

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

МАГІСТР

Кафедра інформаційних технологій проєктування та прикладної математики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Голова НМР факультету автоматизації і  
інформаційних технологій

\_\_\_\_\_ / Олександр ТЕРЕНТЬЄВ /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ**

**ОК8«МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАСОБАМИ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ»**

(назва освітньої компоненти)

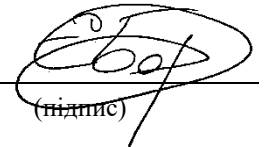
шифр	назва спеціальності
126	«Інформаційні системи та технології»
	назва спеціалізації (освітньої програми)
	«Інформаційні системи та технології»

Мова викладання: українська

Розробник:

Євгеній БОРОДАВКА, доктор технічних наук, професор

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, звання)



(підпис)

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри інформаційних технологій проєктування та прикладної математики протокол № 13 від «24» червня 2024 року

Завідувач кафедри ІТППМ \_\_\_\_\_

(підпис)

(Олександр ТЕРЕНТЬЄВ)

(ім'я та прізвище)

Схвалено гарантом освітньої програми «Інформаційні системи та технології»

Гарант ОП \_\_\_\_\_

(підпис)

(Євгеній БОРОДАВКА)

(ім'я та прізвище)

Розглянуто на засіданні навчально-методичної комісії спеціальності «Інформаційні системи та технології» протокол № 2 від «30» червня 2024 року

**ВИТЯГ З РОБОЧОГО НАВЧАЛЬНОГО ПЛАНУ**

шифр	Назва спеціальності, освітньої програми	Форма здобуття ВО: <b>денна</b>											Форма контролю	Семестр	Погодження заступником декана факультету	
		Кількість кредитів ECTS	Кількість годин						Самостійна робота	Кількість індивідуальних робіт						
			Всього	Разом	аудиторних			Курсовий проєкт		Курсова робота	Розрахунково- графічна робота	Контрольна робота				
					Лекції	Лабораторні	Практичні									
126	Інформаційні системи та технології	<b>3,5</b>	<b>105</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	<b>65</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>Екз</b>	<b>2</b>		

## Анотація. Мета та завдання освітньої компоненти

**Мета освітньої компоненти** — придбання студентами, які навчаються за напрямом підготовки 126 «Інформаційні системи та технології» теоретичних знань та практичних навиків з математичних і алгоритмічних основ динамічного програмування для використання у розв'язанні практичних задач.

**Пререквізити:** математика, теорія алгоритмів, основи програмування.

Посилання на сторінку електронного навчально-методичного комплексу освітньої компоненти: <https://org2.knuba.edu.ua/course/view.php?id=892>

### Компетенції здобувачів освітньої програми, що формуються в результаті засвоєння освітньої компоненти

Код	ЗМІСТ КОМПЕТЕНТНОСТІ
<b>Інтегральна компетентність</b>	
<b>ІК</b>	Здатність розв'язувати задачі дослідницького та інноваційного характеру у сфері інформаційних систем та технологій.
<b>Загальні компетентності</b>	
<b>ЗК 01</b>	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
<b>ЗК 03</b>	Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).
<b>ЗК 05</b>	Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
<b>Спеціальні (фахові) компетентності</b>	
<b>СК 03</b>	Здатність проектувати інформаційні системи з урахуванням особливостей їх призначення, неповної/недостатньої інформації та суперечливих вимог.
<b>СК 04</b>	Здатність розробляти математичні, інформаційні та комп'ютерні моделі об'єктів і процесів інформатизації.
<b>СК 05</b>	Здатність використовувати сучасні технології аналізу даних для оптимізації процесів в інформаційних системах.

