

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА КІБЕРНЕТИКИ
Кафедра математичної інформатики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана
з навчальної роботи

Кашпур О.Ф.

» серпень 2020 року



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Штучний інтелект: принципи та методи /
The Principles and Methods of Artificial Intelligence
для студентів / for students

галузь знань
спеціальність
освітній рівень
освітня програма

12 "Інформаційні технології"/"Information Technologies"
122 "Комп'ютерні науки"/"Computer Science"
магістр/masters
Математичні методи штучного інтелекту/
Mathematical methods of Artificial Intelligence
обов'язкова / compulsory

вид дисципліни

Форма навчання **денна**
Навчальний рік **2020/2021**
Семестр **1**
Кількість кредитів ECTS **5**
Мова викладання, навчання
та оцінювання **англійська, українська /**
English, Ukrainian
Форма заключного контролю **іспит/exam**

Викладачі: **професор Марченко Олександр Олександрович, д.ф.-м.н.**

Пролонговано: на 20 21/20 22 н.р. (Олександр Кашпур О.Ф.) « 11 » 02 20 21 р.
на 20 /20 н.р. () « » 20 р.

КИЇВ – 2020

© Марченко О.О., 2020 рік

Розробник: **Марченко Олександр Олександрович**, д.ф.-м.н., професор кафедри математичної інформатики

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри математичної інформатики

(підпис) (Терещенко В. М.)
(прізвище та ініціали)

Протокол № 3 від «21» травня 2020 р.

Схвалено Гарантом освітньо-наукової програми «Математичні методи штучного

інтелекту» _____ (Завадський І.О.)
(підпис)

«28» серпня 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 – “Штучний інтелект: принципи та методи” є отримання необхідних знань з сучасних інформаційних інтелектуальних технологій та навичок їх практичного застосування для досліджень та програмування процесів розв’язання складних задач обробки інформації.

/ Discipline aim. The aim of the discipline "The Principles and Methods of Artificial Intelligence" is to obtain the necessary knowledge of modern intelligent information technology and skills of their practical application for research and programming processes for solving complex problems of information processing.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності):
Preliminary demands to master or choice of the course discipline:

1. Знати: основи програмування, дискретної математики, теорії імовірностей, побудови та аналізу алгоритмів.

2. Вміти застосовувати інформаційні технології та мови програмування для розв’язання прикладних задач та проведенні наукових досліджень.

3. Володіти елементарними навичками із складення та аналізу алгоритмів, та програмування на мовах Python, Java, C++ .

/

1. To know: basics of Programming, Discrete Mathematics, Probability Theory, Construction and analysis of algorithms.

2. Be able to use information technology and programming languages to solve applied problems and conduct research.

3. Have basic skills in developing and analysis of algorithms, and programming in Python, Java, C ++.

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

Навчальна дисципліна “Штучний інтелект: принципи та методи” є складовою підготовки фахівців за другим (магістрським) рівнем вищої освіти галузі знань 12 „Інформаційні технології” зі спеціальності 122 „Комп’ютерні науки”, освітньо-наукової програми „Математичні методи штучного інтелекту”.

Дана дисципліна є обов’язковою навчальною дисципліною за **програмою “Математичні методи штучного інтелекту”**.

(5 кредитів ECTS) зокрема: лекції – 26 год., лабораторні – 12 год., консультації – 2 год, самостійна робота 110 год.. У курсі передбачено 2 змістових частини та 2 контрольні роботи. Завершується дисципліна – **екзаменом в 1 семестрі**.

/ The discipline " The Principles and Methods of Artificial Intelligence " is a component of the educational and 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 and professional program " Mathematical methods of Artificial Intelligence ".

This course is a compulsory course in the program "Mathematical methods of Artificial Intelligence".

(5 ECTS credits) in particular: lectures - 26 hours, laboratory - 12 hours, consultations - 2 hours, Individual work – 110 hours. The course includes 2 content modules and 2 module tests. The discipline ends with an exam in the 1st semester.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

знати основні моделі, методи та алгоритми, що використовуються для побудови систем штучного інтелекту.

