to master the knowledge and skills of theory and methods of non-smooth optimization in the construction and analysis of algorithms for solving applied optimization problems.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни

Для успішного вивчення дисципліни «Методи опуклої оптимізації» студент повинен відповідати наступним вимогам:

1. Успішне опанування курсів: дискретна математика; лінійна алгебра та аналітична геометрія; дослідження операцій; математичний аналіз; функціональний аналіз.
2. Знання: основних понять та методів математичного програмування; основ опуклого аналізу; базових відомостей з теорії кривих другого порядку; теорії границь та функцій дійсної змінної.

Preliminary demands to master or choice of the course discipline:

To successfully study the discipline "Methods convex optimization" the student must meet the following requirements:

1. Successful mastering of courses: discrete mathematics; linear algebra and analytic geometry; Operations Research; mathematical analysis; functional analysis.
2. Knowledge: basic concepts and methods of mathematical programming; basics of convex analysis; basic information on the theory of second-order curves; theory of boundaries and functions of a real variable.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «Методи опуклої оптимізації» є складовою освітньо-професійної програми підготовки фахівців за другим (магістерським) рівнем вищої освіти у галузі знань 12 «Інформаційні технології» зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», освітньо-професійної програми «Штучний інтелект»

Дана дисципліна належить до переліку дисциплін вільного вибору студента. Викладається у 1 семестрі 2 курсу магістратури в **обсязі – 150 год., (4 кредити ECTS)** зокрема: лекції – 16 год., лабораторні – 16 год., консультації – 4 год., самостійна робота – 114 год. У курсі передбачено 3 частини. Завершується дисципліна – **іспитом**.

Synopsis of the course: The discipline "MethodsConvex Optimization" is a component of the educational-professional training program for the second (master's) level of higher education in the field of knowledge 12 "Information Technology" in the specialty 122 "Computer Science", educational-professional program "Artificial Intelligence"

This discipline belongs to the list of disciplines of free choice of the student. It is taught in the 1st semester of the 2nd year of master's degree in the amount of 150 hours, (4 ECTS credits) in particular: lectures - 16 hours, laboratory - 16 hours, consultations - 4 hours, independent work – 114 hours. The course provides 3 parts and an exam.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

знати: основні поняття про методи негладкої оптимізації та умови їх ефективного застосування в прикладних задачах оптимізації;

вміти: формувати математичні моделі прикладних оптимізаційних задач та використовувати для їх розв'язання субградієнтні методи мінімізації негладких опуклих функцій.

As a result of studying the discipline the student must:

to know: basic concepts of non-smooth optimization methods and conditions of their effective application in applied optimization problems;

be able to: formulate mathematical models of applied optimization problems and use subgradient methods to minimize non-smooth convex functions to solve them.

3. Завдання (навчальні цілі):

Набуття знань, умінь та навичок (компетентностей) на рівні новітніх досягнень у теорії методів негладкої оптимізації, відповідно до кваліфікації фахівця з інформаційних технологій. Зокрема, розвивати:

ЗК5. Здатність спілкуватися іноземною мовою.

СК19.1. Здатність систематизувати професійні знання щодо створення і супроводження програмного забезпечення

Objectives of study: Acquisition of knowledge, skills and abilities (competencies) at the level of the latest achievements in the theory of non-smooth optimization methods, in accordance with the qualification of an information technology specialist. In particular, to develop:

ЗК5. Ability to communicate in a foreign language.

СК19.1. Ability to systematize professional knowledge on software creation and maintenance.

5. Результати навчання за дисципліною:

| Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність) | | Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання | Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності) | Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни |
|---|---|--|--|--|
| Код | Результат навчання | | | |
| PH1.1 | Знати основні методи опуклої оптимізації <i>To know a basic methods convex optimization</i> | Лекція, лабораторне заняття, / Lecture, Lab. work (LW) | Поточне оцінювання, захист ЛР, іспит / Current assessment, defense LW, exam | 13 % |
| PH1.2 | Знати основні підходи до розв'язання задач опуклого програмування <i>To know an approaches to convex programming problems solving</i> | Лекція, лабораторне заняття / Lecture, LW | Захист лабораторної роботи, іспит / defense LW, exam | 13 % |
| PH1.3 | Знати програмні комплекси та системи, призначені для ефективного розв'язання задач опуклої оптимізації <i>To know software and systems for effective convex programming problems solving</i> | Лекція, лабораторне заняття, самостійна робота / Lecture, LW, individual work | Поточне оцінювання, Іспит / Current assessment, exam | 15 % |
| PH2.1 | Вміти застосовувати на практиці | Лабораторне | Захист | 15 % |

