МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Декан факультету комп'ютерних інформаційних технологій

Ігор ЯКИМЕНКО

"29" 08 2025 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Проректор з науково-педагогічної роботи

Віктор ОСТРОВЕРХОВ

"29" 08 2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА

з дисципліни **«Алгоритми та структури даних»**

ступінь вищої освіти – *бакалавр*

галузь знань – **12 "Інформаційні технології"**

спеціальність – **122 „Комп'ютерні науки"**

освітньо-професійна програма – **„Штучний інтелект"**

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ І УПРАВЛІННЯ

Форма навчання	Курс	Семестр	Лекції (год.)	Лабораторні заняття (год.)	ІРС (год.)	Тренінг (год.)	Самост. робота студ. (год.)	Разом (год.)	Екз. (сем.)
Денна	2	3	30	30	4	8	78	150	3

29.08.2025

Тернопіль – ЗУНУ
2025

Робоча програма складена на основі освітньо–професійної програми «Штучний інтелект» підготовки бакалавра галузі знань 12 «Інформаційні технології» спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки», затвердженої Вченою Радою ЗУНУ (протокол № 11 від 26 червня 2024 р.).

Робочу програму складено доцентом кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління, к.т.н. Василем КОВАЛЕМ

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління, протокол №1 від 26 серпня 2025 р.

В.о. завідувача кафедри,
канд. техн. наук, доцент Надія ВАСИЛЬКІВ

Гарант освітньо-професійної
програми "Штучний інтелект",
канд. техн. наук, доцент Василь КОВАЛЬ

СТРУКТУРА РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСИЦПЛШИ "АЛГОРИТМИ ТА СТРУКТУРИ ДАНИХ"

1. Опис дисципліни "Алгоритми та структури даних"

Дисципліна «Алгоритми та структури даних»	**Галузь знань, спеціальність, СВО**	**Характеристика навчальної дисципліни**
Кількість кредитів – 5	Галузь знань – 12 “Інформаційні технології”	**Статус дисципліни:** обов’язкова дисципліна циклу професійної підготовки **Мова навчання:** Українська
Кількість залікових модулів – 5	Спеціальність – 122 «Комп’ютерні науки»	Рік підготовки: 2 Семестр: 3
Кількість змістових модулів – 4	Освітньо-професійна програма «Штучний інтелект»	Лекції: 30 год. Лабораторні заняття: 30 год.
Загальна кількість годин – 150	Ступінь вищої освіти – бакалавр	Самостійна робота: 78 год., Тренінг: 8 год. Індивідуальна робота: 4 год.
Тижневих годин – 10, з них аудиторних – 4 год.	-	Вид підсумкового контролю – екзамен

2. Мета і завдання дисципліни "Алгоритми та структури даних"

2.1. Мета вивчення дисципліни

Мета вивчення дисципліни “Алгоритми та структури даних” – освоєння фундаментальних принципів побудови та аналізу алгоритмів, сформувати практичні навички розробки алгоритмів для розв’язання прикладних задач та обґрунтування їх застосувань. Вивчення цієї дисципліни передбачає розуміння та засвоєння студентами основних принципів розробки алгоритмів і програм, а також виконання практичної роботи в галузі інформаційних технологій.

Метою проведення лекційних занять є ознайомлення студентів з теоретичними питаннями щодо теорії алгоритмів. В рамках лекційного курсу досліджуються питання обчислювальної складності, структур даних, ефективності алгоритмів, технологій проектування алгоритмів.

Мета проведення лабораторних занять полягає у тому, щоб виробити у студентів практичні навики при дослідженні алгоритмів, включаючи дослідження часової складності, технологій проектування та ефективності алгоритмів.

2.2. Завдання вивчення дисципліни

В даному курсі розглядається вступ в теорію алгоритмів для студентів освітнього ступеня бакалавр. Дисципліна включає розгляд методів побудови та аналізу алгоритмів, оцінки коректності та ефективності алгоритмів. Даний курс починається із розгляду поняття алгоритму, аналізу парадигм для побудови алгоритмів, аналізу складності алгоритмів, також розглядаються можливості розв’язності алгоритмічних проблем. В рамках даної дисципліни студенти отримають практичні навики в освоєнні принципів роботи основних алгоритмів сортування, пошуку тощо.

