

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Факультет комп'ютерних наук та кібернетики  
Кафедра математичної інформатики**



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
Машинне навчання з підкріпленням/Reinforcement  
Learning**

**для студентів / for students**

галузь знань 12 “Інформаційні технології”/“Information Technologies”  
спеціальність 122 “Комп’ютерні науки”/“Computer Science”  
освітній рівень магістр/masters  
освітня програма Штучний інтелект/ Artificial Intelligent  
вид дисципліни вибіркова / free choice

Форма навчання денна  
Навчальний рік 2020/2021  
Семестр 3  
Кількість кредитів ECTS 5  
Мова викладання, навчання та оцінювання англійська, українська/  
English, Ukrainian  
Форма заключного контролю іспит/exam

**Викладачі:** асистент Бобиль Б.В.

Пролонговано: на 20 /20 н.р. ( ) « » 20 р.

**КИЇВ – 2020**

**Розробники: Бобиль Богдан Володимирович**, асистент кафедри математичної інформатики, кафедра математичної інформатики  
**Терещенко Василь Миколайович**, д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри математичної інформатики

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
Завідувач кафедри математичної інформатики

  
\_\_\_\_\_ Терещенко В.М.  
(підпис)

Протокол № 1 від «28» 08 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 \_\_\_\_\_ (Омельчук Л.Л.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«28» серпня 2020 року

**1. Мета дисципліни** «Машинне навчання з підкріпленням/Reinforcement Learning» - ознайомлення студентів з основами машинного навчання з підкріпленням, як однієї із основних галузей штучного інтелекту, та сучасними методами розв'язання задач побудови алгоритмів прийняття рішень. Підготувати студента до ефективного використання сучасних методів таких, як методи машинного навчання для створення систем штучного інтелекту у подальшій професійній діяльності; допомогти набуту навичок практичної роботи із сучасними програмними засобами для побудови інтелектуальних моделей.

/

**Discipline aim.** The aim of the discipline is to acquaint students with the basics of reinforcement learning as one of the main branches of artificial intelligence, and modern methods for solving problems of building decision-making algorithms. To prepare the student for the effective use of modern methods such as machine learning methods to create artificial intelligence systems in further professional activities; help to acquire skills of practical work with modern software for building intelligent models.

## **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. *Знати:* базові дисципліни - «Математичний аналіз», «Лінійна алгебра і геометрія», «Теорія ймовірностей і математична статистика», «Програмування», «Обчислювальна геометрія та комп'ютерна графіка», «Алгоритми і структури даних», «Машинне навчання».

2. *Вміти:* розробляти, аналізувати та застосовувати алгоритми та програмне забезпечення для розв'язання завдань та прикладних задач, використовуючи сучасні методи розробки програм.

/

1. *To know:* the basic disciplines - "Mathematical Analysis", "Linear Algebra and Geometry", "Probability Theory and Mathematical Statistics", "Programming", "Computational Geometry and Computer Graphics", "Algorithms and Data Structures", "Machine Learning" .

2. *To be able to:* develop, analyze and apply algorithms and software to solve problems and applied tasks using modern software development methods.

## **3. Анотація навчальної дисципліни / Synopsis of the course:**

Навчальна дисципліна «Машинне навчання з підкріпленням/Reinforcement Learning» є складовою освітньо-професійної програми підготовки фахівців за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 12 «Інформаційні технології» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», освітньої програми «Штучний інтелект». Вона є базовою дисципліною вузів, які спеціалізуються у галузі інформаційних та комп'ютерних технологій, а також ефективний інструмент розв'язування наукових та інженерних задач.

/

The discipline "Reinforcement Learning" is a component of the educational-professional training program at the educational-qualification level "Master" in the field of knowledge 12 "Information Technology" specialty 122 "Computer Science", educational program "Artificial Intelligence". It is a basic discipline of universities specializing in information and computer technology, as well as an effective tool for solving scientific and engineering problems.