| | | | | |
|-------|--|---|---|------|
| | методи та алгоритми розв'язання задач опуклого програмування <i>Be able to apply in practice the methods and algorithms for solving convex programming problems</i> | заняття, самостійна робота <i>/LW, individual work</i> | лабораторної роботи, екзамен/ defense <i>LW, exam</i> | |
| PH2.2 | Вміти підібрати правильний програмний комплекс для ефективного розв'язання задач опуклої оптимізації <i>Be able to choose the right software package to effectively solve convex optimization problems</i> | Лабораторне заняття, самостійна робота <i>/LW, individual work</i> | Поточне оцінювання, захист ЛР, іспит <i>/ Current assessment, defense LW, exam</i> | 14 % |
| PH3.1 | Обґрунтовувати власний підхід на задачу, спілкуватись з колегами з питань побудови методів розв'язання задач <i>Justify your own approach to the problem, communicate with colleagues on the construction of methods for solving problems</i> | Лабораторне заняття <i>/LW</i> | Поточне оцінювання, захист ЛР, іспит <i>/Current assessment, defense LW, exam</i> | 10 % |
| PH4.2 | Відповідально ставитись до виконуваних робіт, нести відповідальність за їх якість <i>Be responsible for the work performed, be responsible for their quality</i> | Лабораторне заняття, самостійна робота <i>/LW, individual work</i> | Поточне оцінювання, захист ЛР <i>/Current assessment, defense LW</i> | 20 % |

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

| Результати навчання дисципліни | PH 1.1 | PH 1.2 | PH 1.3 | PH 2.1 | PH 2.2 | PH 3.1 | PH 4.2 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Програмні результати навчання | | | | | | | |
| <i>(з опису освітньої програми)</i> | | | | | | | |
| ПРН14. Застосовувати інноваційні підходи в галузі комп'ютерних наук та інформаційних технологій. <i>Apply innovative approaches in computer science and information technology</i> | | + | | + | | | + |
| ПРН19.1 Знайти й вміти застосовувати методи опуклої оптимізації <i>Find and be able to apply methods of convex optimization</i> | + | | + | | + | + | |

7. Схема формування оцінки / Evaluation scheme

7.1 Форми оцінювання студентів: / Forms of evaluation:

Семестрове оцінювання:/ semester evaluation:

- Лабораторна робота 1 / Laboratory Work 1: PH1.1, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **10 балів (points) / 6 балів (points).**
- Лабораторна робота 2 / Laboratory Work 2: PH1.1, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **10 балів (points) / 6 балів (points).**
- Лабораторна робота 3 / Laboratory Work 3: PH1.1, PH1.2, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **10 балів (points)/ 6 балів (points).**
- Лабораторна робота 4 / Laboratory Work 4: PH1.2, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **10 балів (points) / 6 балів (points).**
- Лабораторна робота 5 / Laboratory Work 5: PH1.2, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **10**

балів (points) / 6 балів (points).

6. Лабораторна робота 6 / Laboratory Work 6: PH1.2, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **10 балів (points) / 6 балів (points).**

Підсумкове оцінювання / final evaluation: іспит /exam:

- максимальна кількість балів які можуть бути отримані студентом: 40 балів;
 - результати навчання, які оцінюються / learning outcomes that are evaluated : PH1.1, PH1.2, PH2.1, PH2.2, PH3.1;
 - форма проведення і види завдань: письмова робота;
 - види завдань: 3 письмових завдання (3 теоретичних питання);
 - для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за іспит повинна бути не меншою ніж 24 бали;
 - студент не допускається до іспиту, якщо протягом семестру він набрав менше ніж 36 балів;
 - студент не допускається до іспиту, якщо протягом семестру він не виконав та не здав 100 % лабораторних робіт передбачених планом.
-
- the maximum number of points that can be obtained by a student: 40 points;
 - form of conducting and types of tasks: written;
 - types of tasks: 3 written tasks (3 theoretical questions);
 - to obtain an overall positive grade in the discipline, the grade for the exam must be not less than 24 points;
 - a student is not allowed to take the exam if he scored less than 36 points during the semester;
 - a student is not allowed to take the exam if during the semester he did not perform and did not pass 100% of the laboratory work provided by the plan.

