

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Факультет комп'ютерних наук та кібернетики
Кафедра теоретичної кібернетики**



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«Мультиагентні системи» / Multi-Agents systems**

для студентів / for students

галузь знань **12 «Інформаційні технології»/ Information Technologies**
спеціальність **122 «Комп'ютерні науки»/ Computer Science**
освітній рівень **магістр / Master**
освітня програма **«Штучний інтелект» / Artificial Intelligence**

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

| | |
|--|--|
| Форма навчання | денна |
| Навчальний рік | 2019/2020 |
| Семестр | 4 |
| Кількість кредитів ECTS | 4 |
| Мова викладання, навчання та оцінювання | англійська, українська / English, Ukrainian |
| Форма заключного контролю | іспит / exam |

Викладач: професор, д.т.н., с.н.с. Гуляницький Л. Ф.

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

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

КИЇВ – 2019

Розробник: Гуляницький Леонід Федорович, професор, д.т.н., с.н.с.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри теоретичної кібернетики

Ю.В. Крак (Крак Ю.В.)
(підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Протокол № 1 від « 27 » серпня 2019 р.

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

Протокол від « 30 » серпня 2019 року № 1

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

« 30 » серпня 2019 року

1 Мета дисципліни – вивчення сучасних підходів до використання ідей штучного інтелекту на основі багатоагентних моделей і прикладних методів комбінаторної оптимізації та їх застосування у техніці, наукових дослідженнях, економіці та бізнесі.

Discipline aim. The purpose of the discipline is to study modern approaches to the use of artificial intelligence ideas based on multi-agent models and applied methods of combinatorial optimization and their application in engineering, research, economics and business.

2 Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

Знати: матеріал стандартних університетських курсів математичного аналізу, лінійної алгебри, дослідження операцій та теорії прийняття рішень.

Вміти: програмувати однією з актуальних мов програмування, творчо використовувати у навчальній та дослідницькій діяльності матеріал стандартних університетських курсів математичного аналізу, лінійної алгебри та дослідження операцій.

Preliminary demands to master or choice of the course discipline:

To know: material of standard university courses in mathematical analysis, linear algebra, operations research and decision theory.

Be able to: to program in one of the current programming languages, creatively use in teaching and research activities the material of standard university courses in mathematical analysis, linear algebra and operations research.

3 Анотація навчальної дисципліни

Дисципліна "Мультиагентні системи" є складовою частиною блоку дисциплін «Штучний інтелект» з набору дисциплін вільного вибору студентів. Вона забезпечує ознайомлення з актуальними проблемами комбінаторної оптимізації, поглиблення та удосконалення знань основних принципів розробки математичних моделей та методів розв'язування задач комбінаторної оптимізації на основі багатоагентного підходу. Отримані знання можуть бути застосовані в практичному застосуванні моделей і методів комбінаторної оптимізації при розв'язуванні задач оптимального проектування, керування функціонуванням економічних та технічних об'єктів і систем, а також у виконанні наукових проектів.

Викладається у 4-му семестрі, обсяг – 120 год. (4 кредити ECTS), з них: лекції – 24 год., консультації – 4 год., самостійна робота – 92 год. Передбачено 3 частини, 2 контрольні роботи й іспит.

Synopsis of the course: The discipline "Multiagent Systems" is an integral part of the block of disciplines "Artificial Intelligence" on a set of disciplines of free choice of students. It provides acquaintance with current problems of combinatorial optimization, deepening and improving knowledge of the basic principles of development of mathematical models and methods of solving combinatorial optimization problems based on a multi-agent approach. The acquired knowledge can be applied in the practical application of models and methods of combinatorial optimization in solving problems of optimal design, management of economic and technical facilities and systems, as well as in the implementation of scientific projects.

Taught in the 4th semester, volume - 120 hours. (4 ECTS credits), of which: lectures - 24 hours, consultations - 4 hours, independent work - 92 hours. There are 3 parts, 2 tests and an exam.