**4. Завдання (навчальні цілі) / Objectives of study:** оволодіти нейронними мережами як одним із сучасних провідних наукових напрямків штучного інтелекту, а також оволодіти технологією розв'язання широкого класу задач науки та техніки (зокрема,

задач розпізнавання зображень, обробки природної мови, пошуку рішень, комп'ютерного зору, інтелектуального управління) за допомогою методів, підходів та алгоритмів нейронних мереж.

/

Objectives (learning objectives): to master neural networks as one of the modern leading scientific directions of artificial intelligence, and also to master technology of the decision of a wide class of problems of science and technology (in particular, problems of image recognition, natural language, processing, search of decisions, computer sight, intellectual management) by means of methods, approaches and algorithms of neural networks.

#### 5. Результати навчання за дисципліною/ Results of learning:

<b>Результат навчання (РН) (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація<sup>□</sup>; 4. автономність та відповідальність<sup>□</sup>)</b>	<b>Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання</b>	<b>Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)</b>		<b>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</b>
<b>Код</b>	<b>Результат навчання</b>			
РН 1.1	Знати постановку основних задач навчання з підкріпленням / To know the formulation of the main tasks of reinforcement learning	Лекція / Lecture	Контрольні роботи, активна робота на лекції, усні відповіді, ісnum/ Tests, active work on lectures, oral answers, exam	20%
РН 1.2	Знати основні підходи до розв'язання задач навчання з підкріпленням / To know the basic approaches to solving reinforcement learning problems	Лекція / Lecture		
РН 1.3	Знати основні поняття та методи машинного навчання / To know the basic concepts and methods of machine learning	Лекція / Lecture	Контрольні роботи, активна робота на лекції, усні відповіді, ісnum/ Tests, active work on lectures, oral answers, exam	20%
РН 1.4	Знати основні поняття та принципи роботи штучних нейронних мереж / To know the basic concepts and principles of artificial neural networks	Лекція / Lecture		
РН 2.1	Вміти проводити аналіз задачі для вибору найкращого методу її розв'язання / Be able to analyze the problem to choose the best method for solving it	Лекція, самостійна робота / Lecture, individual work	Контрольні роботи, виконання завдань, винесених на самостійну роботу, ісnum / Tests, assignments submitted for independent work, exam	20%
РН 2.2	Вміти формулювати професійні завдання на мові машинного навчання і основні формулювань базових задач навчання з	Лекція, самостійна робота / Lecture, individual work	Контрольні роботи, виконання завдань, винесених на самостійну роботу, ісnum / Tests,	20%

	підкріпленням/ Be able to formulate professional tasks in the language of machine learning and on the basis of formulations of basic problems of reinforcement learning		assignments submitted for independent work, exam	
PH 2.3	Вміти застосовувати методи машинного навчання для розв'язання прикладних задач/ Be able to apply machine learning methods to solve applied problems	Лекція, самостійна робота/ Lecture, individual work	Контрольні роботи, активна робота на лекції, усні відповіді, іспит/ Tests, active work on lectures, oral answers, exam	20%

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін, які не входять до блоків спеціалізації) // Correspondence between learning results and program study results**

Результати навчання дисципліни	PH 1.1	PH 1.2	PH 1.3	PH 1.4	PH 2.1	PH 2.2	PH 2.3
<b>Програмні результати навчання</b>							
<i>(з опису освітньої програми)</i>							
<b>ПР2.</b> Використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації за галузями. / Use a modern mathematical apparatus of continuous and discrete analysis, linear algebra, analytical geometry, in professional activities to solve problems of theoretical and applied nature in the design and implementation of information objects by industry.	+	+	+	+	+	+	+

**7. Схема формування оцінки.**

**7.1. Форми оцінювання студентів:**

**- семестрове оцінювання:**

1. Активна робота на лекції, усні відповіді: PH1.1, PH1.2, PH1.3, PH1.4, PH2.3 – 15 балів / 9 балів;
2. Виконання завдань, винесених на самостійну роботу: PH2.1, PH2.2 – 10 балів / 6 балів;
3. Контрольна робота 1: PH1.1, PH1.2, PH2.1 – 15 балів / 9 балів;
4. Контрольна робота 2: PH1.3, PH2.2 – 15 балів / 9 балів;
5. Контрольна робота 3: PH1.4, PH2.3 – 15 балів / 9 балів;