2.3. Найменування та опис компетентностей, формування котрих забезпечує вивчення дисципліни.

СК3. Здатність до логічного мислення, побудови логічних висновків, використання формальних мов і моделей алгоритмічних обчислень, проектування, розроблення й аналізу алгоритмів, оцінювання їх ефективності та складності, розв’язності та нерозв’язності алгоритмічних проблем для адекватного моделювання предметних областей і створення програмних та інформаційних систем.

СК8. Здатність проектувати та розробляти програмне забезпечення із застосуванням різних парадигм програмування: узагальненого, об’єктно-орієнтованого, функціонального, логічного, з відповідними моделями, методами й алгоритмами обчислень, структурами даних і механізмами управління.

2.4. Передумови для вивчення дисципліни.

Для засвоєння дисципліни студентам необхідні знання і навики, отримані при вивченні дисциплін: «Дискретна математика», «Основи комп’ютерних наук».

2.5. Результати навчання.

ПР5. Проектувати, розробляти та аналізувати алгоритми розв’язання обчислювальних та логічних задач, оцінювати ефективність та складність алгоритмів на основі застосування формальних моделей алгоритмів та обчислюваних функцій.

ПР9. Розробляти програмні моделі предметних середовищ, вибирати

парадигму програмування з позицій зручності та якості застосування для реалізації методів та алгоритмів розв'язання задач в галузі комп'ютерних наук.

ПР16. Виконувати паралельні та розподілені обчислення, застосовувати чисельні методи та алгоритми для паралельних структур, мови паралельного програмування при розробці та експлуатації паралельного та розподіленого програмного забезпечення.

3. Програма навчальної дисципліни
«Алгоритми та структури даних»

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. Аналіз алгоритмів.

Тема 1. Алгоритм, його зміст і основні властивості. Визначення інформації, алгоритму. Способи описання алгоритмів. Властивості алгоритмів. Математичні основи аналізу алгоритмів. Алгебра висловлювань. Таблиці істиності.

Тема 2. Алгоритмічні стратегії. Комбінування декількох алгоритмічних стратегій. Ітераційні алгоритми. Рекурсивні алгоритми. Зворотні алгоритми. Стратегія гілок і границь (Branch and bound algorithms). Стратегія розподіляй і володарюй. Динамічне програмування. Стратегія жадності (Greedy algorithms). Стратегія грубої сили (Brute force algorithms). Використання евристики.

Тема 3. Структури алгоритмів. Класи алгоритмів. Лінійні, розгалужені та циклічні алгоритми.

Тема 4. Поняття обчислювальної складності.

Тимчасова та просторова складності: асимптотична складність, приклади тимчасової та просторової складності. Класи складності: клас P, клас NP, проблема рівності класів P і NP.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. Структури даних.

Тема 5. Поняття структури даних. Структурні та лінійні типи даних. Поняття структури даних. Рівні описування даних. Класифікація структур даних у програмах користувача та у пам'яті комп'ютера. Основні види складених типів даних. Структури даних у пам'яті комп'ютера.

Тема 6. Статичні напівстатичні та динамічні структури даних. Масиви, множини, структури, бітові структури, таблиці, стеки, черги, лінійні списки, стрічки, нелінійні розгалужені списки

Тема 7. Нелінійні структури даних. Визначення дерева. Бінарне дерево. Подання дерев у пам'яті комп'ютера. Поняття графу. Подання графу у пам'яті комп'ютера.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. Фундаментальні алгоритми та їх побудова.

Тема 8. Алгоритми сортування, злиття та пошуку

Алгоритми сортування: бульбашковий, вставки, вибірки, Shellsort, злиття (mergesprt), Radix-sort.

Алгоритми пошуку: послідовний пошук, бінарний пошук, Brute Force, алгоритм Рабін сортування стрічок, Кнут–Моріс–Прет.

Тема 9. Фундаментальні алгоритми на графах і деревах. Види графів. Представлення графів. Алгоритм пошуку на графах. Визначення дерева. Алгоритми деревовидного пошуку.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4. Алгоритми криптографії та кодування даних

Тема 10. Основні криптографічні системи. Прості підстановочні шифри. Криптографічні системи із відкритим ключем. Криптографічні системи із симетричним ключем. Гібридні криптографічні системи.

Тема 11. Криптосистема RSA. Криптографічний алгоритм з відкритим ключем RSA.

