

О. Г. Трофименко, Ю. В. Прокоп, О. Г. Янковський

Алгоритми та структури даних

Навчальний посібник
для підготовки здобувачів вищої освіти
галузі знань F «Інформаційні технології»

Одеса
Фенікс
2026

УДК 004.421: 004.422.63 (075.8)
Т 76

*Рекомендовано навчально-методичною радою
Національного університету «Одеська юридична академія»
(протокол № 8 від 23 квітня 2026 р.)*

Рецензенти:

Савельєва О. С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих систем та програмних технологій інституту комп'ютерних систем Національного університету «Одеська політехніка»;
Горбаченко С. А. – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри кібербезпеки Національного університету «Одеська юридична академія».

Трофименко О. Г., Прокоп Ю. В., Янковський О. Г.

Т 76 Алгоритми та структури даних: навч. посібник [Електронне видання] / О. Г. Трофименко, Ю. В. Прокоп, О. Г. Янковський. – Одеса : Фенікс, 2026. – 409 с. URL: <https://hdl.handle.net/11300/33401>

ISBN 978-617-8763-23-7

Розглянуто лінійні та нелінійні структури, алгоритми пошуку й сортування, рекурсивні методи, хешування та автомати. Особливу увагу приділено аналізу складності алгоритмів, практичним прикладам їх застосування у пошукових системах, базах даних, компіляторах та біоінформатиці. Кожен розділ завершується контрольними запитаннями для самоперевірки, що сприяє закріпленню знань і формуванню навичок самостійного мислення. Посібник адресовано студентам закладів вищої освіти, викладачам та всім, хто прагне системно опанувати алгоритми та структури даних.

Для підготовки здобувачів вищої освіти галузі знань F «Інформаційні технології».

УДК 004.421: 004.422.63 (075.8)

© О. Г. Трофименко, Ю. В. Прокоп, О. Г. Янковський, 2026

ЗМІСТ

Передмова	6
Розділ 1 Основи аналізу алгоритмів.....	9
1.1 Основи оцінювання складності алгоритмів.....	9
1.2 Алгоритм та приклади оцінювання складності.....	11
Контрольні запитання для самоконтролю	16
Розділ 2 Лінійні структури даних.....	17
2.1 Специфіка динамічних структур даних	17
2.1.1 Класифікація динамічних структур даних	17
2.1.2 Оголошення динамічних структур даних.....	19
2.1.3 Доступ до даних у динамічних структурах	20
2.1.4 Порівняння структури списків і масивів	21
2.2 Лінійні списки.....	23
2.2.1 Однозв'язні лінійні списки.....	23
2.2.2 Двозв'язні лінійні списки	53
2.3 Циклічні списки.....	58
2.3.1 Циклічні однозв'язні списки.....	58
2.3.2 Циклічні двозв'язні списки	69
2.4 Черга і стек.....	78
Контрольні запитання для самоконтролю	85
Розділ 3 Нелінійні структури даних	87
3.1 Дерева	87
3.1.1 Різновиди дерев	87
3.1.2 Бінарні дерева	95
3.1.3 Самобалансовані бінарні дерева пошуку (AVL-дерева).....	137
3.1.4 Бінарна купа та пріоритетна черга	149
3.2 Графи	157
3.2.1 Термінологія графів	157
3.2.2 Способи програмного подання графів	162
3.2.3 Алгоритми пошуку на графах.....	174
3.3 Асоціативні структури даних.....	237
3.3.1 Хеш-таблиці.....	238
3.3.2 Множини	243
3.3.3 Словники (Map / Dictionary).....	245
Контрольні запитання для самоконтролю	250
Розділ 4 Рекурсивні алгоритми	252
4.1 Специфіка рекурсії.....	252
4.2 Типи рекурсії	253
4.2.1 Лінійна рекурсія	254
4.2.2 Хвостова рекурсія	255
4.2.3 Двійкова рекурсія.....	257