**Програмні результати здобувачів освітньої програми, що формуються в  
результаті засвоєння освітньої компоненти**

<b>Код</b>	<b>ПРОГРАМНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ</b>
<b>PH 04</b>	Управляти процесами розробки, впровадження та експлуатації у сфері ІСТ, які є складними, непередбачуваними і потребують нових стратегічних та командних підходів.
<b>PH 06</b>	Обґрунтовувати вибір технічних та програмних рішень з урахуванням їх взаємодії та потенційного впливу на вирішення організаційних проблем, організувати їх впровадження та використання.
<b>PH 07</b>	Здійснювати обґрунтований вибір проектних рішень та проектувати сервіс-орієнтовану інформаційну архітектуру підприємства (установи, організації тощо).
<b>PH 08</b>	Розробляти моделі інформаційних процесів та систем різного класу, використовувати методи моделювання, формалізації, алгоритмізації та реалізації моделей з використанням сучасних комп'ютерних засобів.
<b>PH 11</b>	Розв'язувати задачі цифрової трансформації у нових або невідомих середовищах на основі спеціалізованих концептуальних знань, що включають сучасні наукові здобутки у сфері інформаційних технологій, досліджень та інтеграції знань з різних галузей.

## ЗМІСТ КУРСУ

### Змістовий модуль 1. Алгоритми на графах

#### **Лекція 1. Жадібний алгоритм (Greedy algorithm).**

- Тема 1. Визначення жадібного алгоритму.
- Тема 2. Переваги і недоліки жадібного підходу.
- Тема 3. Правило застосування жадібного підходу.
- Тема 4. Розбір деяких задач.

*Лабораторна робота №1. Розв'язати задачу із застосуванням жадібного підходу на платформі LeetCode.*

#### **Лекція 2. Граф як структура даних.**

- Тема 1. Визначення графа.
- Тема 2. Подання графів у комп'ютерних програмах.
- Тема 3. Топологічне сортування вершин графа.
- Тема 4. Розбір деяких задач.

*Лабораторна робота №2. Розв'язати задачу із застосуванням топологічного сортування на платформі LeetCode.*

#### **Лекція 3. Методи обходу графа.**

- Тема 1. Пошук в ширину (BFS).
- Тема 2. Пошук в глибину (DFS).
- Тема 3. Розбір деяких задач.

*Лабораторна робота №3. Розв'язати задачу із застосуванням одного з обходів графа на платформі LeetCode.*

#### **Лекція 4. Мінімальне кістякове дерево графа (MST).**

- Тема 1. Визначення кістякового дерева.
- Тема 2. Алгоритм Прима.
- Тема 3. Алгоритм Крускала.
- Тема 4. Розбір деяких задач.

*Лабораторна робота №4. Розв'язати задачу із застосуванням одного з алгоритмів побудови MST на платформі HackerEarth.*

#### **Лекція 5. Система неперетинних множин (DSU).**

- Тема 1. Основні характеристики DSU.
- Тема 2. Реалізація з квадратичним часом виконання.
- Тема 3. Реалізація з лінійним часом виконання.
- Тема 4. Реалізація з «майже константним часом» виконання.
- Тема 5. Розбір деяких задач.

*Лабораторна робота №5. Розв'язати задачу із застосуванням DSU на платформі LeetCode.*

## Змістовий модуль 2. Динамічні алгоритми

### **Лекція 6. Максимальний потік.**

- Тема 1. Алгоритм Форда-Фалкерсона.
- Тема 2. Алгоритм Едмондса-Карпа.
- Тема 3. Алгоритм Дініца.
- Тема 4. Алгоритм просування передпотуку.
- Тема 5. Розбір деяких задач.

*Лабораторна робота №6. Розв'язати задачу із застосуванням одного з розглянутих алгоритмів на платформі HackerEarth.*

### **Лекція 7. Найкоротший шлях в графі.**

- Тема 1. Алгоритм Дейкстри.
- Тема 2. Алгоритм Белмана-Форда.
- Тема 3. Алгоритм Флойда-Воршелла.
- Тема 4. Розбір деяких задач.

*Лабораторна робота №7. Розв'язати задачу із застосуванням одного з розглянутих алгоритмів на платформі LeetCode.*

### **Лекція 8. Числові послідовності.**

- Тема 1. Типи послідовностей.
- Тема 2. Правила послідовностей.
- Тема 3. Перестановки.
- Тема 4. Розбір деяких задач.

