

Додаток до робочої програми навчальної дисципліни
«Теорія алгоритмів»

Дію робочої програми продовжено: на 2021/2022 н. р.

Заступник декана факультету комп'ютерних наук з навчальної роботи



Євгенія КОЛОВАНОВА

«25» червня 2021 р.

Голова науково-методичної комісії факультету комп'ютерних наук



Анатолій БЕРДНІКОВ

«25» червня 2021 р.

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра штучного інтелекту та програмного забезпечення

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор
з науково-педагогічної роботи

Антон ПАНТЕЛЕЙМОНОВ

2020 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Теорія алгоритмів

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський) рівень
галузь знань	12 Інформаційні технології
спеціальність	122 Комп'ютерні науки
освітня програма	Комп'ютерні науки
вид дисципліни	обов'язкова
факультет	комп'ютерних наук

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету комп'ютерних наук
«31» серпня 2020 року, протокол № 12

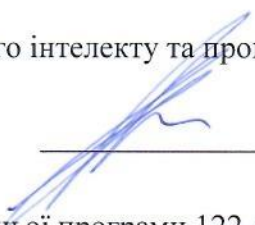
РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

кандидат технічних наук, доцент кафедри штучного інтелекту та програмного
забезпечення **Олешко Олег Іванович,**

кандидат технічних наук, доцент кафедри моделювання систем та технологій **Щебенюк
Володимир Сергійович.**

Програму схвалено на засіданні кафедри штучного інтелекту та програмного забезпечення
Протокол від «31» серпня 2020 року № 1

Завідувач кафедри штучного інтелекту та програмного забезпечення


_____ Володимир КУКЛІН

Програму погоджено з гарантом освітньої програми 122 «Комп'ютерні науки»

Гарант освітньої програми 122 «Комп'ютерні науки»


_____ Микола СТВЕРВОЄДОВ

Програму погоджено методичною комісією факультету комп'ютерних наук

Протокол від «31» серпня 2020 року № 1

Голова методичної комісії факультету комп'ютерних наук


_____ Анатолій БЕРДНІКОВ

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни "Теорія алгоритмів" складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є засвоєння студентами знань та навичок по використанню та складанню алгоритмів, спеціалізованих для вирішення різних класів задач.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є:

- формування та обробка складних структур даних на основі базових типів;
- ознайомлення з ефективними методами зберігання інформації;
- розгляд великого класу алгоритмів для сортування даних;
- ознайомлення з особливостями розв'язання задач із графами;
- вивчення методів складання алгоритмів та пошуку найбільш ефективного для вирішення того чи іншого типу задач.

Загальні компетентності (ЗК).

- ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК3. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК6. Здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК8. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- ЗК10. Здатність бути критичним і самокритичним.
- ЗК11. Здатність приймати обґрунтовані рішення.
- ЗК12. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
- ЗК13. Здатність діяти на основі етичних міркувань.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (ФК)

- ФК1. Здатність до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування
- ФК2. Здатність до виявлення статистичних закономірностей недетермінованих явищ, застосування методів обчислювального інтелекту, зокрема статистичної, нейромережевої та нечіткої обробки даних, методів машинного навчання та генетичного програмування тощо.
- ФК3. 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.
- ФК4. Здатність використовувати сучасні методи математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, розробляти моделі й алгоритми чисельного

розв'язування задач математичного моделювання, враховувати похибки наближеного чисельного розв'язування професійних задач