Тема 12. Алгоритми кодування даних. Поняття кодування даних. Коди Хаффмана. Алгоритми стиснення без втрати інформації.

4. Структура залікового кредиту з дисципліни "Алгоритми та структури даних"

Денна форма навчання

Тема	*Кількість годин*					
	Лекції	Лабора-торні заняття	Індивідуа-льна робота	Тренінг	Самостійна робота	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1 – Аналіз алгоритмів						
Тема 1. Алгоритм, його зміст і основні властивості	2	2	1	2	2	Опитування під час заняття
Тема 2. Алгоритмічні стратегії	2	-			6	Опитування під час заняття
Тема 3. Структури алгоритмів	2	8			6	Опитування під час заняття
Тема 4. Поняття обчислювальної складності	4	4			6	Опитування під час заняття
Змістовий модуль 2 – Структури даних						
Тема 5. Поняття структури даних	2	4	1	2	6	Опитування під час заняття
Тема 6. Статичні напівстатичні та динамічні структури даних	2	-			8	Опитування під час заняття
Тема 7. Нелінійні структури даних	2	-			8	Опитування під час заняття
Змістовий модуль 3 – Фундаментальні алгоритми та їх побудова						
Тема 8. Алгоритми сортування, злиття та пошуку	4	8	1	2	6	Опитування під час заняття
Тема 9. Фундаментальні алгоритми на графах і деревах	4	-			6	Опитування під час заняття
Змістовий модуль 4 – Алгоритми криптографії та кодування даних						
Тема 10. Основні криптографічні системи	2	4	1	2	8	Опитування під час заняття
Тема 11. Криптосистема RSA	2	-			8	Опитування під час заняття
Тема 12. Алгоритми кодування даних	2	-			8	Опитування під час заняття
Разом	30	30	4	8	78	-

5. Тематика лабораторних занять.

1. Математичні основи аналізу алгоритмів.
2. Побудова лінійних алгоритмів.
3. Розгалужені алгоритмічні структури.
4. Циклічні алгоритмічні структури.
5. Комбіновані алгоритмічні структури.
6. Алгоритми сортування вибором.
7. Алгоритм сортування методом Шелла.
8. Алгоритм сортування злиттям.
9. Алгоритми пошуку.
10. Аналіз складності алгоритмів.
11. Імплементація алгоритмічних структур на мові програмування.
12. Алгоритми в криптосистемах.

6. Самостійна робота.

Самостійна робота студентів з дисципліни «Алгоритми та структури даних» передбачає роботу над розширеним завданням у формі проекту, що охоплює вивчення матеріалів обраної теми, представлення стратегії рішення та алгоритмічного розв'язку практичної задачі. Тема завдання обирається студентом за погодженням із викладачем. Нижче зазначено пропонований перелік тем. Результати виконання проекту оформляються студентами у вигляді звіту, що представляється викладачу до захисту у визначені терміни. Захист повинен супроводжуватись демонстрацією із використанням технічних засобів.

Оцінювання проекту виконується комплексно із врахуванням наступних критеріїв: глибина дослідження та аналізу теми, оригінальність підходу до розв'язання, побудова схеми алгоритму, перевірка алгоритму тестування.

Приклад тем для виконання самостійної роботи:

1. Аналіз часової складності алгоритмів сортування

Завдання: Пояснити та порівняти часову складність алгоритмів сортування (бульбашкою, швидке сортування, сортування злиттям, сортування вибором). Зробити висновки щодо їх ефективності для різних типів вхідних даних (вже відсортованих, майже відсортованих, випадкових).

2. Рекурсивні алгоритми і їх оптимізація

Завдання: Дослідити принцип роботи рекурсивних алгоритмів (наприклад, алгоритм Ханойської вежі або алгоритм Евкліда). Проаналізувати їх часову та просторову складність, а також можливі методи оптимізації за допомогою мемоізації або переведення рекурсії у цикл.

3. Алгоритми з розділяй та володарюй

Завдання: Розглянути основні принципи алгоритмів "розділяй та володарюй" (divide and conquer). Пояснити на прикладі алгоритмів сортування злиттям та пошуку максимального підмасиву, як цей підхід допомагає покращити ефективність алгоритмів.