*Лабораторна робота №8. Розв'язати задачу із застосуванням перестановок на платформі LeetCode.*

### **Лекція 9. Хешування (Hashing).**

- Тема 1. Визначення.
- Тема 2. Хеш-функція та хеш-таблиця.
- Тема 3. Колізії та їх вирішення.
- Тема 4. Хеш рядка.
- Тема 5. Алгоритм Робіна-Карпа.

*Лабораторна робота №9. Розв'язати задачу із застосуванням хешування на платформі LeetCode.*

### **Лекція 10. Динамічне програмування (DP).**

- Тема 1. Визначення.
- Тема 2. Послідовність Фібоначчі.
- Тема 3. Найдовша спільна підпослідовність (LCS).
- Тема 4. Задача з рюкзаком (Knapsack problem).
- Тема 5. Динамічне програмування для цифр (Digit DP).
- Тема 6. Розбір деяких задач.

*Лабораторна робота №10. Розв'язати задачу із застосуванням динамічного програмування на платформі LeetCode.*

## Індивідуальне завдання

Нижче поданий перелік тем для виконання індивідуального завдання. Деякі завдання є простішими, тому за них максимальна оцінка **90** балів (виділені сірим кольором). Завдання виконуються на платформах автоматичного оцінювання LeetCode та HackerEarth. Оцінка за роботу виставляється згідно отриманих балів після автоматичної перевірки результатів роботи написаної програми.

1.	Мінімальний час роботи (90 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/minimum-processing-time">https://leetcode.com/problems/minimum-processing-time</a>
2.	Цукерки (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/candy">https://leetcode.com/problems/candy</a>
3.	Розклад занять (90 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/course-schedule">https://leetcode.com/problems/course-schedule</a>
4.	Паралельні курси (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/parallel-courses-iii">https://leetcode.com/problems/parallel-courses-iii</a>
5.	Знаходження циклів на двовимірній сітці (90 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/detect-cycles-in-2d-grid">https://leetcode.com/problems/detect-cycles-in-2d-grid</a>
6.	Локалізація вірусу (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/contain-virus">https://leetcode.com/problems/contain-virus</a>
7.	Містер Президент (90 балів). <a href="https://www.hackerearth.com/practice/algorithms/graphs/minimum-spanning-tree/practice-problems/algorithm/mr-president">https://www.hackerearth.com/practice/algorithms/graphs/minimum-spanning-tree/practice-problems/algorithm/mr-president</a>
8.	Три типи (100 балів). <a href="https://www.hackerearth.com/practice/algorithms/graphs/minimum-spanning-tree/practice-problems/algorithm/3-types">https://www.hackerearth.com/practice/algorithms/graphs/minimum-spanning-tree/practice-problems/algorithm/3-types</a>
9.	Кількість областей (90 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/number-of-provinces">https://leetcode.com/problems/number-of-provinces</a>
10.	Створення найбільшого острова (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/making-a-large-island">https://leetcode.com/problems/making-a-large-island</a>
11.	Знаходження потоку (90 балів). <a href="https://www.hackerearth.com/practice/algorithms/graphs/maximum-flow/practice-problems/algorithm/find-the-flow">https://www.hackerearth.com/practice/algorithms/graphs/maximum-flow/practice-problems/algorithm/find-the-flow</a>
12.	Занепад доріг (100 балів). <a href="https://www.hackerearth.com/practice/algorithms/graphs/maximum-flow/practice-problems/algorithm/decaying-roadsnov-easy-8e930584">https://www.hackerearth.com/practice/algorithms/graphs/maximum-flow/practice-problems/algorithm/decaying-roadsnov-easy-8e930584</a>
13.	Знайти місто з найменшою кількістю сусідів у діапазоні (90 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/find-the-city-with-the-smallest-number-of-neighbors-at-a-threshold-distance">https://leetcode.com/problems/find-the-city-with-the-smallest-number-of-neighbors-at-a-threshold-distance</a>
14.	Мінімальний час для відвідування комірки в сітці (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/minimum-time-to-visit-a-cell-in-a-grid">https://leetcode.com/problems/minimum-time-to-visit-a-cell-in-a-grid</a>
15.	Послідовність перестановок (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/permutation-sequence">https://leetcode.com/problems/permutation-sequence</a>