4.2.4 Обопільна рекурсія	259
4.2.5 Вкладена рекурсія	262
4.3 Аналіз рекурсивних алгоритмів.....	264
4.3.1 Рекурентні співвідношення.....	265
4.3.2 Метод дерева рекурсії.....	269
4.3.3 Майстер-теорема	272
4.4 Оптимізація та перетворення рекурсії в ітерацію.....	276
4.5 Рекурсія у графіці та моделюванні.....	279
Контрольні запитання для самоконтролю	285
Розділ 5 Алгоритми сортування.....	287
5.1 Специфіка алгоритмів сортування	287
5.2 Базові алгоритми сортування.....	289
5.2.1 Сортування бульбашкою (Bubble Sort).....	289
5.2.2 Сортування вибором (Selection Sort).....	293
5.2.3 Сортування вставками (Insertion Sort)	295
5.2.4 Сортування Шелла (Shell Sort)	299
5.3 Ефективні алгоритми сортування.....	302
5.3.1 Швидке сортування (Quick Sort)	303
5.3.2 Сортування злиттям (Merge Sort)	306
5.3.3 Сортування купою (Heap Sort).....	309
5.4 Непорівняльні алгоритми сортування.....	310
5.4.1 Сортування підрахунком (Counting Sort).....	311
5.4.2 Сортування за розрядами (Radix Sort)	313
5.4.3 Сортування за відрами (Bucket Sort)	316
5.5 Порівняння алгоритмів сортування.....	319
Контрольні запитання для самоконтролю	321
Розділ 6 Алгоритми пошуку даних.....	322
6.1 Загальні принципи пошуку даних	322
6.1.1 Класифікація алгоритмів пошуку.....	322
6.1.2 Вимоги до даних при виборі алгоритму пошуку	323
6.1.3 Оцінка складності пошуку	325
6.1.4 Практичне значення алгоритмів пошуку.....	326
6.2 Пошук числових даних	328
6.2.1 Лінійний пошук	328
6.2.2 Бінарний пошук	329
6.2.3 Інтерполяційний пошук.....	333
6.2.4 Пошук у хеш-таблицях	335
6.3 Пошук текстових даних	336
6.3.1 Прямий пошук підрядка	336
6.3.2 Алгоритм Кнута-Морріса-Пратта (KMP)	339
6.3.3 Алгоритми Бойєра–Мура (BM) та Бойєра–Мура–Хорспула (BMH)	344
6.3.4 Алгоритм Рабіна–Карпа	351
6.3.5 Пошук у словниках (hash maps) та префіксних деревах (tries)	353
6.4 Практичні аспекти вибору алгоритму.....	357

6.4.1 Вибір алгоритму залежно від типу даних.....	357
6.4.2 Баланс між часом і пам'яттю	360
Контрольні запитання для самоконтролю	361
Розділ 7 Алгоритми хешування	362
7.1 Поняття хешування та термінологія.....	362
7.2 Методи розв'язання колізій.....	365
7.2.1 Метод ланцюжків	365
7.2.2 Відкрита адресація	376
7.2.3 Порівняння методів розв'язання колізій.....	389
Контрольні запитання для самоконтролю	391
Розділ 8 Автомати	392
8.1 Поняття автомата	392
8.2 Синхронні автомати	395
8.3 Асинхронні автомати	398
Контрольні запитання для самоконтролю	402
Список використаної та рекомендованої літератури.....	403

Передмова

Сучасна інформатика та програмування неможливі без глибокого розуміння алгоритмів і структур даних. Саме вони становлять фундамент будь-якої інформаційної системи, визначають її ефективність, масштабованість та надійність. Вибір правильної структури даних і відповідного алгоритму пошуку чи сортування часто є вирішальним чинником у розробці програмного забезпечення.

Метою навчального посібника «Алгоритми та структури даних» є систематизоване викладення основних алгоритмів і структур даних, які застосовуються у практиці програмування та комп'ютерних наук. Посібник побудований за принципом поступового ускладнення матеріалу: від базових лінійних структур до складних алгоритмів пошуку, сортування, хешування та автоматів. Такий підхід дозволяє студентам не лише засвоїти теоретичні основи, а й навчитися застосовувати їх у реальних задачах.

Навчальна дисципліна «Алгоритми і структури даних» присвячена вивченню програмних засобів роботи з алгоритмами та структурами даних здобувачами вищої освіти в університетах України, що навчаються за освітньо-кваліфікаційним рівнем «бакалавр» галузі знань F «Інформаційні технології», переважно на другому курсі навчання бакалаврату спеціальностей F2, F3 та інших. У західних вишах такі змістові розділи здебільшого входять у курс CS2.