- ФК5. Здатність здійснювати формалізований опис задач дослідження операцій в організаційно-технічних і соціально-економічних системах різного призначення, визначати їх оптимальні розв'язки, будувати моделі оптимального управління з урахуванням змін економічної ситуації, оптимізувати процеси управління в системах різного призначення та рівня ієрархії.
- ФК6. Здатність до системного мислення, застосування методології системного аналізу для дослідження складних проблем різної природи, методів формалізації та розв'язування системних задач, що мають суперечливі цілі, невизначеності та ризику.
- ФК7. Здатність застосовувати теоретичні та практичні основи методології та технології моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів і систем, проводити обчислювальні експерименти з обробкою й аналізом результатів.
- ФК8. 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.
- ФК11. Здатність до інтелектуального аналізу даних на основі методів обчислювального інтелекту включно з великими та погано структурованими даними, їхньої оперативної обробки та візуалізації результатів аналізу в процесі розв'язування прикладних задач.
- ФК15. Здатність до аналізу та функціонального моделювання бізнес-процесів, побудови та практичного застосування функціональних моделей організаційно-економічних і виробничо-технічних систем, методів оцінювання ризиків їх проектування.
- ФК16. Здатність реалізовувати високопродуктивні обчислення на основі хмарних сервісів і технологій, паралельних і розподілених обчислень при розробці й експлуатації розподілених систем паралельної обробки інформації.

1.3. Кількість кредитів – 4

1.4. Загальна кількість годин – 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
2-й	-й
Семестр	
3-й	-й
Лекції	
32 год.	_____ год.
Практичні, семінарські заняття	
_____ год.	_____ год.
Лабораторні заняття	
32 год.	_____ год.
Самостійна робота	
56 год.	_____ год.
У тому числі індивідуальні завдання	
40 год.	_____ год.

1.6. Заплановані результати навчання

знати:

- алгоритми складання словників та кодування тексту;
- ефективні алгоритми пошуку інформації у масивах даних;
- алгоритми сортування;
- алгоритми вирішення завдань, пов'язаних із графами;
- методи розробки алгоритмів.

вміти:

- застосовувати складні структури даних, методи та алгоритми для обробки різномірної інформації та вирішування складних обчислювальних завдань.

В результаті вивчення дисципліни у студента повинні сформуватися наступні програмні результати навчання (ПРН).

- ПРН1. Застосовувати знання основних форм і законів абстрактно-логічного мислення, основ методології наукового пізнання, форм і методів вилучення, аналізу, обробки та синтезу інформації в предметній області комп'ютерних наук
- ПРН5. 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.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Складні структури даних.

Тема 1. Коди Хаффмана.

Аналіз текстів та складання кодів кожного символу за алгоритмом Хаффмана. Повторення вмінь по використанню складених структур даних (запис, дерево, динамічний масив дерев) та роботі з текстовими файлами.

Тема 2. Навантажене дерево.

Складання словника за даним набором слів. Повторення та закріплення вмінь по використанню складених структур даних (запис, дерево, односпрямований список) та роботі з текстовими файлами.

Тема 3. Хешування.

Зберігання інформації з швидким пошуком. Методи розв'язання колізій за допомогою закритого та відкритого хешування та методу ланцюгів (масив односпрямованих списків).

Тема 4. Піраміда.

Принцип черги з пріоритетом на базі алгоритму піраміди.

Розділ 2. Алгоритми сортування

Тема 5. Поняття сортування. Елементарні методи сортування. Швидке сортування.

Сортування масиву простими методами (вибором, вставками, бульбашковим сортуванням). Повторення рекурсивного методу для швидкого сортування.

Тема 6. Піромідалне сортування. Сортування злиттям.

Використання алгоритму піраміди для сортування масиву. Вирішення проблеми сортування великого масиву, складеного з двох відсортованих, за допомогою алгоритму злиття.

Тема 7. Кишенькове сортування. Сортування підрахунком. Зовнішнє сортування.

Інші методи сортування. Вирішення проблеми сортування масиву, що за розмірами перевищує об'єм динамічної пам'яті (зовнішнє сортування у файлах).

Розділ 3. Алгоритми на графах

Тема 8. Орієнтований, неорієнтований граф. Зважений граф.

Способи запису орієнтованих та неорієнтованих графів у комп'ютерній програмі. Поняття ваги ребра графа.

Тема 9. Пошук найкоротшого шляху в орієнтованому графі.