вміти розробляти системи штучного інтелекту з використанням сучасних технологій та мов програмування (спеціалізованих бібліотек для розробки моделей машинного навчання, обробки природної мови і т.д.).

/

As a result of studying the discipline the student must:

know the basic models, methods and algorithms used to build artificial intelligence systems.

be able to develop artificial intelligence systems using modern technologies and programming languages (specialized libraries for the development of models of machine learning, natural language processing, etc.).

4. Завдання (навчальні цілі): /Objectives of study:

набуття знань, умінь та навичок (компетентностей) на рівні новітніх досягнень у штучному інтелекті, відповідно до кваліфікації фахівця з інформаційних технологій. Зокрема, розвивати:

- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК3);
- здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями (ЗК6);
- здатність вирішувати складні задачі інтелектуальної обробки даних з використанням еволюційного моделювання, нейромережних технологій, застосування обчислювального інтелекту для розв'язання практичних задач в різних галузях професійної діяльності (СК8);
- здатність аналізувати та використовувати математичні методи штучного інтелекту (СК18).

acquisition of knowledge, skills and abilities (competencies) at the level of the latest achievements in artificial intelligence, in accordance with the qualification of an information technology specialist. In particular, to develop:

- knowledge and understanding of the subject area and understanding of professional activity (LC3);
- ability to learn and master modern knowledge (LC6);
- ability to solve complex problems of intellectual data processing using evolutionary modeling, neural network technologies, application of computational intelligence to solve practical problems in various fields of professional activity (SC8);
- ability to analyze and use mathematical methods of artificial intelligence (SC18).

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

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4.	Форми (та/або	Методи	Відсоток у
---	---------------	--------	------------

автономність та відповідальність)		методи і технології викладання і навчання	оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	підсумкові й оцінки з дисципліни
Код	Результат навчання			
PH1.1	Знати основні поняття та підходи штучного інтелекту / Know the basic concepts and approaches of artificial intelligence	Лекція, лабораторне заняття/ Lecture, laboratory work	Тест, 60% правильних відповідей, Іспит / Test, 60% correct answers, exam	16%
PH1.2	Знати основні моделі та методи штучного інтелекту/ Know the basic models and methods of artificial intelligence	Лекція, лабораторне заняття/ Lecture, laboratory work	Тест, 60% правильних відповідей, Іспит / Test, 60% correct answers, exam	15%
PH1.3	Знати основні технології штучного інтелекту, засоби представлення даних/ знань, фреймворки / Know the basic technologies of artificial intelligence, models of presenting data / knowledge, frameworks	Лекція, лабораторне заняття/ Lecture, laboratory work	Тест, 60% правильних відповідей, Іспит / Test, 60% correct answers, exam	20%
PH2.1	Вміти застосовувати на практиці інструментальні програмні засоби побудови систем штучного інтелекту./ Be able to apply in practice the software tools for building artificial intelligence systems.	Лабораторне заняття, самостійна робота/ Laboratory work, Individual work	Захист лабораторної роботи, Іспит / laboratory work defense, exam	23%
PH3.1	Обґрунтовувати власний погляд на задачу, спілкуватися з колегами з питань проектування та розробки систем ШІ, складати письмові звіти/ Justify your own view on the task, communicate with colleagues on the design and development of AI systems, write technical reports	Лабораторне заняття/ Laboratory work	Поточне оцінювання, захист ЛР/ Current evaluation, laboratory work defense	10%
PH4.1	Організовувати свою самостійну роботу для досягнення результату/ Organize your independent work to achieve results	Самостійна робота/ Individual work	Поточне оцінювання, Захист лабораторної роботи/ Current evaluation, laboratory work defense	8%
PH4.2	Відповідально ставитися до виконуваних робіт, нести відповідальність за їх якість/ Be responsible for the work performed, be responsible for its quality	Лабораторна робота/ Laboratory work	Захист лабораторної роботи/ laboratory work defense	8%