Здобувач освіти може бути недопущений до підсумкового оцінювання, якщо під час семестру він: 1) не досяг мінімального порогового рівня (60%) оцінки тих результатів навчання, які не можуть бути оцінені під час підсумкового контролю; 2) набрав кількість балів, що є недостатньою для отримання позитивної оцінки навіть у випадку досягнення ним на підсумковому контролі максимально можливого результату.

Рекомендований мінімум – 36 балів

/

1. Active work on lectures, oral answers: LO1.1, LO1.2, LO1.3, LO1.4, LOH2.3 – 15 points / 9 points;

2. *Assignments submitted for independent work*: LO2.1, LO2.2 – 10 points / 6 points;
3. *Test 1*: LO 1.1, LO 1.2, LO2.1 - 15 points / 9 points.
4. *Test 2*: LO1.3, LO2.2 - 15 points / 9 points.
5. *Test 5*: LO1.4, LO2.3 - 15 points / 9 points.

An applicant may not be admitted to the final assessment if during the semester he: 1) has not reached the minimum threshold level (60%) of the assessment of those learning outcomes that cannot be assessed during the final control; 2) scored the number of points, which is insufficient to obtain a positive assessment, even if he achieves the maximum possible result in the final control.

The recommended minimum is 36 points.

- **підсумкове оцінювання**: іспит.

- *максимальна кількість балів які можуть бути отримані студентом*: 40 балів;

- *результати навчання які будуть оцінюватись*: PH1.1, PH1.2, PH1.3, PH1.4, PH2.1, PH2.2, PH2.3;

- *форма проведення і види завдань*: письмова робота.

Рекомендований мінімум – 24 балів.

/

- **final assessment: exam.**

- the maximum number of points that can be obtained: 40 points;

- learning outcomes that will be evaluated: LO1.1, LO1.2, LO1.3, LO1.4, LO2.1, LO2.2, LO2.3;

- form and types of tasks: written work.

The recommended minimum is 24 points.

**Види завдань: 4 письмових питання.**

- 1 питання: PH1.1, PH1.3, PH2.1;
- 2 питання: PH1.2, PH1.3, PH2.2;
- 3 питання: PH1.3, PH1.3, PH2.3;
- 4 питання: PH1.4, PH2.1, PH2.2, PH2.3;

За розгорнуту відповідь на кожне завдання студент може отримати від 1 до 10 балів.

Критерії оцінювання відповіді студента на питання:

- повнота розкриття питання – 1-4 бали;
- логіка викладення – 1-2 бали;
- аналітичні міркування – 1-4 бали.

/

**Types of tasks: 4 written questions.**

- 1th question: LO1.1, LO1.3, LO2.1;
- 2nd question: LO1.2, LO1.3, LO2.2;
- 3rd question: LO1.3, LO1.3, LO2.3;
- 4th question: LO1.4, LO2.1, LO2.2, LO2.4.

For a detailed answer to each task, a student can receive from 1 to 10 points.

Criteria for evaluating the student's answer to the question:

- completeness of the question – 1-4 points;
- logic of presentation – 1-2 points;
- analytical considerations – 1-4 points.

## 7.2. Організація оцінювання:

### Терміни проведення форм оцінювання:

1. Активна робота на лекції, усні відповіді: протягом семестру;
2. Виконання завдань, винесених на самостійну роботу: протягом семестру;
3. Контрольна робота 1: РН1.1, РН1.2, РН2.1 – до 5 тижня семестру;
4. Контрольна робота 2: РН1.3, РН2.2 – до 10 тижня семестру;
5. Контрольна робота 3: РН1.4, РН2.3 – до 14 тижня семестру;

Студент має право на одне перескладання кожної контрольної роботи із можливістю отримання максимально 80% початково визначених за цю контрольну роботу балів. Термін перескладання визначається викладачем.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перездачі контрольних робіт здійснюються у відповідності до „Положення про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу” від 1 жовтня 2010 року.