Дисципліна знайомить майбутніх розробників програмного забезпечення з особливостями проєктування, розроблення та аналізу алгоритмів, а також із методами оцінювання ефективності алгоритмів, динамічними структурами даних і алгоритмами на графах тощо. Набуті компетентності сприятимуть написанню ефективного робочого коду при розробленні нових проєктів. Нині на співбесідах ІТ-компаній та під час оцінювання кандидатів часто ключовими є питання з алгоритмів і розв'язування задач (problem solving). Алгоритмічні завдання часто становлять суттєву частину технічної співбесіди. Здебільшого такі завдання полягають у неочевидному вирішенні, а не у реалізації, і дають змогу з'ясувати здатність фахівця до розроблення нового функціоналу програмного продукту та оптимізації наявного, що дасть змогу і далі просувати компанії вгору. Адже розуміння принципів роботи алгоритмів і структур даних під час розроблення програмного забезпечення дає змогу покращити продуктивність програм, поліпшити якість коду і підвищити його швидкодію, а тому є фундаментальним для становлення майбутніх програмістів. Алгоритми використовуються практично в усіх сферах інформаційних технологій: у криптографії, під час аналізу текстів, зображень і відео, в біоінформатиці, аналізі великих даних, штучному інтелекті, задачах оптимізації тощо.

Метою навчальної дисципліни є формування у здобувачів базових компетентностей щодо ефективної організації даних, вибору алгоритмів і структур даних для розв'язання задач та написання продуктивного програмного коду. Завдання навчальної дисципліни: вивчення поширених алгоритмів розв'язання задач із використанням складних структур даних, розуміння специфіки організації лінійних

і нелінійних структур даних як необхідних атрибутів програмних конструкцій, що допоможе ефективно використовувати у подальшій практичній діяльності за фахом.

Розділ 1 присвячено основам аналізу алгоритмів: часовій і просторовій складності, асимптотичним оцінкам O , Ω , Θ та прикладам порівняння алгоритмів за витратами часу й пам'яті.

Розділ 2 присвячено базовим лінійним структурам – спискам, чергам і стекам. Детально розглядаються їхні властивості, способи оголошення та доступу до елементів, а також порівняння ефективності різних реалізацій. Особливу увагу приділено однозв'язним і двозв'язним спискам, циклічним варіантам та практичним прикладам використання у програмуванні.

У *розділі 3* розглянуто нелінійні структури даних – дерева та графи, а також асоціативні структури даних: хеш-таблиці, множини й словники. Пояснено термінологію, різновиди дерев і алгоритми пошуку на них, а також способи подання графів у програмному коді. Окремо проаналізовано алгоритми обходу графів і пошуку шляхів (DFS, BFS, Дейкстра, A^*) та їх порівняння. Завершує розділ огляд хеш-таблиць, множин і словників як прикладів асоціативних структур.

Розділ 4 пояснює принципи рекурсії та її різновиди: лінійну, хвостову, двійкову, обопільну й вкладену. Розглянуто аналіз рекурсивних алгоритмів, їх оптимізація та перетворення у ітераційні форми. Окремо показано застосування рекурсії у графіці та моделюванні, що допомагає студентам зрозуміти практичну цінність цього підходу.

У *розділі 5* систематизовано базові та ефективні алгоритми сортування: від простих (Bubble Sort, Selection Sort, Insertion Sort) до більш складних (Quick Sort, Merge Sort, Heap Sort). Розглянуто також непорівняльні методи (Counting Sort, Radix Sort, Bucket Sort). Розділ завершується порівнянням алгоритмів за складністю та практичними прикладами їх застосування.

Розділ 6 охоплює загальні принципи пошуку даних, класифікацію таких алгоритмів та вимоги до даних. Розглянуто числові методи (лінійний, бінарний, інтерполяційний пошук, пошук у хеш-таблицях) та текстові алгоритми (КМР, ВМ, ВМН, Рабіна-Карпа). Окремо аналізується пошук у словниках і префіксних деревах. Практичні аспекти стосуються вибору алгоритму залежно від типу даних та баланс між часом і пам'яттю.

У *розділі 7* пояснюється поняття хешування, його термінологія та методи розв'язання колізій. Розглянуто метод ланцюжків, відкриту адресацію та порівняння їх ефективності. Матеріал допомагає зрозуміти, як хешування забезпечує швидкий доступ до даних і використовується у словниках, базах даних та компіляторах.

Розділ 8 знайомить із поняттям автоматів, їх класифікацією на синхронні та асинхронні. Пояснюється роль автоматів у моделюванні процесів, аналізі мов та побудові систем керування. Розділ демонструє, як абстрактні моделі автоматів застосовуються у практичних задачах інформатики та інженерії.

Тим самим кожен розділ має чітку дидактичну спрямованість: від фундаментальних структур до прикладних алгоритмів і моделей. Особливу увагу приділено

аналізу складності алгоритмів, практичним прикладам їх використання у пошукових системах, базах даних, компіляторах та інших інформаційних технологіях. Кожен розділ завершується контрольними запитаннями для самоперевірки, що сприяє закріпленню матеріалу та формуванню навичок самостійного мислення.