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни	РН 1.1	РН 1.2	РН 1.3	РН 2.1	РН 3.1	РН 4.1	РН 4.2
Програмні результати навчання							
<i>(з опису освітньої програми)</i>							
ПРН3. Опанувати нові інструменти роботи з даними, здійснюючи обробку веб-логів, текст-аналіз і машинне навчання, для прогнозування бізнес-процесів та ситуаційного управління, сентимент-аналізу відгуків, розробки рекомендаційних систем для сфери електронної комерції, медіа, соціальних мереж, банкінгу, реклами тощо./ Master new tools for working with data, processing web logs, text analysis and machine learning, for forecasting business processes and situational management, sentiment analysis of feedback, development of recommendation systems for e-commerce, media, social networks, banking, advertising etc.	+		+	+			+
ПРН10. Використовувати інтелектуальні агенти, мультиагентні системи, машинне навчання та самонавчання, генетичні, кооперативні та розподілені еволюційні алгоритми для комп'ютерного розв'язання задач, що вимагають людського рівня мислення./ Use intelligent agents, multi-agent systems, machine learning and self-learning, genetic, cooperative and distributed evolutionary algorithms to solve computer problems that require a human level of thinking.		+		+	+	+	+
ПРН16. Знати та вміти застосовувати математичні методи штучного інтелекту. / Know and be able to apply mathematical methods of artificial intelligence.	+	+	+	+			

7. Схема формування оцінки. Evaluation scheme.

7.1 Форми оцінювання студентів:

Forms of student assessment

- семестрове оцінювання:

1. Контрольна робота (тест) 1: PH 1.1, PH 1.2 — 11 балів/6 балів.
2. Контрольна робота (тест) 2: PH1.3 - 10 балів/6 балів.
3. Лабораторна робота 1 (проект): PH 2.1, PH3.1, PH4.1, PH4.2 – 13 балів/7 балів.
4. Лабораторна робота 2 (проект): PH 2.1, PH3.1, PH4.1, PH4.2 – 13 балів/7 балів.
5. Лабораторна робота 3 (проект): PH 2.1, PH3.1, PH4.1, PH4.2 – 13 балів/7 балів.

- semester assessment:

1. Test (test) 1: PH 1.1, PH 1.2 - 11 points / 6 points.
2. Test (test) 2: PH1.3 - 10 points / 6 points.
3. Laboratory work 1 (project): PH 2.1, PH3.1, PH4.1, PH4.2 - 13 points / 7 points.
4. Laboratory work 2 (project): PH 2.1, PH3.1, PH4.1, PH4.2 - 13 points / 7 points.
5. Laboratory work 3 (project): PH 2.1, PH3.1, PH4.1, PH4.2 - 13 points / 7 points.

- підсумкове оцінювання (у формі іспиту):

- максимальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом: 40 балів;
 - результати навчання, які будуть оцінюватись: PH1.1, PH1.2, PH1.3, PH2.1;
 - форма проведення і види завдань: письмова робота.
- Види завдань: 8 тестових та 6 письмових завдань.

- final assessment (in the form of an exam):

- the maximum number of points that can be obtained by a student: 40 points;
 - learning outcomes that will be evaluated: PH1.1, PH1.2, PH1.3, PH2.1;
 - form and types of tasks: written work.
- Types of tasks: 8 test and 6 written tasks.

Критерії оцінювання на іспиті

Завдання Task	Тема завдання Topic	Максимальний відсоток від 40 балів Maximum percentage from 40 points	Всього відсотків Total percentage
Завдання 1 Task 1	Письмове запитання з БД./БЗ Written task on DB/KB	По 7%	28%
Завдання 2, 3, 4 Tasks 2,3,4	Письмові запитання з синтаксичного аналізу Written task on parsing		
Завдання 5, 6, 9, 10, 12 Tasks 5, 6, 9, 10, 12	Тестове завдання з динамічного програмування Written task on Dynamic programming	По 5%	35%
Завдання 7, 8 Tasks 7, 8	Тестові завдання з Марківських прихованих моделей Written task on HMM		
Завдання 11 Task 11	Методи машинного навчання. Модель Байєса	10%	10%