6. Алгоритми пошуку на графах: BFS vs DFS

Завдання: Пояснити основні відмінності між алгоритмами пошуку в ширину (BFS) та пошуку в глибину (DFS). Навести приклади задач, для яких один із цих підходів

буде ефективнішим за інший.
7. Аналіз складності алгоритмів з використанням оціночних символів
Завдання: Розглянути методи оцінки часової та просторової складності алгоритмів за допомогою "О-велике", "о-мале", "Ω", "θ". Пояснити, як ці символи використовуються для оцінки продуктивності алгоритмів.
9. Розбір алгоритму Крускала та Пріма для пошуку мінімального кістякового дерева
Завдання: Порівняти алгоритми Крускала та Пріма для побудови мінімального кістякового дерева. Пояснити принципи роботи обох алгоритмів, їх часову складність і випадки, в яких кожен із них буде ефективнішим.

7. Тренінг з дисципліни.

Тема тренінгу: Програмно-технічна імплементація алгоритмічних структур.

У рамках тренінгу необхідно програмно, або з допомогою технічних засобів імплементувати алгоритм рішення задач та здійснити аналіз ефективності. Тренінг виконується в напрямку розвитку завдання та за темою самостійної роботи, яку погоджується із викладачем.

Виконання завдання тренінгу передбачає наступне:

1. Обгрунтування вибору програмно-технічного середовища реалізації алгоритму рішення задачі.
2. Написання програмного коду, що реалізує схему алгоритму.
3. Проведення процедур відлагодження та тестування.
4. Оцінка складності.

Порядок проведення тренінгу:

1. Вступна частина: ознайомлення студентів з темою тренінгового заняття та погодження варіанту із викладачем.

2. Практична частина: виконання завдань тренінгу згідно з індивідуальним варіантом, що визначений під час виконання самостійної роботи у розділі 6; оформлення короткого звіту.

3. Підведення підсумків: обговорення результатів виконаних завдань.

8. Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

У процесі вивчення дисципліни «Алгоритми та структури даних» використовуються наступні засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання:

- поточне опитування;
- оцінювання результатів виконаних лабораторних завдань;
- модульна контрольна робота;
- оцінювання виконання завдань тренінгу;
- оцінювання виконання завдань для самостійної роботи;
- екзамен.

9. Критерії, форми поточного та підсумкового контролю.

Підсумковий бал (за 100-бальною шкалою) з дисципліни «Алгоритми та структури даних» визначається як середньозважена величина, залежно від питомої

ваги кожної складової залікового кредиту:

Модуль 1		Модуль 2		Модуль 3	Модуль 4	Модуль 5
10 %	10 %	10 %	10 %	5%	15%	40%
Поточне оцінювання	Модульний контроль 1	Поточне оцінювання	Модульний контроль 2	Тренінг	Самостійна робота	Екзамен
Оцінювання виконання лабораторних робіт (4 роботи)	- 10 тестових питань - одне практичне завдання	Оцінювання виконання лабораторних робіт (8 робіт)	- 20 тестових питань - одне практичне завдання	Виконання завдань тренінгу (4 завдання)	Виконання завдання для самостійної роботи	Два теоретичних питання по 30 балів. Одне практичне завдання – 40 балів

Оцінка за «Поточне оцінювання» визначається як середнє арифметичне оцінок, отриманих студентом при виконанні лабораторних робіт. Кожна лабораторна робота оцінюється за 100-бальною шкалою на основі якості виконання та відповідності поставленим завданням. Бали нараховуються відповідно до таких критеріїв:

- 15 балів - розуміння теоретичних відомостей (розкриття понятійного апарату відповідно до теми лабораторної роботи);
- 25 балів - правильність логіки розв’язання (коректність реалізації, правильний вибір підходу чи алгоритмічних структур);
- 10 балів - якість виконання (унікальність рішення, стиль програмування, читабельність коду, оптимізація, наявність коментарів);
- 10 балів - результативність / тестування (програма видає коректний результат, наявність тестових прикладів);
- 10 балів - аналіз і висновки (опис отриманих результатів, засоби їх досягнення, аналітичні порівняння з іншими підходами);
- 30 балів - захист лабораторної роботи (відповіді на запитання викладача, демонстрація розуміння суті роботи).