4 Завдання (навчальні цілі)

Набуття знань, необхідних для вирішення проблем розробки, аналізу і обґрунтування ефективних методів розв'язання задач комбінаторної оптимізації. 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 necessary for solving problems of development, analysis and substantiation of effective methods for solving combinatorial optimization problems. 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 (РН) (1 – знати; 2 – вміти; 3 – комунікація; 4 – автономність та відповідальність) | | Форми викладання та навчання | Методи оцінювання | Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни |
|--|---|--|---|--|
| Код | Результат навчання | | | |
| РН 1.1 | Знати основні сучасні моделі комбінаторної оптимізації, зокрема, багатоагентні To know the basic modern models of combinatorial optimization, in particular, multi-agent | Лекція, самостійна робота (СР) / Lecture, Individual work (IW) | Контрольна робота (КР), іспит, робота на лекції, усні відповіді /Test, exam, work on lectures, oral answers | 20 |
| РН 1.2 | Знати, як реалізовувати й досліджувати сучасні методи комбінаторної оптимізації з використанням ШІ To know how to implement and research modern methods of combinatorial optimization using AI | | | 20 |
| РН 1.3 | Знати теоретичні основи дослідження складності обчислювальних алгоритмів Know the theoretical foundations of the study of the complexity of computational algorithms | | | |
| РН 2.1 | Вміти розробляти та обирати ефективні алгоритми комбінаторної оптимізації з використанням ідей ройового інтелекту Be able to develop and choose effective combinatorial optimization algorithms using the ideas of swarm intelligence | Лекція, СР / Lecture, IW | КР, іспит, захист проекту, перевірка завдань для СР /Test, exam, project defense, verification of tasks for the IW | 20 |
| РН 2.2 | Вміти встановлювати оцінки швидкості збіжності основних алгоритмів комбінаторної оптимізації Be able to establish estimates of the rate of convergence of basic combinatorial optimization algorithms | | Перевірка завдань для СР, КР, захист проекту / verification of tasks for the IW, test, project defense | 20 |
| РН 2.3 | Вміти застосовувати алгоритми комбінаторної оптимізації як ефективну загальну методологію підтримки прийняття рішень Be able to use combinatorial optimization algorithms as an effective general methodology for decision support | СР /IW | Перевірка завдань для СР, захист проекту /verification of tasks for the IW, project defense | 5 |
| РН3.1 | Обґрунтовувати власний погляд на досліджувану проблему, спілкуватися з колегами з питань розробки алгоритмів та програм, складати письмові звіти Justify your own view on the research problem, communicate with colleagues on the development of algorithms and programs, compile written reports | | | 5 |
| РН4.1 | Демонструвати авторитетність, інноваційність, високий ступінь самостійності, академічну та професійну доброчесність, відданість розвитку нових ідей або процесів у передових контекстах професійної та наукової діяльності. Demonstrate authority, innovation, a high degree of independence, academic and professional integrity, commitment to the development of new ideas or processes in the advanced contexts of professional and scientific activities. | | | 5 |

| | | | | |
|-------|--|--|--|---|
| PH4.2 | Ставитися відповідально до виконуваних робіт, нести відповідальність за їх якість Be responsible for the work performed, be responsible for their quality | | | 5 |
|-------|--|--|--|---|

6 Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

| Програмні результати навчання | Результати навчання дисципліни | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | PH 1.1 | PH 1.2 | PH 1.3 | PH 2.1 | PH 2.2 | PH 2.3 | PH 3.1 | PH 4.1 | PH 4.2 |
| <i>(з опису освітньої програми)</i> | | | | | | | | | |
| ПРН18.1. Знати і застосовувати методи інтелектуального аналізу даних та штучного інтелекту, що включають методи комп'ютерної лінгвістики та комп'ютерного зору. To know and apply methods of data mining and artificial intelligence, including methods of computational linguistics and computer vision | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

7 Схема формування оцінки / Evaluation scheme

7.1 Форми оцінювання студентів/ Forms of evaluation:

- семестрове оцінювання/ semester evaluation:

1. Активна робота на лекції, усні відповіді: PH1.1, PH1.2, PH1.3 – 5 балів/3 бали;
2. Виконання завдань для самостійної роботи: PH2.1, PH2.2 – 5 балів/3 бали;
3. Контрольна робота 1: PH1.1, PH1.2, PH2.1, PH2.2, PH2.3, PH3.1, PH4.1, PH4.2 – 15 балів/9 балів;
4. Контрольна робота 2: PH1.3, PH2.1, PH2.2 – 15 балів/9 балів;
5. Захист проєкту: PH2.1, PH2.2, PH2.3, PH3.1, PH4.1, PH4.2 – 20 балів/12 балів;

- підсумкове оцінювання/ final evaluation: іспит / exam.