	Written task on Naïve Bayes model		
Завдання 13 Task 13	Методи машинного навчання. Максимальна ентропія Machine learning/ Maximum entropy	15%	15%
Завдання 14 Task 14	Семантичний аналіз Semantic analysis	12%	12%
			100%

Запитання для підготовки до іспиту

1. Інтелект. Поняття та визначення. Intelligence. Conception and definitions.
2. Штучний інтелект. Основні задачі. Artificial intelligence. Main tasks.
3. Архітектура інтелектуальної системи лінгвістичного аналізу. Architecture of the intellectual system of linguistic analysis.
4. Морфологічний аналіз. Morphological analysis.
5. Моделі представлення синтаксису природної мови. Models for representation of the syntax of the natural language.
6. Синтаксичний аналіз. Syntax analysis.
7. Висхідний синтаксичний аналіз. Bottom-up parsing.
8. Низхідний аналіз. Алгоритм Ерлі. Top-down parsing. Early algorithm
9. Алгоритм Кока-Янгера-Касамі. Cock-Younger-Kasami algorithm.
10. Семантико-синтаксичний варіант алгоритму СΥΚ. Semantic-syntactic modification of the CYK algorithm.
11. Семантичний аналіз тексту. Semantic analysis of the text
12. Онтології. Ontology.
13. Формат онтологій. Модально-рольові відношення. Format of ontologies. Modal-role relationships.
14. Міри семантичної близькості. Measures of semantic proximity.
15. Латентний семантичний аналіз. Latent semantic analysis.
16. Невід'ємна матрична факторизація. Алгоритм Лі-Сунгра. Non-negative matrix factorization. Algorithm of Lee and Seung
17. Невід'ємна тензорна факторизація. Non-negative tensor factorization.
18. Кластеризація. Алгоритми кластеризації. Clustering. Clustering algorithms.
19. Ієрархічна класифікація. Висхідна та низхідна стратегія. Алгоритм k-means. Hierarchical classification. Ascending and descending strategy. The k-means algorithm.
20. Класифікація. Алгоритми класифікації. Classification. Classification algorithms.
21. Машинне навчання. Моделі та методи машинного навчання. Machine learning. Models and methods of machine learning.
22. Наївна Бассівська модель. Naïve Bayes generative model
23. Модель максимальної ентропії. Maximum entropy model.
24. Приховані марківські моделі. Hidden Markov Models.
25. Алгоритм Вітербі. Viterbi algorithm.
26. Алгоритм Forward-Backward. Forward-Backward algorithm.
27. Алгоритм Ваум–Велч. Baum–Welch algorithm.

Умови лабораторних робіт:

Лабораторна робота 1: Розробка програм розмітки слів речень по частинам мови.

Лабораторна робота 2: Реалізація алгоритмів синтаксичного аналізу із застосуванням динамічного програмування.

Лабораторна робота 3: Побудова системи sentiment аналізу, рекомендаційної системи, системи кластеризації текстових корпусів і т.д.

Laboratory work 1: Development of sentence marking programs for parts of speech.

Laboratory work 2: Implementation of parsing algorithms using dynamic programming.

Laboratory work 3: Construction of sentiment analysis system, recommendation system, text clustering system, etc.

Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше ніж 24 балів. Студент допускається до екзамену за умови виконання 70% передбачених планом лабораторних робіт.

A student is not allowed to the exam if he / she scored less than 24 points during the semester. The student is admitted to the exam provided that 70% of the planned laboratory work is completed.

7.2 Організація оцінювання: / Evaluation organization:

Терміни проведення форм оцінювання:

1. Контрольна робота (тест): до 7 тижня семестру.
2. Контрольна робота (тест): до 14 тижня семестру.
3. Лабораторна робота 1 (проект): до 5 тижня семестру.
4. Лабораторна робота 2 (проект): до 10 тижня семестру.
5. Лабораторна робота 3 (проект): до 14 тижня семестру.