Модульний контроль проводиться у формі виконання тестових завдань з однією правильною відповіддю. Тестовий контроль складається з теоретичних питань та одного практичного завдання, що передбачає проведення практичних дій перед вибором варіанту відповіді. Частка виконання практичного завдання становить 40% (40 балів при правильній відповіді) у підсумку. Відповідно частка теоретичних тестових питань становить 60% (60 балів). Максимальний бал за виконання теоретичних питань модульного контролю залежить від середнього арифметичного правильних відповідей (наприклад, якщо тестів 20 і студент відповів на 15 правильно, то результат рівний 15/20 = 0,75, тобто 75% від максимально можливого балу). Для розрахунку використовується наступна формула:

$$S_{теор}=\text{кількість правильних відповідей / загальна кількість питань}\times 60.$$

Підсумкове значення виконання тестового контролю визначається сумою балів отриманих при виконанні тестових і практичних завдань

Тренінг оцінюється за повнотою реалізації, якістю коду, тестуванням та аналізом ефективності виконання завдань відповідно п. 7 даної робочої програми. Оцінювання рівня виконання завдань тренінгу проводиться викладачем за 100-бальною шкалою згідно таблиці 1.

Таблиця 1 – Критерії оцінювання тренінгу

Завдання	Макс. бал	Високий рівень	Достатній рівень	Середній рівень	Низький рівень
1. Обґрунтування вибору середовища реалізації	20	18–20: аргументоване, з порівнянням альтернатив	14–17: достатньо аргументоване, але без альтернатив	10–13: поверхове, лише загальні причини	0–9: відсутнє або невідповідне
2. Програмна реалізація алгоритму	30	27–30: повна реалізація, структурований код	22–26: реалізація з незначними недоліками	15–21: часткова відповідність, помилки	0–14: невідповідність або відсутність
3. Відлагодження та тестування	20	18–20: системне тестування, різні випадки	14–17: тестування часткове	10–13: поверхове, з помилками	0–9: тестування не проведено
4. Оцінка складності алгоритму	20	18–20: повна оцінка часової і просторової складності	14–17: оцінка часткова або з неточностями	10–13: поверхова оцінка	0–9: відсутня
5. Звіт та презентація результатів	10	9–10: повний, структурований, зрозумілий	7–8: оформлений з дрібними недоліками	5–6: неповний, відсутні важливі елементи	0–4: відсутній або формальний
Разом	100	-	-	-	-

Модуль «Самостійна робота» оцінюється викладачем за якістю виконаного індивідуального завдання та звіту відповідно до критеріїв, визначених у розділі 6 «Самостійна робота» цієї робочої програми. Підсумковий бал розраховується як сума оцінок за окремими критеріями, наведеними у таблиці 2.

Таблиця 2 - Критерії оцінювання самостійної роботи

Завдання	Макс. бал	Високий рівень	Достатній рівень	Середній рівень	Низький рівень
1. Глибина дослідження та аналізу теми	30	27–30: глибокий аналіз, сучасні джерела, висновки	21–26: аналіз повний, але з незначними прогалинами	15–20: поверховий аналіз, обмежені джерела	0–14: слабкий аналіз, тема не розкрита
2. Оригінальність підходу до розв'язання	20	18–20: креативний, нестандартний підхід, власні ідеї	14–17: частково оригінальний підхід	10–13: здебільшого типове рішення	0–9: відсутня оригінальність
3. Побудова схеми алгоритму	25	23–25: чітка, схема, відповідає задачі	18–22: правильна схема з дрібними неточностями	12–17: схема частково відповідає задачі	0–11: відсутня або неправильна схема
4. Перевірка алгоритму (тестування)	25	23–25: системне тестування, аналіз результатів	18–22: тестування часткове	12–17: поверхове тестування	0–11: тестування не проведено
Разом	100	-	-	-	-

Виконання екзамену з дисципліни передбачає відповідь на два теоретичних питання вагою 30% кожне та виконання практичного завдання вагою 40%.

Оцінювання кожного теоретичного питання (максимум 30 балів) здійснюється викладачем на основі наступних критеріїв:

- 27–30 балів – відповідь повна, чітка, правильно викладена, з прикладами або поясненням термінів;
- 21–26 балів – відповідь правильна, але з незначними неточностями або без прикладів;
- 15–20 балів – частково правильна відповідь, пропущені важливі аспекти;
- 0–14 балів – відповідь неправильна або відсутня.