/

### Terms of evaluation forms:

1. Active work on lectures, oral answers: during the semester;
2. Assignments submitted for independent work: during the semester;
3. Test 1: up to 5 weeks of the semester..
4. Test 2: up to 10 weeks of the semester..
5. Test 5: up to 14 weeks of the semester..

he student has the right to one retake of each test with the possibility of obtaining a maximum of 80% of the points initially determined for this test. The term of reassembly is determined by the teacher.

In case of absence of a student for valid reasons working off and transfer of tests are carried out according to "Regulations on the order of an estimation of knowledge of students at the credit-modular system of the organization of educational process" from October 1, 2010.

## 7.3 Шкала відповідності оцінок / Rating scale:

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

## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій

### / The structure of the discipline. Thematic plan of lectures and independent work

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин		
		Лекції	Семінари/ лабораторні	Самостійна робота
<b>Частина I. Компоненти нейронної мережі/ Module I. "Components of a neural network"</b>				
1	<b>Тема 1.</b> Вступ до штучних нейронних мереж/ Introduction to artificial neural networks. <i>Самостійна робота:</i> Провести аналіз програми і змісту курсу та рекомендованої літератури.	2		10

	<p>/</p> <p><b>Theme 1.</b> Introduction to artificial neural networks. <i>Individual work:</i> To analyze the program and course content, as well as recommended literature.</p>			
2	<p><b>Тема 2.</b> Представлення даних для нейронної мережі <i>Самостійна робота:</i> Описати вхідні дані у форматі, придатному для сприйняття нейронною мережею.</p> <p>/</p> <p><b>Theme 2.</b> Representation of data for neural networks. <i>Individual work:</i> To describe the input data using in the format applicable for the neural networks.</p>	2		10
3	<p><b>Тема 3.</b> Лінійний та згортковий шари нейронної мережі. <i>Самостійна робота:</i> Для прикладів зображень застосувати згортковий шар та лінійний шар.</p> <p>/</p> <p><b>Theme 3.</b> Linear and convolutional layers of a neural network. <i>Individual work:</i> To apply linear and convolutional layers to examples of images.</p>	4		12
4	<p><b>Тема 4.</b> Функції активації, методи зменшення просторової розмірності розмірності, рекурентні шари. <i>Самостійна робота:</i> Застосовувати функції активації та методи зменшення розмірності - max pooling, average pooling, рекурентні шари - LSTM, GRU</p> <p>/</p> <p><b>Theme 4.</b> Activation functions and spatial downsampling methods, recurrent layers. <i>Individual work:</i> To apply activation functions and downsampling methods - max pooling, average pooling, recurrent layers - LSTM, GRU.</p>	4		12
<i>Контрольна робота 1/ Control work 1</i>		2		
<b>Частина II. Тренування нейронних мереж та оцінка якості/ Module II. Training and evaluation of neural networks</b>				
5	<p><b>Тема 5.</b> Поняття функції втрат, основні типи алгоритмів навчання. <i>Самостійна робота:</i> Застосувати необхідну функцію втрат відповідно до задачі, обрати необхідний метод навчання та виставити необхідні параметри для збіжності.</p> <p>/</p> <p><b>Theme 5.</b> Loss functions, main types of learning algorithms. <i>Individual work:</i></p>	2		12