16.	Медіана двох відсортованих масивів (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/median-of-two-sorted-arrays">https://leetcode.com/problems/median-of-two-sorted-arrays</a>
17.	Знайти рядок з визначеним хешем (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/find-substring-with-given-hash-value">https://leetcode.com/problems/find-substring-with-given-hash-value</a>
18.	Шляхи декодування (90 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/decode-ways">https://leetcode.com/problems/decode-ways</a>
19.	Знаходження красивих індексів у масиві (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/find-beautiful-indices-in-the-given-array-ii">https://leetcode.com/problems/find-beautiful-indices-in-the-given-array-ii</a>
20.	Трикутник (90 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/triangle">https://leetcode.com/problems/triangle</a>
21.	Порахувати кількість потужних чисел в заданому проміжку (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/count-the-number-of-powerful-integers">https://leetcode.com/problems/count-the-number-of-powerful-integers</a>
22.	Найдовша зростаюча послідовність (90 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/longest-increasing-subsequence">https://leetcode.com/problems/longest-increasing-subsequence</a>
23.	Порахувати кількість одиниць в числах, що менші заданого (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/number-of-digit-one">https://leetcode.com/problems/number-of-digit-one</a>
24.	Розмін монет (90 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/coin-change">https://leetcode.com/problems/coin-change</a>
25.	Перегони (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/race-car">https://leetcode.com/problems/race-car</a>
26.	Лінії, що не перетинаються (90 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/uncrossed-lines">https://leetcode.com/problems/uncrossed-lines</a>
27.	Кількість чисел не більше за N із заданого набору цифр (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/numbers-at-most-n-given-digit-set">https://leetcode.com/problems/numbers-at-most-n-given-digit-set</a>
28.	Максимальна вартість K монет із заданих наборів (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/maximum-value-of-k-coins-from-piles">https://leetcode.com/problems/maximum-value-of-k-coins-from-piles</a>
29.	Блоки, що падають (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/falling-squares">https://leetcode.com/problems/falling-squares</a>
30.	Запити для установки блоків (100 балів). <a href="https://leetcode.com/problems/block-placement-queries">https://leetcode.com/problems/block-placement-queries</a>



## Розподіл годин самостійної роботи здобувачів

№	Назва самостійної роботи	Кількість годин
1.	Опрацювання матеріалів лекцій	5
2.	Підготовка до лабораторних робіт	10
3.	Опрацювання задачі «Brooklyn 99»	4
4.	Опрацювання теми «Дерево відрізків»	4
5.	Виконання індивідуальної роботи	12
6.	Підготовка до екзамену	30
<b>Разом</b>		<b>65</b>

### Методи контролю та оцінювання знань

Загальне оцінювання здійснюється через вимірювання результатів навчання у формі проміжного (модульного) та підсумкового контролю (залік, захист індивідуальної роботи тощо) відповідно до вимог зовнішньої та внутрішньої системи забезпечення якості вищої освіти.

### Політика щодо академічної доброчесності

Тексти індивідуальних завдань (в т.ч. у разі, коли вони виконуються у формі презентацій або в інших формах) можуть перевірятись на плагіат. Для цілей захисту індивідуального завдання оригінальність тексту має складати не менше 70%. Виключення становлять випадки зарахування публікацій Здобувачів у матеріалах наукових конференціях та інших наукових збірниках, які вже пройшли перевірку на плагіат.

Списування під час тестування та інших опитувань, які проводяться у письмовій формі, заборонені (в т.ч. із використанням мобільних пристроїв). У разі виявлення фактів списування з боку здобувача він отримує інше завдання. У разі повторного виявлення призначається додаткове заняття для проходження тестування.

### Політика щодо відвідування

Здобувач, який пропустив аудиторне заняття з поважних причин, має продемонструвати викладачу та надати до деканату факультету документ, який засвідчує ці причини.