Оцінювання виконання практичного завдання (максимум 40 балів) проводиться у відповідності до наступних критеріїв:

- 36–40 балів – завдання виконано повністю, реалізація правильна, проведено тестування та зроблено аналіз результатів;
- 30–35 балів – завдання виконано з незначними помилками або неповним аналізом;
- 20–29 балів – частково виконане завдання, є помітні помилки;
- 10–19 балів – завдання виконано формально, результат неповний або некоректний;
- 0–9 балів – завдання не виконано або виконано неправильно.

Отримана оцінка за національною шкалою ECTS виставляється відповідно до шкали оцінювання рівня знань:

Шкала оцінювання:

За шкалою Університету	За національною шкалою	За шкалою ECTS
90-100	відмінно	A (відмінно)
85-89	добре	B (дуже добре)
75-84		C (добре)
65-74	задовільно	D (задовільно)
60-64		E (достатньо)
35-59	незадовільно	FX (незадовільно з можливістю повторного складання)
1-34		F (незадовільно з обов'язковим повторним курсом)

10. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

№	Найменування
1	Комп’ютери з доступом до мережі Інтернет
3	Пакет програм MS Office
4	Мультимедійний проектор та проєкційний екран
5.	Комунікаційна навчальна платформа (Moodle)

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ
ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА

1. Адітья Бхаргава Грокаємо алгоритми. Ілюстрований посібник для програмістів і допитливих. – ArtHuss:2023. – 256с.
2. Булгакова О. С. Алгоритмізація і програмування: теорія та практика : навчальний посібник для дистанційного навчання / О. С. Булгакова, В. В. Зосімов, Г. В. Ходякова. – Миколаїв: СПД Румянцева, 2021. 138 с.
3. Коваль В.С. Завдання для самостійної роботи з дисципліни «Алгоритми і структури даних». Тернопіль: ФОП Шпак В. Б., 2022. 21 с.
4. Коваль В.С. Практикум з дисципліни «Алгоритми і структури даних». Тернопіль: ФОП Шпак В. Б., 2022 – 21 с.
5. Коваль В.С., Васильків Н.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Алгоритми та структури даних» - Тернопіль: ФОП Шпак В. Б., 2022. - 63 с.
6. Креневич Андрій. Алгоритми та структури даних / підручник. — Київ: ВПЦ "Київський Університет", 2021. — 200 с.
7. Олексій Васильєв Алгоритми: навчальний посібник: Видавництво Ліра-К, 2022. 424с.
8. Шаховська Н.Б., Голощук Р.О. Алгоритми і структури даних: посібник. – Львів: Магнолія-2006, 2020. - 215 с.

9. Donald Ervin Knuth. Art of Computer Programming, Volume 4B, The: Combinatorial Algorithms, Addison-Wesley Professional; 1st edition, 2022. – 732 pp.

ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

1. Igor Yakymenko, Mykhailo Kasianchuk, Vasyl Yatskiv, Ruslan Shevchuk, Vasyl Koval, Solomiya Yatskiv. Sustainability and time complexity estimation of cryptographic algorithms main operations on elliptic curves // 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, Deggendorf, GERMANY, 15-17 September 2021, pp 494-498.
2. Jay Wengrow. A Common-Sense Guide to Data Structures and Algorithms: Level Up Your Core Programming Skills [2 ed.], - The Pragmatic Programmers, LLC, 2020. – 481 pp.
3. Koval, V., Yatskiv, V., Yakymenko, I., Zahorodnia, D. A Lossless Image Compression Algorithm Based on Group Encoding // Proceedings of the 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2020 - Proceedings, 2020, pp. 871–874.
4. Sergienko Ivan V. Elements of the General Theory of Optimal Algorithms / Ivan V. Sergienko, Valeriy K. Zadiraka, Oleg M. Lytvyn, - Springer International Publishing, 2022. – 378 c.
5. Yatskiv V., Tsavolyk T., Yatskiv N., Koval V., Ivasiev S. Algorithm and data encoding/decoding devices based on two-dimensional modular correction codes. Proceedings of the 4th International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security (IntelITSIS 2023), Khmelnytskyi, Ukraine, March 22–24, 2023, Vol-3373, 2023, ISSN 1613-0073. – pp. 388-400.
6. Data Structures and Algorithms. https://www.coursera.org/learn/msft-data-structures-and-algorithms