Алгоритми Дейкстри та Беллмана-Форда пошуку найкоротших шляхів від однієї вершини графа до інших.

Тема 10. Остовні дерева мінімальної вартості.

Алгоритми Крускала та Пріма для пошуку остовних дерев мінімальної вартості в неорієнтованому графі.

Розділ 4. Методи розробки алгоритмів

Тема 11. Динамічне програмування.

Вирішення великої задачі шляхом виконання часткових завдань та зберігання відповідей.

Тема 12. "Жадібні" алгоритми.

Приклади "жадібних" алгоритмів з попередніх тем. Задача комівояжера.

Тема 13. Пошук з поверненням.

Пошук часткових рішень у задачах з перестановками.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	ср	
1	2	3	4	5		7
Розділ 1. Складні структури даних						
Тема 1. Коди Хаффмана.	5	2		2		1
Тема 2. Навантажене дерево.	5	2		2		1
Тема 3. Хешування.	5	2		2		1
Тема 4. Піраміда.	5	2		2		1
Разом за розділом 1	20	8		8		4
Розділ 2. Алгоритми сортування						
Тема 5. Поняття сортування. Елементарні методи сортування. Швидке сортування.	10	4		4		2
Тема 6. Пірамідальне сортування. Сортування злиттям.	10	4		4		2
Тема 7. Кишенькове сортування. Сортування підрахунком. Зовнішнє сортування.	10	4		4		2
Разом за розділом 2	30	12	0	12	0	6
Розділ 3. Алгоритми на графах						
Тема 8. Орієнтований, неорієнтований граф. Зважений граф.	9	4		4		1
Тема 9. Пошук найкоротшого шляху в орієнтованому графі.	5	2		2		1
Тема 10. Основні дерева мінімальної вартості.	5	2		2		1
Разом за розділом 3	19	8		8		3
Розділ 4. Методи розробки алгоритмів						
Тема 11. Динамічне програмування.	3	1		1		1
Тема 12. "Жадібні" алгоритми.	3	1		1		1
Тема 13. Пошук з поверненням.	5	2		2		1
Курсова робота	40				40	
Разом за розділом 4	51	4		4	40	3
Усього годин	120	32		32	40	16

4. Теми практичних (лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Розділ 1. Складні структури даних		
1	Коди Хаффмана.	2
2	Навантажене дерево.	2
3	Хешування.	2
4	Піраміда.	2
Розділ 2. Алгоритми сортування		
1	Елементарні методи сортування: вибором, вставками, бульбашкове.	4
2	Пірамідалне сортування. Сортування злиттям.	4
3	Кишенькове сортування. Сортування підрахунком.	4
Розділ 3. Алгоритми на графах		
1	Орієнтований та неорієнтований зважені графи.	4
2	Пошук найкоротшого шляху в графі (алгоритм Беллмана-Форда).	2
3	Остовні дерева мінімальної вартості (алгоритм Прима).	2
Розділ 4. Методи розробки алгоритмів		
1	Динамічне програмування.	1
2	"Жадібні" алгоритми.	1
3	Пошук з поверненням.	2
	Разом	32

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
Розділ 1. Складні структури даних		
1	Для заданого тексту розробити словник на основі алгоритму навантаженого дерева. Реалізувати функцію перевірки тексту на орфографію. Підготовка до контрольної роботи	4
Розділ 2. Алгоритми сортування		
1	Розробити програму з використанням внутрішніх алгоритмів сортування (вибіркове, вставкою, "бульбашкове", швидке). Порівняти їх ефективності за швидкістю сортування для різних вихідних даних.	2
2	Реалізувати алгоритм зовнішнього сортування на основі алгоритму злиття. Відсортувати значення у заданому типізованому файлі з використанням додаткової пам'яті та без неї.	4
Розділ 3. Алгоритми на графах		
1	Роздрукувати найкоротші шляхи в орієнтованому графі з однієї вершини до всіх інших за допомогою алгоритму Дейкстри.	3
Розділ 4. Методи розробки алгоритмів		
1	Використати метод пошуку з поверненням для вирішення задачі розташування ферзів на дошці заданого розміру.	3
	Курсова робота	40
	Разом	56