Матеріал посібника подано послідовно й доступно, з акцентом на вивчення та програмну реалізацію класичних алгоритмів і структур даних. Численні наочні приклади програмної реалізації поширених алгоритмів сортування та пошуку даних, формування та опрацювання різних структур даних (лінійні списки (однорозв'язні, дворозв'язні, циклічні), стек, черга, дерева, графи, автомати) допоможуть у сприйнятті матеріалу та спонукатимуть до його практичної реалізації. Щоб не звужувати вибір читача щодо мовних засобів реалізації, а зосередити його на особливостях того чи іншого алгоритму, автори навели приклади реалізації різними популярними мовами програмування (C++, Java, JS, Python). Тому посібник може використовуватись як джерело прикладів, вправ і програм для опрацювання. Систематизований та логічно послідовний виклад змісту курсу сприятиме поліпшенню якості підготовки студентів в цілому.

Посібник адресовано студентам закладів вищої освіти, викладачам та всім, хто прагне системно опанувати алгоритми та структури даних. Він може бути корисним як для початківців, так і для тих, хто вже має досвід програмування та бажає поглибити свої знання.

Автори сподіваються, що запропонований до вашої уваги посібник стане корисним, і будуть щиро вдячні за доброзичливу та конструктивну критику й відгуки.

E-mail: egt@ukr.net.

УВАГА!

Повна версія навчального посібника розташована
на сайті дистанційного навчання факультету
кібербезпеки та інформаційних технологій
Національного університету "Одеська юридична
академія"

за адресою: <https://cyber.onua.edu.ua>

З усіх питань стосовно повної версії навчального
посібника звертатися за адресою:
trofymenko@onua.edu.ua

Список використаної та рекомендованої літератури

- 1) A Tour of C++: Containers and Algorithms. URL: <https://isocpp.org/files/papers/4-Tour-Algo-draft.pdf>
- 2) Algorithms for Competitive Programming. Topological Sorting. 2025. URL: <https://cp-algorithms.com/graph/topological-sort.html>
- 3) Analysis of Algorithms. Algorithms, 4th Edition / Robert Sedgewick, Kevin Wayne. URL: <https://algs4.cs.princeton.edu/14analysis/>
- 4) AVL Trees in Java. *Baeldung*. URL: <https://www.baeldung.com/java-avl-trees>
- 5) Balandina N., Trofymenko O., Yevdokymov D. Analysis of the Correspondence Between DCT and Non-Classical Walsh-Hadamard Transforms for Code-Controlled Steganography. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*. 2026. Vol. 18 (1). P. 9-17. DOI: <https://doi.org/10.54554/jtec.2026.18.01.002>
- 6) Boost C++ Libraries. Bellman Ford Shortest Paths. Current documentation. URL: https://www.boost.org/doc/libs/latest/libs/graph/doc/bellman_ford_shortest.html
- 7) C++. Теорія та практика: навч. посібник / [О. Г. Трофименко, Ю. В. Прокоп, І. Г. Швайко, Л. М. Буката та ін.] ; за ред. О. Г. Трофименко. Одеса : ВЦ ОНАЗ, 2011. 587 с.
- 8) C++. Алгоритмізація та програмування : підручник / О.Г. Трофименко, Ю.В. Прокоп, Н.І. Логінова, О.В. Задерейко. 2-ге вид. перероб. і доповн. Одеса : Фенікс, 2019. 477 с.
- 9) Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C. Introduction to Algorithms. 4th ed. Cambridge, Massachusetts; London: The MIT Press, 2022. 1312 p.
- 10) cppreference. `std::priority_queue`. 2025. URL: https://en.cppreference.com/w/cpp/container/priority_queue.html
- 11) CS 161. Lecture 2: Asymptotic Notation, Worst-Case Analysis, and MergeSort. Stanford University. URL: <https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs161/cs161.1204/Lectures/Lecture2/Lecture2-compressed.pdf>
- 12) CS 161. Lecture 3. Stanford University. URL: <https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs161/cs161.1168/lecture3.pdf>
- 13) Dijkstra's Algorithm for Adjacency List Representation. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/dijkstras-algorithm-for-adjacency-list-representation-greedy-algo-8/>
- 14) Dijkstra's Algorithm: The Shortest Path Algorithm. URL: <https://www.analyticssteps.com/blogs/dijkstras-algorithm-shortest-path-algorithm>
- 15) Dijkstra's Shortest Path Algorithm. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/dijkstras-shortest-path-algorithm-greedy-algo-7/>
- 16) Dijkstra's Shortest Path Algorithm. URL: <https://brilliant.org/wiki/dijkstras-short-path-finder/>
- 17) Introduction to Algorithms (SMA 5503). Lecture 1: Administrivia; Introduction; Analysis of Algorithms, Insertion Sort, Mergesort. Massachusetts Institute of Technology, Fall 2005. URL: <https://ocw.mit.edu/courses/6-046j-introduction->