За об'єктивних причин (хвороба, міжнародне стажування, наукова та науково-практична конференція (круглий стіл) тощо) навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням із керівником курсу.

### Методи контролю

Основні форми участі Здобувачів у навчальному процесі, що підлягають поточному контролю: виступ на практичних заняттях; доповнення, опонування до виступу, рецензія на виступ; участь у дискусіях; аналіз першоджерел; письмові

завдання (тестові, індивідуальні роботи у формі рефератів); та інші письмові роботи, оформлені відповідно до вимог. Кожна тема курсу, що винесена на лекційні та практичні заняття, відпрацьовується Здобувачами у тій чи іншій формі, наведеній вище. Обов'язкова присутність на лекційних заняттях, активність впродовж семестру, відвідування/відпрацювання усіх аудиторних занять, виконання інших видів робіт, передбачених навчальним планом з цієї освітньої компоненти.

Під час оцінювання рівня знань Здобувача аналізу підлягають:

- характеристики відповіді: цілісність, повнота, логічність, обґрунтованість, правильність;
- якість знань (ступінь засвоєння фактичного матеріалу): осмисленість, глибина, гнучкість, дієвість, системність, узагальненість, міцність;
- ступінь сформованості вміння поєднувати теорію і практику під час розгляду ситуацій, практичних завдань;
- рівень володіння розумовими операціями: вміння аналізувати, синтезувати, порівнювати, абстрагувати, узагальнювати, робити висновки з проблем, що розглядаються;
- досвід творчої діяльності: вміння виявляти проблеми, розв'язувати їх, формувати гіпотези;
- самостійна робота: робота з навчально-методичною, науковою, допоміжною вітчизняною та зарубіжною літературою з питань, що розглядаються, вміння отримувати інформацію з різноманітних джерел (традиційних; спеціальних періодичних видань, ЗМІ, Internet тощо).

**Тестове опитування** може проводитись за одним або кількома змістовими модулями. В останньому випадку бали, які нараховуються Здобувачу за відповіді на тестові питання, поділяються між змістовими модулями.

**Індивідуальне завдання** підлягає захисту Здобувачем на заняттях, які призначаються додатково.

Індивідуальне завдання може бути виконане у різних формах. Зокрема, Здобувачі можуть зробити його у вигляді реферату. Реферат повинен мати обсяг від 18 до 24 сторінок А4 тексту (кегель Times New Roman, шрифт 14, інтервал 1,5), включно з планом, структурою основної частини тексту відповідно до плану, висновками та списком літератури, складеним відповідно до ДСТУ 8302:2015. В рефераті можна також помістити словник базових понять до теми. Водночас індивідуальне завдання може бути виконане в інших формах, наприклад, у вигляді дидактичного проєкту, у формі презентації у форматі Power Point. В цьому разі обсяг роботи визначається індивідуально — залежно від теми.

Література, що рекомендується для виконання індивідуального завдання, наведена у цій робочій програмі, а в електронному вигляді вона розміщена на Освітньому сайті КНУБА, на сторінці кафедри.

Також як виконання індивідуального завдання за рішенням викладача може бути зарахована участь Здобувача у міжнародній або всеукраїнській науково-практичній конференції з публікацією у матеріалах конференції тез виступу (доповіді) на одну з тем, дотичних до змісту освітньої компоненти, або публікація статті на одну з таких тем в інших наукових виданнях.

Текст індивідуального завдання подається викладачу не пізніше, ніж за 2 тижні до початку залікової сесії. Викладач має право вимагати від Здобувача доопрацювання індивідуального завдання, якщо воно не відповідає встановленим вимогам.

Результати поточного контролю заносяться до журналу обліку роботи. Позитивна оцінка поточної успішності Здобувачів за відсутності пропущених та невідпрацьованих практичних занять та позитивні оцінки за індивідуальну роботу є підставою для допуску до підсумкової форми контролю. Бали за аудиторну роботу відпрацьовуються у разі пропусків.