1. Максимальна кількість балів, які можуть бути отримані: 40.
2. Результати навчання, які оцінюються: PH1.1, PH1.2, PH1.3, PH2.1.

По студентах, які набрали в семестрі менше 20 балів, виноситься рішення не допустити до складання іспиту із рекомендацією здати контрольні роботи та захистити проєкт до повторного складання іспиту. Обов'язковим є виконання завдань, винесених на самостійну роботу, та контрольних робіт за графіком робочої програми. Обов'язковим для іспиту є виконання усіх контрольних робіт та захист проєкту до дати, вказаної викладачем.

For students who scored less than 20 points in the semester, a decision is made not to admit to the exam with a recommendation to pass tests and defend the project before re-taking the exam. It is obligatory to perform the tasks assigned to independent work and control works according to the work program schedule. Mandatory for the exam is the performance of all tests and defense of the project before the date specified by the teacher

Запитання до контрольної роботи 1 / Test work 1

1. Загальна постановка задач комбінаторної оптимізації.
2. Сфери застосування задач комбінаторної оптимізації.
3. Формальне означення задач комбінаторної оптимізації.
4. Альтернативні означення комбінаторної оптимізації.
5. Моделі задач комбінаторної оптимізації.
6. Постановка задачі комівояжера.
7. Постановка задач про призначення.
8. Задачі маршрутизації транспортних засобів.

9. Поняття комбінаторного простору.
10. Простори перестановок, розміщень, сполук.
11. Обчислювальна складність задач комбінаторної оптимізації.
12. Поняття NP–складної та NP–повної задачі.
13. Приклади NP–складних та NP–повних задач комбінаторної оптимізації.
14. Класифікація алгоритмів комбінаторної оптимізації.
15. Ідея методу гілок і меж.
16. Підхід детермінованого локального пошуку.
17. Алгоритми детермінованого локального пошуку для задачі комівояжера.

1. General formulation of combinatorial optimization problems.
2. Areas of application of combinatorial optimization problems.
3. Formal definition of combinatorial optimization problems.
4. Alternative definitions of combinatorial optimization.
5. Models of combinatorial optimization problems.
6. Statement of the problem of the salesman.
7. Statement of tasks about the appointment.
8. Vehicle routing tasks.
9. The concept of combinatorial space.
10. Spaces of permutations, placements, connections.
11. Computational complexity of combinatorial optimization problems.
12. The concept of NP-complex and NP-complete problem.
13. Examples of NP-complex and NP-complete combinatorial optimization problems.
14. Classification of combinatorial optimization algorithms.
15. The idea of the method of branches and boundaries.
16. Deterministic local search approach.
17. Deterministic local search algorithms for the salesman problem

Запитання до контрольної роботи 2 /Test work 2

1. Стохастичний локальний пошук.
2. Обчислювальна схема алгоритмів СЛП та її практична реалізація.
3. Повторюваний локальний пошук.
4. Методи прискореного ймовірнісного моделювання.
5. Метаевристичні багатоагентні алгоритми.
6. Класифікації метаевристик.
7. Генетичні алгоритми.
8. Міметичні алгоритми.
9. Реалізація генетичних алгоритмів у комбінаторних просторах.
10. Коди Грея в кодуванні бінарних послідовностей.
11. Комбінаторний метод деформацій.
12. *H*-метод у задачах комбінаторної оптимізації.
13. Алгоритми оптимізації мурашиними колоніями.
14. Застосування алгоритмів ОМК до задач комівояжера.
15. Ройові алгоритми.
16. Бджолині алгоритми.
17. Кооперативні метаевристики.

1. Stochastic local search.
2. Computational scheme of SLP algorithms and its practical implementation.
3. Repeated local search.
4. Methods of accelerated probabilistic modeling.
5. Metaheuristic multi-agent algorithms.

6. Classifications of metaheuristics.
7. Genetic algorithms.
8. Mimetic algorithms.
9. Implementation of genetic algorithms in combinatorial spaces.
10. Gray codes in coding of binary sequences.
11. Combinatorial method of deformations.
12. H-method in combinatorial optimization problems.
13. Algorithms for optimization of ant colonies.
14. Application of OMK algorithms to salesman tasks.
15. Swarm algorithms.
16. Bee algorithms.
17. Cooperative metaheuristics.

7.2 Організація оцінювання:

Терміни проведення оцінювання:

1. Контрольна робота 1: до початку вивчення теми 9.
2. Контрольна робота 2: за тиждень до кінця навчального періоду.
3. Захист проекту: за два тижні до кінця навчального періоду.

