

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА КІБЕРНЕТИКИ
КАФЕДРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана
з навчальної роботи

Кашпур О.Ф.

«12» лютого 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
МЕТОДИ ОПУКЛОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ / CONVEX
OPTIMIZATION METHODS

галузь знань
спеціальність
освітній рівень
освітня програма

для студентів / for students
12 «Інформаційні технології»/ Information Technologies
122 «Комп'ютерні науки»/ Computer Science
магістр / Master
«Математичні методи штучного інтелекту» /
Mathematical Methods of Artificial Intelligence

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

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2020/2021
Семестр	4
Кількість кредитів ECTS	4
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 2021/2022 н. р. «11» 02 2021 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 № 4 від « 2 » квітня 20 20р.

Схвалено Гарантом освітньо-наукової програми «Математичні методи штучного інтелекту» _____ (Завадський І.О.)
(підпис)

« 2 » 04 20 20р

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

Протокол від « 2 » квітня 20 20 року № 9

Голова науково-методичної комісії _____ (Омельчук Л.Л.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

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 "Convex optimization methods" is to master the knowledge and skills of theory and methods of non-smooth optimization in 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 "Convex Optimization Methods" a 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 «Математичні методи штучного інтелекту».

Дана дисципліна належить до переліку дисциплін вільного вибору студента. Викладається у 2 семестрі 2 курсу магістратури в **обсязі – 120 год., (4 кредити ECTS)** зокрема: лекції – 26 год., консультації – 2 год., самостійна робота – 92 год. У курсі передбачено 2 частини. Завершується дисципліна – **іспитом**.

Synopsis of the course: The discipline "Convex Optimization Methods" 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 "Mathematical Methods of Artificial Intelligence".

This discipline belongs to the list of disciplines of free choice of the student. It is taught in the 2nd semester of the 2nd year of master's degree in the amount of 120 hours, (4 ECTS credits) in particular: lectures - 26 hours, consultations - 2 hours, independent work – 92 hours. The course provides 2 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 фахівець 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 development 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 basic methods of convex optimization</i>	Лекція / Lecture	Поточне оцінювання, іспит / Current assessment, exam	13 %
PH1.2	Знати основні підходи до розв'язання задач опуклого програмування <i>To know basic approaches to solution of convex programming problems</i>	Лекція / Lecture	Іспит / 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 solution of convex programming problems</i>	Лекція, самостійна робота / Lecture, individual work	Поточне оцінювання, іспит / Current assessment, exam	15 %
PH2.1	Вміти застосовувати на практиці методи та алгоритми розв'язання задач опуклого програмування	Самостійна робота / Individual work	Іспит / Exam	15 %

	<i>Be able to apply in practice the methods and algorithms for solution of convex programming problems</i>			
PH2.2	<i>Вміти підібрати правильний програмний комплекс для ефективного розв'язання задач опуклої оптимізації</i> <i>Be able to choose the right software package to effectively solve convex optimization problems</i>	<i>Самостійна робота</i> <i>/ Individual work</i>	<i>Поточне оцінювання, іспит</i> <i>/ Current assessment, exam</i>	14 %
PH3.1	<i>Обґрунтовувати власний підхід на задачу, спілкуватись з колегами з питань побудови методів розв'язання задач</i> <i>Justify own approach to the problem, communicate with colleagues on the development of solution methods for the problems</i>	<i>Лекція</i> <i>/ Lecture</i>	<i>Поточне оцінювання, іспит</i> <i>/ Current assessment, exam</i>	10 %
PH4.2	<i>Відповідально ставитись до виконуваних робіт, нести відповідальність за їх якість</i> <i>Be responsible for the work performed, be responsible for their quality</i>	<i>Самостійна робота</i> <i>/ Individual work</i>	<i>Поточне оцінювання</i> <i>/ Current assessment</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. Apply innovative approaches in computer science and information technology	+	+	+	+	+	+	+

7. Схема формування оцінки / Evaluation scheme

7.1 Форми оцінювання студентів: / Forms of evaluation:

Семестрове оцінювання: / semester evaluation:

1. Робота на лекціях 1-2 / Lectures 1-2 Work : PH1.1, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **9 балів (points) / 5 балів (points).**
2. Робота на лекціях 3-4 / Lectures 3-4 Work: PH1.1, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **9 балів (points) / 5 балів (points).**
3. Робота на лекціях 5-6 / Lectures 5-6 Work: PH1.1, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **9 балів (points) / 5 балів (points).**
4. Робота на лекціях 7-8 / Lectures 7-8 Work: PH1.1, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **9 балів (points) / 5 балів (points).**
5. Робота на лекціях 9-10 / Lectures 9-10 Work: PH1.1, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **9 балів (points) / 5 балів (points).**
6. Робота на лекціях 11-12 / Lectures 11-12 Work: PH1.1, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **9 балів (points) / 5 балів (points).**
7. Робота на лекції 13 / Lecture 13 Work: PH1.1, PH2.1, PH2.2, PH3.1, PH4.1 – **6 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.
- 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.