Terms of evaluation forms:

1. Test (test): up to 7-th week of the semester.
2. Test (test): up to 14-th week of the semester.
3. Laboratory work 1 (project): up to 5-th week of the semester.
4. Laboratory work 2 (project): up to 10-th week of the semester.
5. Laboratory work 3 (project): up to 14-th week of the semester.

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.

У разі неякісного виконання лабораторної роботи, викладач має право не зарахувати лабораторну роботу, або знизити за неї бали.

Студент має право здавати лабораторні роботи після закінчення визначеного для них терміну, але з втратою одного балу за кожен тиждень, який пройшов з моменту закінчення терміну її здачі.

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

In case of absence of the student for valid reasons working off and retaking of control works 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.

In case of poor performance of laboratory work, the teacher has the right not to enroll in laboratory work, or to reduce scores for it.

The student has the right to take laboratory works after the expiration of the term set for them, but with the loss of one point for each week that has passed since the expiration of its submission.

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	Лаборатор. заняття	Сам. р-та
Part 1. Algorithmic foundations of artificial intelligence				
Частина 1. Алгоритмічні основи штучного інтелекту				
1.	Тема 1. Інтелект. Основні поняття та визначення Topic 1. Intelligence. Conception and definitions. Самостійна робота: Нейронні мережі. Independent work: Neural networks.	1		6
2.	Тема 2. Штучний інтелект. Основні задачі Topic 2. Artificial intelligence. Main tasks. Самостійна робота: Нейронні мережі. Independent work: Neural networks.	1		6
3.	Тема 3. Архітектура інтелектуальних систем лінгвістичного аналізу. Морфологічний аналіз Topic 3. Architecture of the intellectual system of linguistic analysis. Morphological analysis. Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №1. Independent work: Execution of laboratory work №1.	2		6
4.	Тема 4. Моделі представлення синтаксису природної мови. Синтаксичний аналіз Topic 4. Models for representation of the syntax of the natural language. Syntax analysis. Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №1 Independent work: Execution of laboratory work №1.	2		6
5.	Тема 5. Висхідний та нисхідний аналіз Алгоритм Ерлі Topic 5. Bottom-up parsing. Top-down parsing. Early algorithm. Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №1 Independent work: Execution of laboratory work №1.	1	2	6
6.	Тема 6. Алгоритм Кока-Янгера-Касамі Семантико-синтаксична модифікація алгоритма Topic 6. Cock-Younger-Kasami algorithm. Semantic-syntactic modification of the CYK algorithm. Самостійна робота: Згорткові нейронні мережі. Independent work: Convolutional neural networks.	1		6
7.	Тема 7. Семантичний аналіз текстів. Онтології	2		6

	Topic 7. Semantic analysis of the text. Ontology. <i>Самостійна робота: Рекурентні нейронні мережі. CNN, RNN</i> <i>Independent work: Recurrent neural networks. CNN, RNN</i>			
8.	Тема 8. Формат онтологій. Модально-рольові відношення Topic 8. Format of ontologies. Modal-role relationships. <i>Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №2</i> <i>Independent work: Execution of laboratory work №2.</i>	2		6
9.	Тема 9. Міри семантичної близькості Topic 9. Measures of semantic proximity. <i>Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №2</i> <i>Independent work: Execution of laboratory work №2.</i>	1	2	6
	Test 1	1		
Контроль за підсумками лабораторної роботи 1				
Всього по частині 1		14	4	54
Part 2. Methods of machine learning				
10.	Тема 10. Латентний семантичний аналіз Topic 10. Latent semantic analysis. <i>Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №2</i> <i>Independent work: Execution of laboratory work №2.</i>	1		6
11.	Тема 11. Невід’ємна матрична факторизація. Алгоритм Лі-Сунга Topic 11. Non-negative matrix factorization. Algorithm of Lee and Seung. <i>Самостійна робота: Динамічне програмування. Independent work: Dynamic programming.</i>	1	2	6
12.	Тема 12. Невід’ємна тензорна факторизація Topic 12. Non-negative tensor factorization. <i>Самостійна робота: Принципи глибокого навчання. Independent work: Dynamic programming.</i>	1		6
13.	Тема 13. Кластеризація. Алгоритми кластеризації Topic 13. Clustering. Clustering algorithms. <i>Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №3</i> <i>Independent work: Execution of laboratory work №3.</i>	1		6
14.	Тема 14. Ієрархічна кластеризація. Висхідна та низхідна стратегії. Метод К-середніх Topic 14. Hierarchical clustering. Ascending and descending strategy. The k-means algorithm. <i>Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №3</i> <i>Independent work: Execution of laboratory work №3.</i>	1	2	6
15.	Тема 15. Класифікація. Алгоритми класифікації Topic 15. Classification. Classification algorithms. <i>Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №3</i> <i>Independent work: Execution of laboratory work №3.</i>	1		6
16.	Тема 16. Машинне навчання. Моделі та методи. Модель Наївного Баєса	1		6