У випадку відсутності з поважних причин відпрацювання та перездачі контрольні роботи здійснюються відповідно до «Положення про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу» від 1 жовтня 2010 року.

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 практичних занять

| № | Назва лекції | Кількість годин | |
|---|--|-----------------|-------------------|
| | | Лекції | Самостійна робота |
| Частина 1 Математичні моделі проблем комбінаторної оптимізації Part 1 Mathematical models of combinatorial optimization problems | | | |
| 1 | <p>Тема 1 Вступ до курсу. Загальна постановка задач комбінаторної оптимізації. Основні сфери виникнення і застосування задач комбінаторної оптимізації.</p> <p><i>Самостійна робота:</i> Альтернативні означення та місце комбінаторної оптимізації серед застосувань методів оптимізації.</p> <p>Theme 1 Introduction to the course. General formulation of combinatorial optimization problems. The main areas of origin and application of combinatorial optimization problems.</p> <p><i>Independent work:</i> Alternative definitions and place of combinatorial optimization among the applications of optimization methods.</p> | 2 | 6 |
| 2 | <p>Тема 2 Формальне означення задач комбінаторної оптимізації. Приклади моделей задач комбінаторної оптимізації.</p> <p><i>Самостійна робота:</i> Моделі: задачі комівояжера, квадратичні задачі про призначення, задачі маршрутизації транспортних засобів.</p> <p>Theme 2 Formal definition of combinatorial optimization problems. Examples of models of combinatorial optimization problems.</p> <p><i>Independent work:</i> Models: problems of a salesman, quadratic problems about purpose, problems of routing of vehicles.</p> | 1 | 6 |
| 3 | <p>Тема 3 Комбінаторні простори та їх особливості.</p> <p><i>Самостійна робота:</i> Метризація просторів перестановок, розміщень, булеана.</p> <p>Theme 3 Combinatorial spaces and their features.</p> <p><i>Independent work:</i> Metrization of permutation spaces, placements, boulevard.</p> | 1 | 6 |
| 4 | <p>Тема 4 Обчислювальна складність задач комбінаторної оптимізації.</p> <p><i>Самостійна робота:</i> Приклади NP–складних та NP–повних задач комбінаторної оптимізації.</p> <p>Theme 4 Computational complexity of combinatorial optimization problems.</p> <p><i>Independent work:</i> Examples of NP-complex and NP-complete combinatorial optimization problems.</p> | 2 | 6 |
| <i>Всього по частині 1 / Total</i> | | 6 | 24 |
| Частина 2 Траєкторні алгоритми Part 2 Trajectory algorithms | | | |
| 5 | <p>Тема 5 Класифікація алгоритмів комбінаторної оптимізації.</p> <p><i>Самостійна робота:</i> Метод гілок і меж: загальна ідея і суть методу</p> <p>Topic 5 Classification of combinatorial optimization algorithms.</p> <p><i>Independent work:</i> The method of branches and boundaries: the</p> | 1 | 6 |