Критерії оцінювання на іспиті / Examination criteria for the exam

| Завдання | Тема завдання | Максимальний відсоток від 40 балів | Всього відсотків |
|---------------------|--|------------------------------------|------------------|
| Завдання 1 / Test 1 | Питання по теоретичному матеріалу курсу / Questions on theoretical materials of the course | 30 % | 30 % |
| Завдання 2 / Test 1 | | 30 % | 30 % |
| Завдання 3 / Test 1 | | 40 % | 40 % |
| | | | 100% |

Запитання для підготовки до іспиту / Exam questions

1. Опуклі функції та їх властивості.
2. Поняття субградієнта та субдиференціала.
3. Яружні функції та їх приклади.
4. Субградієнтний метод Шора. Способи регулювання кроку.
5. Методи з розтягом простору в напрямку субградієнта.
6. Субградієнтний метод з кроком Поляка.
7. Субградієнтний метод з кроком Поляка в перетвореному просторі змінних.
8. Метод еліпсоїдів.
9. Прискорені модифікації методу еліпсоїдів.
10. r-алгоритми.

11. Математичне програмування: постановка задачі, види, методи розв'язання.
12. Задача лінійного програмування, методи її розв'язання.
13. Задача нелінійного програмування, методи її розв'язання.
14. Задача опуклого програмування, методи її розв'язання.
15. Мова моделювання AMPL.
16. NEOS-сервер.
17. NEOS-солвери, їх види та приклади.

1. Convex functions and their properties.
2. The concept of subgradient and subdifferential.
3. Gorge functions and their examples.
4. Subgradient Shore method. Ways to adjust the step.
5. Methods with space stretching in the direction of the subgradient.
6. Subgradient method with the step of the Pole.
7. Subgradient method with the Pole step in the transformed space of variables.
8. The method of ellipsoids.
9. Accelerated modifications of the ellipsoid method.
10. r-algorithms.
11. Mathematical programming: problem statement, types, methods of solution.
12. Linear programming problem, methods of its solution.
13. Nonlinear programming problem, methods of its solution.
14. The problem of convex programming, methods of its solution.
15. Modeling language AMPL.
16. NEOS server.
17. NEOS-solvers, their types and examples.

Лабораторні роботи / LW:

Лабораторна робота 1: Субградієнтний метод з кроком Поляка та його використання для розв'язання системи нелінійних рівнянь.

Subgradient method with the step of a Polyak's and application one to systems of the nonlinear question solving.

Лабораторна робота 2: Субградієнтний метод з кроком Поляка з перетворенням простору та його використання для розв'язання системи нелінійних рівнянь.

Subgradient method with the Polyak's step in the transformed space and application one to systems of the nonlinear question solving

Лабораторна робота 3: Метод еліпсоїдів (ME) та його застосування для розв'язання задач.

The method of ellipsoids and it applications for problems solving

Лабораторна робота 4: Мова моделювання AMPL як засіб опису задач математичного програмування.

Language of modeling AMPL as tool for mathematical programming problems description

Лабораторна робота 5: NEOS-сервер та NEOS-солвери як інтерфейси для розв'язання оптимізаційних задач.

NEOS-server and NEOS-solvers as are interfaces for optimization problems solving

Лабораторна робота 6: Розв'язання задачі нелінійного програмування з обмеженнями засобами NEOS.

Solving the problems of nonlinear programming with boundaries by NEOS tools

7.2 Організація оцінювання

Терміни проведення форм оцінювання:

1. Лабораторна робота 1 / Laboratory Work 1: до 3 тижня семестру.
2. Лабораторна робота 2 / Laboratory Work 2: до 5 тижня семестру.
3. Лабораторна робота 3 / Laboratory Work 3: до 8 тижня семестру.
4. Лабораторна робота 4 / Laboratory Work 4: до 10 тижня семестру.
5. Лабораторна робота 5 / Laboratory Work 5: до 13 тижня семестру.
6. Лабораторна робота 6 / Laboratory Work 6: до 14 тижня семестру.

Студент має право здавати лабораторні роботи протягом усього навчального семестру.

7.3 Шкала відповідності оцінок

| | |
|----------------------------------|--------|
| Відмінно / Excellent | 90-100 |
| Добре / Good | 75-89 |
| Задовільно / Satisfactory | 60-74 |
| Незадовільно / Fail | 0-59 |