	Topic 16. Machine learning. Models and methods of machine learning. Naïve Bayes generative model. <i>Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №3</i> <i>Independent work: Execution of laboratory work №3.</i>			
17.	Тема 17. Модель Максимальної ентропії Topic 17. Maximum entropy model. <i>Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №3</i> <i>Independent work: Execution of laboratory work №3.</i>	1	2	6
18.	Тема 18. Прихована Марківська модель. Алгоритм Вітербі Topic 18. Hidden Markov Models. Viterbi algorithm. <i>Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №3</i> <i>Independent work: Execution of laboratory work №3.</i>	2		4
19.	Тема 19. Алгоритм Вперед-Назад. Алгоритм Баума-Велша Topic 19. Forward-Backward algorithm. Baum–Welch algorithm. <i>Самостійна робота: Виконання лабораторної роботи №3</i> <i>Independent work: Execution of laboratory work №3.</i>	1	2	4
	Test 2	1		
Контроль за підсумками лабораторних робіт 2 та 3				
Всього по частині 2		12	8	56
Консультація			2	
Екзамен				
ВСЬОГО		26	12	110

Загальний обсяг 150 год., в тому числі:

Лекцій – 26 год.

Лабораторні заняття - 12 год.

Консультації – 2 год.

Самостійна робота -110 год.

9. Рекомендовані джерела:

Основні:

1. Nirenburg S., Raskin V. Ontological Semantics, 2001, //crl. nmsu. edu/stuff. pages/Techial/book/index-book. Html
2. Марченко О.О., Россада Т.В. Актуальні проблеми Data Mining/ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2017.
3. Dan Jurafsky, James H. Martin Speech and Language Processing// Prentice Hall, (3rd ed.. September 23, 2018)
4. Marchenko, O., Anisimov, A., Zavadskyi, I., Melnikov, E. English text parsing by means of error correcting automaton. Natural Language Processing and Information Systems. Lecture Notes in Computer Science, 2018, vol 10859. Springer, pp. 281-289.
5. Anisimov A. V., Marchenko O. O., Nasirov E. I. Block-Diagonal Approach to Non-Negative Factorization of Sparse Linguistic Matrices and Tensors of Extra-Large Dimension Using the Latent Dirichlet Distribution. Cybernetics and Systems Analysis, volume 54, P. 853–859 (2018).
6. Marchenko O.O., Radyvonenko O.S., Ignatova T.S., Titarchuk P.V., Zhelezniakov D.V. Improving Text Generation Through Introducing Coherence Metrics // Cybernetics and Systems Analysis 56 (1), 13-21 (2020)

Додаткові:

7. Miller, G., Wordnet: An online lexical database, International Journal of Lexicography, 3 (4), 1990.
8. Pusteyovsky James. The Generative Lexicon. p. 69-72. MIT, London.
9. Younger D.H. Recognition and parsing of context-free languages in time n^3 // Information and Control 10:2, 1967. pp. 189-208.