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. ϵ -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. Ravine functions and their examples.
4. Shor's subgradient method. Ways to adjust the step.
5. Methods with space dilation in the direction of the subgradient.
6. Subgradient method with Polyak's step.
7. Subgradient method with Polyak's step in the transformed space of variables.
8. The ellipsoid method.
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 solution.
13. Nonlinear programming problem, methods of solution.
14. Convex programming problem, methods of solution.
15. AMPL Modeling language.
16. NEOS server.
17. NEOS-solvers, their types and examples.

7.2 Організація оцінювання

Терміни проведення форм оцінювання:

1. Робота на лекціях 1-2 / Lectures 1-2 Work: на 1 тижні семестру.
2. Робота на лекціях 3-4 / Lectures 3-4 Work: на 1 тижні семестру.
3. Робота на лекціях 5-6 / Lectures 5-6 Work: до 2 тижня семестру.
4. Робота на лекціях 7-8 / Lectures 7-8 Work: до 2 тижня семестру.
5. Робота на лекціях 9-10 / Lectures 9-10 Work: до 3 тижня семестру.
6. Робота на лекціях 11-12 / Lectures 11-12 Work: до 3 тижня семестру.
7. Робота на лекції 13 / Lectures 13 Work: до 4 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	Самостій на 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. Самостійна робота: Модифікації методу еліпсоїдів та r -алгоритмів. Theme 1. Subgradient method with Polyak’s step. Ravine	4	13

	functions and their minimization. <i>Individual work:</i> Modifications of the ellipsoid method and $\bar{r}$ -algorithms.		
2	Тема 2. Субградієнтний метод з кроком Поляка у перетвореному просторі. Яружні функції та їх мінімізація. <i>Самостійна робота:</i> Модифікації методу еліпсоїдів та $\bar{r}$ -алгоритмів. Theme 2. Subgradient method with Polyak's step in the transformed space. Ravine functions and their minimization. <i>Individual work:</i> Modifications of the ellipsoid method and $\bar{r}$ -algorithms.	4	13
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. $\bar{r}(\alpha)$ -алгоритм з адаптивним кроком. Theme 3. Subgradient method with Polyak's step in the transformed space and its use to solve a system of nonlinear equations. <i>Individual work:</i> $\bar{r}(\alpha)$ -algorithm with adaptive step.	4	13
4	Тема 4. Метод еліпсоїдів. <i>Самостійна робота:</i> $\bar{r}(\alpha)$ -алгоритм з адаптивним кроком. Theme 4. The ellipsoid method. <i>Individual work:</i> $\bar{r}(\alpha)$ -algorithm with adaptive step.	4	13
Всього по частині 1 Total 1		16	52
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. AMPL modeling language of as a tool for description of mathematical programming problems. <i>Individual work:</i> Application of the ellipsoid method for solving a system of linear algebraic equations.	2	10
6	Тема 6. NEOS-сервер та NEOS-солвери як інтерфейси для розв'язання оптимізаційних задач. <i>Самостійна робота:</i> SVM та задачі оптимізації. Theme 6. NEOS-server and NEOS-solvers as interfaces for solution of optimization problems <i>Individual work:</i> SVM and optimization problems.	4	10
7	Тема 7. Розв'язання задач нелінійного програмування з обмеженнями засобами NEOS. <i>Самостійна робота:</i> Програма <i>amsg2p</i> та її	4	20

	застосування для розв'язання задачі SVM. Theme 7. Solution of nonlinear programming problems with constraints by NEOS server tools. <i>Individual work:</i> The program <i>amsq2p</i> and its application to solve the SVM problem.		
	Всього по частині 2 Total part 2	10	40
	Консультація Consultation		
	ВСЬОГО Total	26	92

Загальний обсяг – 120 год., в тому числі:

Лекцій – **26** год.

Консультації – **2** год.

Самостійна робота – **92** 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 r-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.