8 Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і лабораторних занять

| № лекції | Назва лекції | Кількість годин | | |
|---|---|-----------------|---------------------|-------------------|
| | | Лекції | Лабораторні заняття | Самостійна робота |
| Частина 1. Субградієнтні методи з перетворенням простору Part 1. Subgradient methods with space transformation | | | | |
| 1 | Тема 1. Субградієнтний метод з кроком Поляка. Яружні функції та їх мінімізація. <i>Самостійна робота:</i> Модифікації методу еліпсоїдів та \sqrt{r} -алгоритмів. Theme 1. Subgradient method with the step of a Polyak's. Gorge functions and their minimization. <i>Individual work:</i> Modifications of the method of ellipsoids and \sqrt{r} -algorithms. | 2 | 2 | 16 |
| 2 | Тема 2. Субградієнтний метод з кроком Поляка у перетвореному просторі. Яружні функції та їх мінімізація. <i>Самостійна робота:</i> Модифікації методу еліпсоїдів та \sqrt{r} -алгоритмів. Theme 2. Subgradient method with the Polyak's step in the transformed space. Gorge functions and their minimization. <i>Individual work:</i> Modifications of the method of ellipsoids and \sqrt{r} -algorithms. | 2 | 2 | 16 |
| 3 | Тема 3. Субградієнтний метод з кроком Поляка у перетвореному просторі та його використання для розв'язання системи нелінійних рівнянь. <i>Самостійна робота:</i> 2. $\sqrt{r}(\alpha)$ -алгоритм з адаптивним кроком. Theme 3. Subgradient method with the Polyak's step in | 2 | 2 | 16 |

| | | | | |
|--|--|-----------|-----------|------------|
| | the transformed space and its use to solve a system of nonlinear equations. <i>Individual work:</i> $\overline{r}(\alpha)$ -algorithm with adaptive step. | | | |
| 4 | Тема 4. Метод еліпсоїдів. <i>Самостійна робота:</i> $\overline{r}(\alpha)$ -алгоритм з адаптивним кроком. Theme 4. The method of ellipsoids. <i>Individual work:</i> $\overline{r}(\alpha)$ -algorithm with adaptive step. | 2 | 2 | 16 |
| Всього по частині 1 Total 1 | | 8 | 8 | 64 |
| Частина 2. Мова AMPL та NEOS-сервер Part 2. Language AMPL and NEOS-server | | | | |
| 5 | Тема 5. Мова моделювання AMPL як засіб опису задач математичного програмування. <i>Самостійна робота:</i> Застосування методу еліпсоїдів для розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Theme 5. Language of modeling AMPL as tool for mathematical programming problems description. <i>Individual work:</i> Application of the ellipsoid method for solving a system of linear algebraic equations. | 2 | 2 | 18 |
| 6 | Тема 6. NEOS-сервер та NEOS-солвери як інтерфейси для розв'язання оптимізаційних задач. <i>Самостійна робота:</i> SVM та задачі оптимізації. Theme 5. NEOS-server and NEOS-solvers as are interfaces for optimization problems solving <i>Individual work:</i> SVM and optimization problems. | 2 | 2 | 16 |
| 7 | Тема 7. Розв'язання задач нелінійного програмування з обмеженнями засобами NEOS. <i>Самостійна робота:</i> Програма <i>amsq2p</i> та її застосування для розв'язання задачі SVM. Theme 5. Solving the problems of nonlinear programming with boundaries by NEOS tools. <i>Individual work:</i> The program <i>amsq2p</i> and its application to solve the SVM problem. | 4 | 4 | 16 |
| Всього по частині 2 Total part 2 | | 8 | 10 | 50 |
| Консультація Consultation | | | 4 | |
| ВСЬОГО Total | | 16 | 16 | 114 |

Загальний обсяг – 150 год., в тому числі:

Лекцій – **16 год.**

Лабораторні заняття – **16 год.**

Консультації – **4 год.**

Самостійна робота – **114 год.**

9. Рекомендовані джерела / References

Основні / Main

1. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. – М.: Наука, 1982. – 552 с.

2. Шор Н.З. Методы минимизации недифференцируемых функций и их приложения. – Киев: Наукова думка, 1979. – 200 с.
3. Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию. – М.: «Наука», 1983. – 384 с.
4. Михалевич В.С., Трубин В.А., Шор Н.З. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования. – М.: Наука, 1986. – 264 с.
5. Пшеничный Б.Н., Данилин Ю.М. Численные методы в экстремальных задачах. — М.: Наука, 1975. – 319 с.
6. Гамецкий А.Ф., Соломон Д.И. Исследование операций. Том II. – Кишинев, Еврика, 2008. – 592 с.
7. Octave [Электронный ресурс]: <http://www.octave.org>.
8. Стецюк П.И. Методы эллипсоидов и g-алгоритмы. – Кишинэу: Еврика, 2014. – 488 с.

Додаткові / Additional

1. Agmon S. The relaxation method for linear inequalities // Canadien Journal of Mathematics. – 1954. – 6. – P. 382–392.
2. Motzkin T., Schoenberg I.J. The relaxation method for linear inequalities // Canadien Journal of Mathematics. – 1954. – 6. – P. 393—404.
3. Пшеничный Б.Н. Метод линеаризации. – М.: Наука, 1983. – 136 с.
4. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. – М.: Мир, 1974. – 376 с.
5. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 535 с.