- to-algorithms-sma-5503-fall-2005/resources/lecture-1-administrivia-introduction-analysis-of-algorithms-insertion-sort-mergesort/
- 18) Introduction to Algorithms. Massachusetts Institute of Technology, Spring 2020. URL: https://ocw.mit.edu/courses/6-006-introduction-to-algorithms-spring-2020/1869dbf640ded6b31f1bd369d2001ef5_MIT6_006S20_r03.pdf
 - 19) Introduction to Data Structures and Algorithms. URL: <https://www.studytonight.com/data-structures/introduction-to-data-structures>.
 - 20) Lecture 2: Asymptotic Notation; Recurrences; Substitution, Master Method. Massachusetts Institute of Technology, 2005. URL: <https://ocw.mit.edu/courses/6-046j-introduction-to-algorithms-sma-5503-fall-2005/resources/lecture-2-asymptotic-notation-recurrences-substitution-master-method/>
 - 21) Linked List. Data Structure and Algorithms. URL: https://www.tutorialspoint.com/data_structures_algorithms/linked_list_algorithms.htm.
 - 22) Linked List. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/linked-list-set-2-inserting-a-node>
 - 23) Marcello La Rocca. Advanced Algorithms and Data Structures. Manning Publications Co, 2021. 768 p.
 - 24) Massachusetts Institute of Technology. Lecture 07: Recurrences. Mathematics for Computer Science, Spring 2024. URL: https://ocw.mit.edu/courses/6-1200j-mathematics-for-computer-science-spring-2024/mit6_1200j_s24_lec07.pdf
 - 25) Massachusetts Institute of Technology. Lecture 7: Recurrences. *Mathematics for Computer Science*, 2024. URL: https://ocw.mit.edu/courses/6-1200j-mathematics-for-computer-science-spring-2024/resources/61200-sp24-lecture07-2024feb29_mp4/
 - 26) Mehlhorn K., Sanders P. Algorithms and Data Structures : The Basic Toolbox. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co, 2008. 300 p.
 - 27) Narasimha Karumanchi. Puzzles Taschenbuch. Data Structures and Algorithms Made Easy. 2016. 415 p.
 - 28) National University of Singapore. Tutorial 02: Recurrences and Master Theorem. *CS3230 Design and Analysis of Algorithms*, 2025. URL: <https://www.comp.nus.edu.sg/~stevenha/cs3230/tutorials/tut02.pdf>
 - 29) NetworkX Developers. topological_sort – NetworkX 3.6.1 documentation. 2026. URL: https://networkx.org/documentation/stable/reference/algorithms/generated/networkx.algorithms.dag.topological_sort.html
 - 30) OpenDSA Project. Solving Recurrence Relations. Current online edition. URL: <https://opensa-server.cs.vt.edu/ODSA/Books/Everything/html/Recurrence.html>
 - 31) Oracle. PriorityQueue (Java SE 26 & JDK 26). 2026. URL: <https://docs.oracle.com/en/java/javase/26/docs/api/java.base/java/util/PriorityQueue.html>
 - 32) Pfenning F. Lecture 16: AVL Trees: Principles of Imperative Computation. Carnegie Mellon University, Spring 2026. URL: <https://www.cs.cmu.edu/~15122/handouts/lectures/16-avl.pdf>
 - 33) Prokop Yu., Chykunov P., Nestoruk N., Trofymenko O. Impact of a problem-based approach on IT student learning. *IEEE 19th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*. 16-19 October 2024. Lviv, Ukraine. P. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSIT65290.2024.10982647>
 - 34) Prokop Y.V., Trofymenko O.G., Kapustin M.M. A study of software development tools that are required in the job market in Ukraine and the world. *Proceedings of*