	Apply loss functions and setup applicable learning algorithm for the task.			
6	<p><b>Тема 6.</b> Основні метрики для оцінки якості - точність, precision, recall, PR-крива, кросс-валідація.  <i>Самостійна робота:</i>  Опрацювати методи оцінювання якості.  /</p> <p><b>Theme 6.</b> Main evaluation metrics - accuracy, precision, recall, PR-curve, cross-validation  <i>Individual work:</i>  To develop methods of evaluation.</p>	2		12
7	<p><b>Тема 7.</b> Підготовка навчальної та тестової вибірки.  <i>Самостійна робота:</i>  Опрацювати методи підготовки вибірок даних.  /</p> <p><b>Theme 7.</b> Preparation of training and testing datasets  <i>Individual work:</i>  To develop methods of dataset preparation.</p>	2		10
8	<p><b>Тема 8.</b> Поняття перенавчання, методи стабілізації процесу навчання та покращення збіжності.  <i>Самостійна робота:</i>  Опрацювати алгоритми покращення збіжності.  /</p> <p><b>Theme 8.</b> Overfitting, stabilization methods for training.  <i>Individual work:</i>  To develop algorithms for training stabilization.</p>	2		12
<i>Контрольна робота 2/ Control work 2</i>		2		
<b>Частина III. Застосування методів машинного навчання для вирішення задач навчання з підкріпленням/</b> <b>Module III. Application of machine learning methods for solving of tasks of reinforcement learning</b>				
9	<p><b>Тема 10.</b> Постановка задачі машинного навчання з підкріпленням.  <i>Самостійна робота:</i>  Опрацювати основні задачі машинного навчання з підкріпленням та основні поняття - навчання моделей, функції винагороди.  /</p> <p><b>Theme 10.</b>The main tasks of reinforcement learning.  <i>Individual work:</i>  To develop the main tasks of reinforcement learning and main definitions - training of models, reward functions.</p>	4		12
10	<p><b>Тема 11.</b> Огляд основних архітектур.  <i>Самостійна робота:</i>  Опрацювати основні типи архітектур.  /</p> <p><b>Theme 11.</b>Review of the main architectures.  <i>Individual work:</i>  To develop the main types of architectures.</p>	4		12
<i>Контрольна робота 3</i>		2		

ВСЬОГО	34	114
--------	----	-----

Загальний обсяг 150 *годин*, в тому числі:

Лекцій – 34 *годин*.

Консультації – 2 год.

Самостійна робота – 114 *годин*.

## 9. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

### *Основні / Main:*

1. Ian Goodfellow. Deep Learning, MIT Press, 2017
2. Richard Szeliski. Computer Vision: Algorithms and Applications, Springer, 2010
3. Дэвид А. Форсайт, Жан Понс. Компьютерное зрение. Современный подход, 2004
4. Линда Шапиро, Джордж Стокман. Компьютерное зрение. Лаборатория знаний. 2013
5. Stephen Marsland. Machine Learning: An Algorithmic Perspective, 452 p., 2015.
6. Christopher M Bishop. Pattern recognition. Machine Learning, 128 p., 2006.
7. Ethem Alpaydin. Introduction To Machine Learning, 584 p., 2009.
8. Tom M. Mitchell. Machine Learning [<http://www.cs.cmu.edu/~tom/mlbook.html>]
9. Yaser S. Abu-Mostafa. Learning from data, 215 p., 2017
10. Alex Smola. Introduction to Machine Learning, 234 p., 2008.
11. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: Вильямс, 2005. – 864 с.
12. Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction, 764 p., 2008.

### *Додаткові / Additional:*

13. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 452 с.
14. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход . – М.: Вильямс, 2006. – 1408 с.
15. Simon J.D. Prince. Computer Vision: Models, Learning, and Inference.- Cambridge: Cambridge University Press. - 567 p.- 2017.[ <http://www.cambridge.org/>].
16. Andrej Karpathy. The unreasonable effectiveness of recurrent neural networks. <http://karpathy.github.io/2015/05/21/rnn-effectiveness/>, 2015. Online; accessed 11-December.
17. Andrew Moore. Statistical Data Mining Tutorials [<http://www.autonlab.org/tutorials/>]
18. Pierre Baldi and Søren Brunak. Chapter 6. Neural networks: applications. In Bioinformatics: The Machine Learning Approach. MIT press, 2001.