6. Індивідуальні завдання (курсова робота)

Як наукове та навчально-дослідне завдання кожен студент має виконати курсову роботу, яка передбачає розробку комп'ютерної програми, що реалізує алгоритм, обраний студентом із списку запропонованих:

1. *Хешування.*
Реалізувати алгоритми відкритого, закритого хешування та хешування методом ланцюжків.
2. *2-3-дерево.*
Реалізувати основні операції для 2-3-дерева: додавання, видалення, друк, пошук значення.
3. *Червоно-чорне дерево.*
Реалізувати основні операції для червоно-чорного дерева: додавання, видалення, друк, пошук значення.
4. *AVL-дерево.*
Реалізувати основні операції для AVL-дерева: додавання, видалення, друк, пошук значення, балансування.
5. *Сильно пов'язані компоненти.*
В орієнтованому графі знайти всі пов'язані компоненти та їх кількість.
6. *Порядкові статистики.*
В заданому масиві шукати заданий за номером максимальний та заданий мінімальний елементи.
7. *Фільтр Блума.*
Реалізувати Фільтр Блума з декількома хеш-функціями. Проаналізувати роботу алгоритма для різних параметрів (розміру фільтра, кількості елементів, кількості хеш-функцій).
8. *Дераміда.*
Реалізувати основні операції для дераміди: додавання, видалення, друк, пошук значення, пошук пріоритету заданого значення.
9. *Алгоритм множення матриць Штрассена.*
Реалізувати алгоритми множення матриць звичайним способом та способом Штрассена. Порівняти алгоритми за швидкістю для матриць рідного розміру.
10. *Тест Міллера-Рабіна.*
Для заданого числа визначити, чи складне воно, чи просте.
11. *Алгоритм Кнута-Морріса-Пратта.*
У заданому рядку шукати всі входження іншого заданого рядку. Таким чином проаналізувати текстовий файл.
12. *Тренажер «Прості схеми сортування».*
Розробити програму, яка може навчити простим схемам сортування заданого масиву: вибіркового, вставкою, "бульбашковому". Передбачити наявність зрозумілого інтерфейсу.
13. *Тренажер «Швидке сортування».*
Розробити програму, яка може навчити алгоритму швидкого сортування заданого масиву. Передбачити наявність зрозумілого інтерфейсу.
14. *Тренажер «Пірамідальне сортування».*
Розробити програму, яка може навчити алгоритму пірамідального сортування заданого масиву. Передбачити наявність зрозумілого інтерфейсу.
15. *Тренажер «Сортування злиттям».*
Розробити програму, яка може навчити алгоритму сортування заданого масиву злиттям. Передбачити наявність зрозумілого інтерфейсу.
16. *Алгоритм швидкого сортування та його візуалізація.*