- the O.S. Popov ONAT*. 2018. Vol. 2, P. 101-108. DOI: <https://doi.org/10.33243/2518-7139-2018-1-2-101-108>.
- 35) Prokop Y.V., Trofymenko O.G., Voronoy S.M. Structure of the geographical block for archival information retrieval systems. *Наукові праці ДонНТУ. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка"*. 2020. №1(30). С. 90–100. DOI: <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2020-1-30-90-100>.
 - 36) Prokop Y., Trofymenko O., Zadereyko O. Developing code style skills in students. *IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*. October 19-21, 2023, Lviv, Ukraine. P. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSIT61576.2023.10324182>
 - 37) Python Software Foundation. graphlib – Functionality to operate with graph-like structures. Python 3.14.3 Documentation. 2026. URL: <https://docs.python.org/3/library/graphlib.html>
 - 38) Python Software Foundation. heapq – Heap queue algorithm. Python 3.14.3 Documentation. 2026. URL: <https://docs.python.org/3/library/heapq.html>
 - 39) Recurrence Relations - Master Theorem. CS 161. Section 2. Stanford University. URL: https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs161/cs161.1236/Sections/Section2/Section2_Solutions.pdf
 - 40) Red-Black Tree vs. AVL Tree. *Baeldung on Computer Science*. 2024. URL: <https://www.baeldung.com/cs/red-black-tree-vs-avl-tree>
 - 41) Sedgewick R., Wayne K. Algorithms. 4th ed. Boston : Addison-Wesley Professional, 2011. 955 p. URL: <https://algs4.cs.princeton.edu/>
 - 42) Skiena S. S. The Algorithm Design Manual. 3rd ed. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2020. 793 p. <https://archive.org/details/2008-book-the-algorithm-design-manual>
 - 43) Sorting Algorithms Animations. URL: <https://www.toptal.com/developers/sorting-algorithms>
 - 44) Trofymenko O. G., Prokop Yu. V., Dyka A. I., Karahuts O. S. Efficiency of sorting algorithms in TypeScript. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation*. 2024. Vol. 3. P. 146-153. DOI: <https://doi.org/10.15276/imms.v14.no3.146>.
 - 45) Understanding the Dijkstra algorithm by intuition and step by step. *Medium*. URL: <https://medium.com/@ndmitry/understanding-the-dijkstra-algorithm-by-intuition-and-step-by-step-2d132813b248>.
 - 46) Алгоритм Дейкстри. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Дейкстри
 - 47) Алгоритми і структури даних: навч. посібник / В. М. Ткачук. Івано-Франківськ: Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2016. 286 с. URL: <http://194.44.152.155/elib/local/2399.pdf>
 - 48) Алгоритми і структури даних. Комп'ютерний практикум: навч. посібник / Л.М. Бугаєва, Д.О. Ковалюк. К.: НТУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, 2022. 34 с. URL: <http://surl.li/wnaazs>
 - 49) Алгоритми і структури даних: опорний конспект. URL: http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/24160/1/fkit_kn_pzs_asd_LEK.pdf
 - 50) Алгоритми і структури даних: практикум: навч. посіб. / Н.К. Стратієнко, М.Д. Годлевський, І.О. Бородіна. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. 224 с <http://surl.li/hlxceb>