| | | | |
|--|--|---|----|
| | general idea and essence of the method. | | |
| 6 | Тема 6 Детермінований локальний пошук. <i>Самостійна робота:</i> Застосування алгоритмів детермінованого локального пошуку для розв'язування задач комівояжера. Topic 6 Deterministic local search. <i>Independent work:</i> Application of deterministic local search algorithms for solving salesman's problems. | 1 | 6 |
| 7 | Тема 7 Стохастичний локальний пошук. <i>Самостійна робота:</i> Питання практичної реалізації ключових аспектів обчислювальної схеми алгоритмів СЛП. Topic 7 Stochastic local search. <i>Independent work:</i> Questions of practical realization of key aspects of the computational scheme of SLP algorithms. | 1 | 6 |
| 8 | Тема 8 Повторюваний локальний пошук. <i>Самостійна робота:</i> Методи прискореного ймовірнісного моделювання. Topic 8 Repeated local search. <i>Independent work:</i> Methods of accelerated probabilistic modeling | 1 | 6 |
| <i>Контрольна робота 1 Test 1</i> | | 2 | |
| <i>Всього по частині 2 Total</i> | | 6 | 24 |
| Частина 3 Популяційні багатоагентні алгоритми Part 3 Population multiagent algorithms | | | |
| 9 | Тема 9 Метаевристичні багатоагентні алгоритми. <i>Самостійна робота:</i> Критерії класифікації метаевристик. Topic 9 Metaheuristic multi-agent algorithms. <i>Independent work:</i> Criteria for classification of metaheuristics. | 2 | 6 |
| 10 | Тема 10 Генетичні та міметичні алгоритми. Особливості реалізації у комбінаторних просторах <i>Самостійна робота:</i> Використання кодів Грея для кодування бінарних послідовностей. Topic 10 Genetic and mimetic algorithms. Features of implementation in combinatorial spaces <i>Independent work:</i> Using Gray codes to encode binary sequences. | 1 | 6 |
| 11 | Тема 11 Комбінаторний метод деформацій. <i>Самостійна робота:</i> Приклади застосувань <i>H</i> -методу при розв'язанні прикладних задач комбінаторної оптимізації. Topic 11 Combinatorial method of deformations. <i>Independent work:</i> Examples of applications of the <i>H</i> -method in solving applied problems of combinatorial optimization. | 1 | 8 |
| 12 | Тема 12 Алгоритми оптимізації мурашиними колоніями. <i>Самостійна робота:</i> Розв'язування задач комівояжера алгоритмами ОМК. Topic 12 Algorithms for optimization of ant colonies. <i>Independent work:</i> Solving problems of the salesman by OMK algorithms. | 2 | 8 |
| 13 | Тема 13 Ройові алгоритми в комбінаторній оптимізації. <i>Самостійна робота:</i> Бджолині алгоритми. Topic 13 Swarm algorithms in combinatorial optimization. | 2 | 8 |

| | | | |
|----|---|----|----|
| | <i>Independent work: Bee algorithms.</i> | | |
| 14 | Тема 14 Кооперативні метаевристики. <i>Самостійна робота:</i> Моделе-орієнтовані алгоритми. Торіс 14 Cooperative metaheuristics. <i>Independent work:</i> Model-oriented algorithms. | 1 | 8 |
| | <i>Контрольна робота 2 Test 2</i> | 1 | |
| | <i>Всього по частині 3 Total</i> | 12 | 44 |
| | ВСЬОГО Total | 24 | 92 |

Загальний обсяг 120 годин, в тому числі:

Лекцій – **24** годин, консультації - **4** години, самостійна робота – **92** годин.

9 Рекомендовані джерела /References

Основні / Main

1. *Handbook of Metaheuristics. Third Edition* (Gendreau V., Potvin J.-Y., eds). Cham: Springer, 2019. – 604 p.
2. Talbi E.-G. *Metaheuristics: from design to implementation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 593 p.
3. Пападимитриу Х., Стайглиц К. *Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность*. М.: Мир, 1985. – 512 с.
4. Korte В., Vigen J. *Combinatorial Optimization. Theory and algorithms*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. – 597 p.
5. Гуляницький Л.Ф., Мулеса О.Ю. *Прикладні методи комбінаторної оптимізації: навч. посіб.* К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2016. – 142 с.

Додаткові

6. *Handbook of Heuristics* (Martí R., Pardalos P., Resende M. G., eds). Cham: Springer, 2018. – 1385 p
7. Сергиенко И. В., Гуляницький Л. Ф., Сиренко С. И. *Классификация прикладных методов комбинаторной оптимизации*// Кибернетика и системный анализ. – 2009. – №5, 71–83.
8. Гуляницький Л.Ф. *Решение задач комбинаторной оптимизации алгоритмами ускоренного вероятностного моделирования* // Компьютерная математика. К.: Институт кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины, 2004. – №1, 64-72.
9. Глибовець М. М., Гулаєва Н. М. *Еволюційні алгоритми: підручник*. К.: НаУКМА, 2013. – 828 с.
10. Pinteа С.-М. *Advances in Bio-inspired Computing for Combinatorial Optimization Problems*. Heidelberg: Springer, 2014. – 188 p.
11. Dorigo M., Blum С. *Ant colony optimization theory: A survey* //Theoretical Computer Science. – 2005. – 344, 243–278.
12. Гуляницький Л. Ф., Сергиенко И. В. *Метаевристический метод деформированного многогранника в комбинаторной оптимизации* // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – №6, 70-79.

Додаткові ресурси / Additional

Сторінка праць відділу комбінаторної оптимізації та інтелектуальних інформаційних технологій Інституту кібернетики ім.В.М.Глушкова НАН України

<http://icyb180.org.ua/publications/>