**Підсумковий контроль** здійснюється під час проведення залікової сесії з урахуванням підсумків поточного та модульного контролю. Під час семестрового контролю враховуються результати здачі усіх видів навчальної роботи згідно зі структурою кредитів.

Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.

#### **Розподіл балів для дисципліни з формою контролю екзамен**

Поточне оцінювання		Індивідуальна робота	Підсумковий контроль	Сума балів
Змістовні модулі				
1	2			
<b>20</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

### Шкала оцінювання індивідуальної роботи

Оцінка за національною шкалою	Кількість балів	Критерії
<i>відмінно</i>	30	відмінне виконання (розкриття теми, посилання та цитування сучасних наукових джерел (не старше 2020 року), дотримання норм доброчесності)
	25	відмінне виконання з незначною кількістю помилок виконання (розкриття теми, посилання та цитування сучасних наукових джерел (більшість з яких не старше 2020 року), дотримання норм доброчесності)
<i>добре</i>	22	виконання вище середнього рівня з кількома помилками (розкриття теми в межах об'єкта та завдань роботи, посилання та цитування сучасних наукових джерел (серед яких є такі, що не старше 2020 року), дотримання норм доброчесності)
	20	виконання з певною кількістю помилок (розкриття теми в межах об'єкта та завдань роботи, наявність посилань та цитувань наукових джерел, дотримання норм доброчесності)
<i>задовільно</i>	18	виконання роботи задовольняє мінімальним критеріям помилок (розкриття теми в основному в межах об'єкта роботи, наявність концептуального апарату роботи, присутність не менше 5 посилань та цитувань наукових джерел, дотримання норм доброчесності)

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	<b>A</b>	<i>відмінно</i>
82-89	<b>B</b>	<i>добре</i>
74-81	<b>C</b>	
64-73	<b>D</b>	
60-63	<b>E</b>	<i>задовільно</i>
35-59	<b>FX</b>	Не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	<b>F</b>	Не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## **Умови допуску до підсумкового контролю**

Здобувачу, який має підсумкову оцінку за дисципліну від 35 до 59 балів, призначається додаткова залікова сесія. В цьому разі він повинен виконати додаткові завдання, визначені викладачем.

Здобувач, який не виконав вимог робочої програми за змістовними модулями, не допускається до складання підсумкового контролю. В цьому разі він повинен виконати визначене викладачем додаткове завдання за темами відповідних змістових модулів в період між основною та додатковою сесіями.

Здобувач має право на опротестування результатів контролю (апеляцію). Правила подання та розгляду апеляції визначені внутрішніми документами КНУБА, які розміщені на сайті КНУБА та зміст яких доводиться Здобувачам до початку вивчення освітньої компоненти.

## **Методичне забезпечення дисципліни**

### **Підручники:**

1. Бхаргава А. Грокаємо алгоритми: Ілюстрований посібник для програмістів і допитливих. Київ: ArtHuss, 2023. 256 с. ISBN 978-617-8025-57-1.
2. Bellman R. Dynamic programming. Dover Publications, 2003. 366 p.
3. Dimitri Bertsekas. Abstract Dynamic Programming / Athena Scientific. 2013.
4. Jennie Si, Andy Barto, Warren Powell, Donald Wunsch / Handbook of Learning and Approximate Dynamic Programming / Wiley Online Library – 2012.

### **Навчальні посібники:**

1. Кучма М.І. Математичне програмування: приклади і задачі. Львів: Новий світ-2000, 2020. 244 с. ISBN 966-7827-98-4.
2. Городня Т.А., Щебрак А.Ф., Бех О.В. Математичне програмування. Львів: Магнолія 2006, 2021. 200 с.

### **Інформаційні ресурси:**

1. <http://library.knuba.edu.ua>
2. <http://org2.knuba.edu.ua>
3. <https://www.geeksforgeeks.org>
4. <https://leetcode.com>
5. <https://www.hackerearth.com>
6. <https://uk.wikipedia.org>
7. <https://devzone.org.ua>
8. <https://www.programiz.com>
9. <https://algoua.com>
10. <https://www.mathros.net.ua>
11. <https://www.tutorialspoint.com>