- 51) Алгоритми та їх властивості. URL: <http://formula.co.ua/blog/alhorytmy-ta-jih-vlastyvosti/>
- 52) Алгоритми та структури даних: навч. посібник / Т. О. Коротєєва. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 280 с.
- 53) Алгоритми та структури даних: навч.-метод. посібник / Бульба С.С., Бречко В.О., Далека В.Д. Харків: НТУ «ХП», 2021. 141 с. <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/f1a76423-2e85-4658-aeec-be167ac02e1c/content>
- 54) Алгоритми, дані і структури: навч. посібник / В.М. Ільман, О.П. Іванов, Л.О. Панік. Дніпропет. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро, 2019. 134 с. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/16eada7c-c082-46f7-af81-1d6e97ac9320/content>
- 55) Вступ до алгоритмів: переклад з англ. третього видання [Introduction to Algorithms, Third Edition] / Т.Г. Кормен, Ч.Е. Лейзерсон, Р. Л. Рівест, К. Стайн. К.: К.І.С., 2019. 1288 с. URL: <http://surl.li/smwzoq>
- 56) Вступ у використання рекурсії в C++. URL: <https://harmyder.wordpress.com/2011/07/25/вступ-у-використання-рекурсії-в-с-част/>
- 57) Дирда О.О., Трофименко О.Г. Оптимізації рекурсивних алгоритмів засобами мемоізації. *Інформаційне суспільство: проблеми та перспективи* : матер. IX всеукр. наук.-практ. конф. (24 травня 2024). Одеса, 2024. С. 18-23. <https://doi.org/10.32837/11300.27842>
- 58) Комп'ютерні технології та програмування. Програмування структурованих даних : метод. вказівки для лаб. і практ. робіт / Трофименко О.Г., Прокоп Ю.В., Буката Л.М. Ч. 2. Одеса: ВЦ ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2016. 134 с.
- 59) Корнійчук М.М., Трофименко О.Г. Оцінка часової складності деяких алгоритмів сортування у популярних мовах програмування. *Інформаційне суспільство: проблеми та перспективи* : матер. VIII всеукр. наук.-практ. конф. (2 червня 2023). Одеса, 2023. С. 72-74. <https://doi.org/10.32837/11300.25263>.
- 60) Крєневич А.П. Алгоритми і структури даних. Підручник. К.: ВПЦ "Київський Університет", 2021. 200 с. URL: <http://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2021/09/pidruchnyk-alhorytmy-i-struktury-danykh.pdf>
- 61) Кузьменко І. М., Дацюк О. А. Базові алгоритми та структури даних: навч. посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 137 с. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48256/1/Bazovi.pdf>
- 62) Лобода Ю.Г., Трофименко О.Г., Михелев І.Л., Гайдаєнко О.В., Ворона М.В. Мультиагентний підхід до забезпечення стабільності конвеєрів обробки даних з використанням розподілених сховищ. *Кибербезпека: освіта, наука, техніка*. 2026. № 4(32). С. 198–213. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2026.32.1104>
- 63) Мелешко Є.В., Якименко М.С., Поліщук Л.І. Алгоритми та структури даних: навч. посібник. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф. 2019. 156 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/8944/Алгоритми%20та%20структури%20даних.pdf>.
- 64) Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Алгоритми та структури даних" / уклад.: М. А. Гринченко, Є. О. Мошко; Харків:

- НТУ "ХПІ", 2023. 42 с. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/72548>
- 65) Організація баз даних : навч. посібник / О.Г. Трофименко, Ю.В. Прокоп, Н.І. Логінова, І. М. Копитчук. 2-ге вид. виправ. і доповн. Одеса: Фенікс, 2019. 246 с. ISBN 978-966-928-395-5. URL: <https://hdl.handle.net/11300/11778>
 - 66) Основи програмування. Опрацювання структурованих типів: метод. вказівки для лаб. і практ. робіт / Трофименко О. Г., Прокоп Ю. В., Швайко І. Г., Буката Л. М. Ч. 2. Одеса: ВЦ ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2014. 132 с.
 - 67) Прокоп Ю. В., Трофименко О. Г., Толокнов А. А., Дубовой Я. В. Комплексний аналіз підходів до викладання курсів CS1 і CS2 в університетах світу та України. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки*. 2021. № 2. С. 18-30. DOI: <https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2021.229502>
 - 68) Прокоп Ю. В., Трофименко О. Г., Шевченко О.В., Новіков Д.І. Візуалізація як засіб покращення ефективності засвоєння курсу алгоритмів та структур даних. *Наукові праці ДонНТУ. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка"*. 2023. №1(36). С. 97–103. DOI: <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2023-1-36-97-103>
 - 69) Прокоп Ю.В., Трофименко О.Г., Дикий О.В. Дослідження підходів до викладання курсу "Алгоритми та структури даних" для студентів ІТ-спеціальностей. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2021. Том 32 (71) Ч. 1 № 2. С. 216-220. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-1/34>
 - 70) Прокоп Ю.В., Трофименко О.Г., Задерейко О.В. Аналіз підходів у викладанні початкового курсу програмування в університетах. *Системні технології*. 2021. № 4 (135). С. 73-84. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-135-2021-08>.
 - 71) Старіков І. Р., Трофименко О. Г. Алгоритми у back-end засобами Java. *Кіберпростір в умовах війни та глобальних викликів ХХІ століття: теорія та практика*: матер. міжнар. наук.-практ. конф. Одеса, 24 листопада 2023 р. Одеса: НУ «ОЮА», 2023. С.148-152. <https://doi.org/10.32837/11300.27179>.
 - 72) Старіков І.Р., Трофименко О.Г. Застосування структур даних у back-end засобами Java. *Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ*: матер. міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Вінниця, 20-21 листопада 2023. С.271-272. <https://hdl.handle.net/11300/27979>
 - 73) Трофименко О. Г., Задерейко О.В., Янковський О. Г., Каіров В.О., Морозова Г.С. Системний аналіз алгоритмів генерації лабіринтів для інтерактивних ігрових середовищ. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. № 2(30). С. 259-279. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.30.972>
 - 74) Трофименко О. Г., Манаков С. Ю., Чикунів П. О., Лобода Ю.В., Гурін Є.П. Маршрутизація в мікрофронтендних застосунках: архітектурні підходи, виклики та шляхи їх вирішення. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. № 3(31). С. 635-651. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.31.1057>
 - 75) Трофименко О. Г., Новіков Д. І. Візуалізація алгоритму Дейкстри. *Інформаційне суспільство: проблеми та перспективи* : матер. VII всеукр. наук.-практ. конф. (20 травня 2022). Одеса, 2022. С. 47-51. DOI:

<https://doi.org/10.32837/11300.17736>.