- Реалізувати покрокове сортування заданого масиву методом швидкого сортування з візуалізацією основних етапів.
17. *Алгоритм пірамідального сортування та його візуалізація.*
Реалізувати покрокове сортування заданого масиву методом пірамідального сортування з візуалізацією основних етапів.
 18. *Піраміда. Візуалізація основних операцій.*
Реалізувати покрокову візуалізацію операцій додавання та видалення значень в піраміді.
 19. *Навантажене дерево. Візуалізація основних операцій.*
Реалізувати покрокову візуалізацію операцій додавання, видалення та пошуку слів у словнику, який створено на основі алгоритму навантаженого дерева.
 20. *Алгоритм побудови кодів Хаффмана та його візуалізація.*
Реалізувати покрокову візуалізацію пошуку бінарних кодів для кожного символу з наданого рядка за допомогою алгоритму Хаффмана.
 21. *2-3-дерево. Візуалізація основних операцій.*
Реалізувати покрокову візуалізацію операцій додавання, видалення та пошуку значень у 2-3-дереві.
 22. *Червоно-чорне дерево. Візуалізація основних операцій.*
Реалізувати покрокову візуалізацію операцій додавання, видалення та пошуку значень у червоно-чорному дереві.
 23. *АВЛ-дерево. Візуалізація основних операцій.*
Реалізувати покрокову візуалізацію операцій додавання, видалення та пошуку значень в АВЛ-дереві.
 24. *Дераміда. Візуалізація основних операцій.*
Реалізувати покрокову візуалізацію операцій додавання, видалення та пошуку значень у дераміді.
 25. *Неорієнтований граф. Візуалізація обходів в ширину та в глибину.*
Для заданого неорієнтованого графа реалізувати покрокову візуалізацію алгоритму обходів в ширину та в глибину.
 26. *Візуалізація алгоритму Дейкстри для пошуку найкоротшого шляху в графі.*
Для заданого орієнтованого зваженого графа реалізувати покрокову візуалізацію алгоритму Дейкстри для пошуку найкоротшого шляху з однієї вершини до всіх інших.
 27. *Візуалізація алгоритму Беллмана-Форда для пошуку найкоротшого шляху в графі.*
Для заданого орієнтованого зваженого графа реалізувати покрокову візуалізацію алгоритму Беллмана-Форда для пошуку найкоротшого шляху з однієї вершини до всіх інших.
 28. *Візуалізація алгоритму Прима для побудови остовного дерева мінімальної вартості.*
Для заданого орієнтованого зваженого графа реалізувати покрокову візуалізацію алгоритму Прима для побудови остовного дерева мінімальної вартості.
 29. *Візуалізація алгоритму Крускала для побудови остовного дерева мінімальної вартості.*
Для заданого орієнтованого зваженого графа реалізувати покрокову візуалізацію алгоритму Крускала для побудови остовного дерева мінімальної вартості.

7. Методи навчання

Як правило лекційні та практичні заняття проводяться аудиторне. В умовах дії карантину заняття проводяться відповідно до Наказу ректора Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (аудиторне або дистанційно за допомогою платформ Google Meet або Zoom).

8. Методи контролю

Контроль засвоєння навчального матеріалу здійснюється шляхом:

- прийому та оцінювання звітів з виконання індивідуальних завдань з курсової роботи;
- прийому та оцінювання завдань самостійної роботи;
- проведення контрольної роботи;
- проведення письмового підсумкового контролю знань.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота														Контрольна робота, передбачена НП	Індивідуальне завдання (КП)	Разом	Залік	Сума
Розділ 1				Розділ 2			Розділ 3			Розділ 4								
T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3						
2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	2	2	2	10	20	60	40	100	

Критерії оцінювання практичних занять

Протягом семестру студент має виконати 15 практичних завдань за відповідними темами. Кожне завдання складається з двох пунктів (алгоритмів або їх фрагментів) і оцінюється в 2 бали: або студент їх виконав коректно, або ні. Таким чином, загалом за практичні завдання можна отримати 30 балів.

Критерії оцінювання контрольної роботи

Студент має виконати контрольну роботу з курсу, яка передбачена навчальним планом підготовки. Робота оцінюється в 10 балів.

9-10 балів:

- студент демонструє глибоке розуміння теми питання
- студент повністю розкриває сутність питання
- в роботі наведені приклади, якщо це необхідно
- текст роботи викладено лаконічно, чітко, логічно та послідовно.
- робота демонструє високий рівень засвоєння матеріалу курсу

7-8 балів:

- студент демонструє розуміння теми питання
- студент в цілому розкриває сутність питання
- в роботі наведені деякі з необхідних прикладів
- текст роботи викладено в цілому логічно та послідовно
- робота демонструє хороший рівень засвоєння матеріалу курсу

5-6 балів:

- студент демонструє базове розуміння теми питання
- студент частково розкриває сутність питання
- в роботі не наведені необхідні приклади
- текст роботи викладено в цілому логічно, але не завжди послідовно
- робота демонструє середній рівень засвоєння матеріалу курсу

3-4 балів:

- студент демонструє часткове розуміння теми питання
- студент не достатньо розкриває сутність питання
- в роботі не наведені необхідні приклади
- текст роботи викладено дещо хаотично та не завжди логічно
- робота демонструє часткове засвоєння матеріалу курсу

1-2 балів:

- студент дещо помилково розуміє тему питання
- студент не розкриває сутність питання
- в роботі не наведені необхідні приклади
- текст роботи викладено хаотично та не логічно
- робота демонструє мінімальний рівень засвоєння матеріалу курсу

0 балів: робота відсутня**Критерії оцінювання курсової роботи**

Курсова робота оцінюється сумарно в 20 балів. Оцінка складається з таких елементів:

Критерій	Бали
Документація та теоретична частина	5
Проектування і опис програми	5
Код у відповідності з вимогами	4
Тестування	2
Якість презентації	2
Доповідь та відповіді на запитання	2
Всього	20

Критерії оцінювання виконання залікової письмової роботи

В кінці семестру студент має виконати письмову залікову роботу. Ця робота виконуються в аудиторії. Вона розрахована на 1 пару (80 хвилин), складається з двох питань, на які треба дати вільну розгорнуту відповідь, та оцінюються у 40 балів. Кожне питання має фіксовану максимальну кількість балів 20 та оцінюється окремо таким чином:

- повна, розгорнута відповідь, що містить приклади та додаткові відомості, які були опрацьовані протягом семестру на самостійній роботі – 100 % від запланованої кількості балів за питання;
- повна, але не розгорнута відповідь, відсутність достатньої кількості прикладів – 90 % від запланованої кількості балів за питання;
- повна, але не розгорнута відповідь, що містить незначні помилки чи неточності – 80 % від запланованої кількості балів за питання;
- неповна відповідь, що не містить критичних помилок та неточностей – 70 % від запланованої кількості балів за питання;
- неповна відповідь, що містить істотні, але не критичні помилки або неточностей – 50 % від запланованої кількості балів за питання;

- відповідь, що в цілому вірна, але містить критичну помилку чи неточність – 25 % від запланованої кількості балів за питання;
- відповідь не вірна, не дана на поставлене запитання або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендована література

Основна література

1. Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein. Introduction to Algorithms. – The MIT Press; 3rd edition, 2009. – 1292 pp.
2. Alfred V. Aho, Jeffrey D. Ullman, John E. Hopcroft. Data Structures and Algorithms. – Massachusetts: Pearson, 1983. – 427 pp.
3. Dasgupta Sanjoy, Papadimitriou Christos, Vazirani Umesh. Algorithms. – McGraw-Hill Education, 2006. – 336 pp.
4. Wirth Niklaus. Algorithms and Data Structures. – Prentice Hall, 1985. – 288 pp.
5. Knuth Donald. The Art of Computer Programming, Vol. 1: Fundamental Algorithms. – Addison-Wesley Professional, 1997. – 672 pp.
6. Knuth Donald. The Art of Computer Programming, Vol. 3: Sorting and Searching. – Addison-Wesley Professional, 1998. – 800 pp.

Допоміжна література

1. Edsger W. Dijkstra. A Discipline of Programming. – Pearson, 1976. – 217 pp.
2. Charles F. Bowman. Algorithms and Data Structures: An Approach in C. – Oxford University Press, 2004. – 348 pp.
3. Michael Soltys. An Introduction to the Analysis of Algorithms. – World Scientific Publishing Company, 2009. – 150 pp.
4. Daniel H. Greene, Donald E. Knuth. Mathematics for the Analysis of Algorithms. – Birkhäuser, 2014. – 144 pp.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Алгоритми на графах: [Електронний ресурс] // Wikipedia the free encyclopedia, 2001-2021. Режим доступу: <https://u.to/zutYHQ>