- 76) Трофименко О. Г., Прокоп Ю. В., Задерейко О. В. Алгоритмізація та програмування: навч.-метод. посібник. Одеса: Фенікс, 2020. 310 с. URL : <http://dspace.onua.edu.ua/handle/11300/12345>. ISBN 978-966-928-484-6
- 77) Трофименко О.Г., Ковальський О.О. Алгоритм DSW балансування та його візуалізація. *Сучасні технології в енергетиці, електромеханіці, системах управління та машинобудуванні*: матер. VI всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції. Харків, 06-07 грудня 2023 р. С. 30-31. URL: <https://www.npppi.in.ua/index.php/abit/2-uncategorised/270-naukovi-konferentsiyi>
- 78) Трофименко О.Г., Прокоп Ю.В., Корнійчук М.М. Аналіз впливу мов програмування на швидкодію алгоритмів сортування. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ)*: матер. XI міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 21-23 вересня 2023 р. С. 208-210. URL: <http://icst-conf.com/2023.pdf>
- 79) Трофименко О.Г., Прокоп Ю.В., Чепурна О.Є., Корнійчук М.М. Порівняння швидкодії алгоритмів сортування у різних мовах програмування. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2023. № 1(21). С. 86-98. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.21.8698>.
- 80) Трофименко О.Г., Прокоп Ю.В., Янковський О.Г. Структури даних: практикум: навч.-метод. посібник. Одеса: Фенікс, 2022. 115 с. ISBN 978-966-928-807-3. URL: <http://dspace.onua.edu.ua/handle/11300/22765>
- 81) Трофименко О.Г., Ращевський В.Д. Порівняння структур даних для високонавантажених сервісів. *Сучасні технології в енергетиці, електромеханіці, системах управління та машинобудуванні*: матер. VIII всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції. Харків, 17 грудня 2025 р. С. 12-14. URL: <https://www.npppi.in.ua/index.php/abit/2-uncategorised/270-naukovi-konferentsiyi>
- 82) Трофименко О.Г., Шляхтицький Д.С. Застосування теорії графів для планування навчального процесу. *Сучасні технології в енергетиці, електромеханіці, системах управління та машинобудуванні*: матер. VI всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції. Харків, 06-07 грудня 2023 р. С. 35. URL: <https://www.npppi.in.ua/index.php/abit/2-uncategorised/270-naukovi-konferentsiyi>
- 83) Чикунів П.О., Манаків С.Ю., Трофименко О.Г. Ефективність алгоритмів систематичного пошуку простих чисел. *Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування»* 2025. № 2(22). С. 146-1454. DOI: <https://doi.org/10.31474/2074-7888-2025-2-22-146-154>
- 84) Шаховська Н. Б., Голощук Р. О. Алгоритми і структури даних: навч. посібник. Львів: Магнолія, 2020. 216 с. URL: <https://victana.lviv.ua/biblioteka/127-alhorytmizatsiya-taprogramuvannya/428-shakhovska-nb-holoshchuk-ro-alhorytmy-i-struktury-danykh>
- 85) Шевченко О.В., Трофименко О.Г. Специфіка візуалізації алгоритмів на деревах засобами мови C++ та бібліотеки Fast Light ToolKit. *Кібербезпека в сучасному світі: актуальні виклики* : матер. IV всеукр. наук.-практ. конф. Одеса, 25 листопада 2022 р. С. 123–126.

Навчальне видання

*Олена Григорівна Трофименко,
Юлія Віталіївна Прокоп,
Олег Георгійович Янковський*

Алгоритми та структури даних

Навчальний посібник
для підготовки здобувачів вищої освіти
галузі знань F «Інформаційні технології»

Електронне видання

В авторській редакції

Ум-друк. арк. 24,36
Зам. № 2602-02.

Видавець ПП «Фенікс»
(Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1044 від 17.09.02).
Україна, м. Одеса, 65009, вул. Зоопаркова, 25.
e-mail: fenix-izd@ukr.net