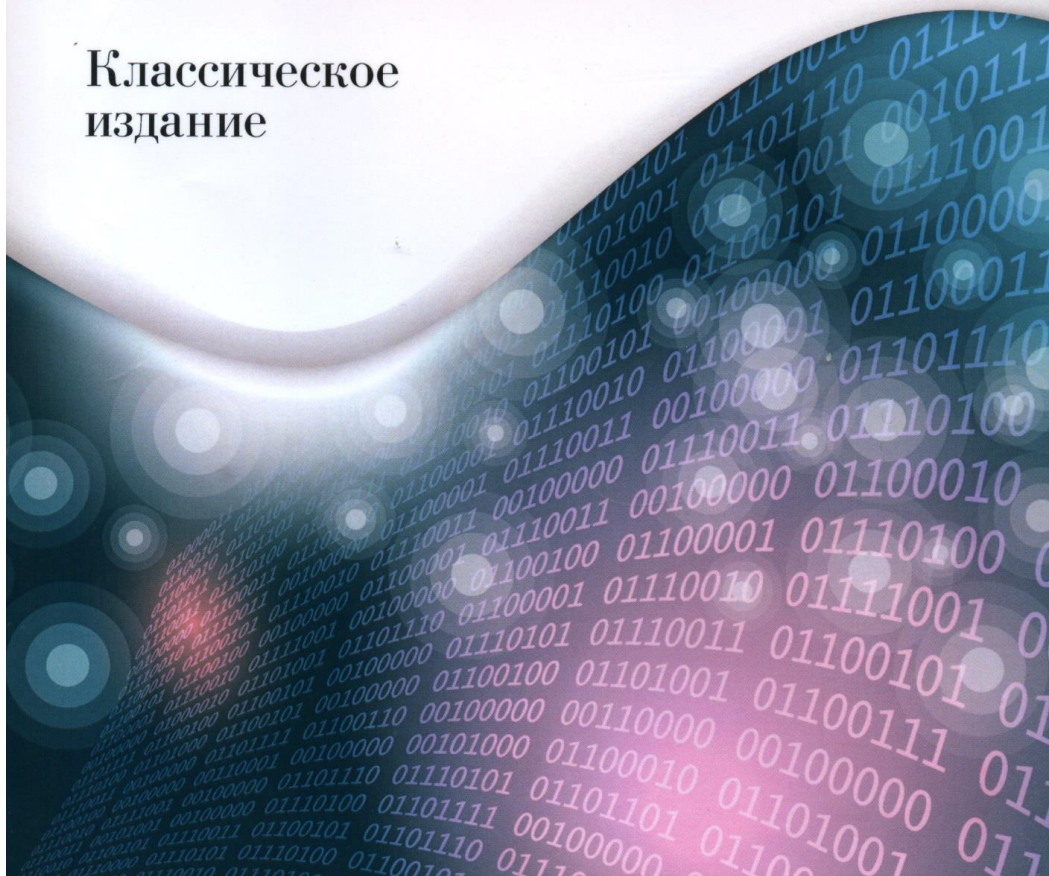


Альфред В. Ахо, Джон Э. Хопкрофт, Джеффри Д. Ульман

# Структуры ДАННЫХ и АЛГОРИТМЫ

---

Классическое  
издание



ББК 32.973.26-018.2.75

A95

УДК 681.3.07

Компьютерное издательство “Диалектика”

По общим вопросам обращайтесь в издательство “Диалектика” по адресу:  
info@dialektika.com, http://www.dialektika.com

**Ахо, Альфред В., Ульман, Джеффри Д., Хопкрофт, Джон Э.**

**A95** Структуры данных и алгоритмы. : Пер. с англ. — СПб. : ООО “Диалектика”, 2019. — 400 с. : ил. — Парал. тит. англ.

ISBN 978-5-6041393-6-3 (рус.)

**ББК 32.973.26-018.2.75**

Все названия программных продуктов являются зарегистрированными торговыми марками соответствующих фирм.

Никакая часть настоящего издания ни в каких целях не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, если на это нет письменного разрешения издательства Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Rights to this book were obtained by arrangement with Addison-Wesley Longman, Inc.

*Научно-популярное издание*

**Альфред В. Ахо, Джеффри Д. Ульман, Джон Э. Хопкрофт**

**Структуры данных и алгоритмы**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ СЕМЕНА КУЗНЕЦА  
**БИБЛИОТЕКА** 5

289988

ООО “Диалектика”, 195027, Санкт-Петербург, Магнитогорская ул., д. 30, лит. А, пом. 848

ISBN 978-5-6041393-6-3 (рус.)  
ISBN 0-2010-0023-7 (англ.)

© Компьютерное изд-во “Диалектика”, 2019  
© Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 1987

# Оглавление

<b>Предисловие</b>	<b>12</b>
<b>ГЛАВА 1. Построение и анализ алгоритмов</b>	<b>15</b>
<b>ГЛАВА 2. Основные абстрактные типы данных</b>	<b>45</b>
<b>ГЛАВА 3. Деревья</b>	<b>79</b>
<b>ГЛАВА 4. Основные операторы множеств</b>	<b>105</b>
<b>ГЛАВА 5. Специальные методы представления множеств</b>	<b>151</b>
<b>ГЛАВА 6. Ориентированные графы</b>	<b>189</b>
<b>ГЛАВА 7. Неориентированные графы</b>	<b>214</b>
<b>ГЛАВА 8. Сортировка</b>	<b>234</b>
<b>ГЛАВА 9. Методы анализа алгоритмов</b>	<b>272</b>
<b>ГЛАВА 10. Методы разработки алгоритмов</b>	<b>283</b>
<b>ГЛАВА 11. Структуры данных и алгоритмы для внешней памяти</b>	<b>318</b>
<b>ГЛАВА 12. Управление памятью</b>	<b>346</b>
<b>Список литературы</b>	<b>377</b>
<b>Предметный указатель</b>	<b>383</b>

# Содержание

<b>Предисловие</b>	<b>12</b>
Представление алгоритмов	12
Содержание книги	12
Упражнения	13
Благодарности	14
<b>ГЛАВА 1. Построение и анализ алгоритмов</b>	<b>15</b>
1.1. От задачи к программе	15
Алгоритмы	16
Псевдоязык и пошаговая “кристаллизация” алгоритмов	20
Резюме	22
1.2. Абстрактные типы данных	23
Определение абстрактного типа данных	23
1.3. Типы данных, структуры данных и абстрактные типы данных	25
Указатели и курсоры	26
1.4. Время выполнения программ	28
Измерение времени выполнения программ	28
Асимптотические соотношения	29
Ограниченность показателя степени роста	30
Немного соли	32
1.5. Вычисление времени выполнения программ	32
Вызовы процедур	35
Программы с операторами безусловного перехода	36
Анализ программ на псевдоязыке	37
1.6. Практика программирования	37
1.7. Расширение языка Pascal	39
Упражнения	40
Библиографические замечания	44
<b>ГЛАВА 2. Основные абстрактные типы данных</b>	<b>45</b>
2.1. Абстрактный тип данных “Список”	45
2.2. Реализация списков	48
Реализация списков посредством массивов	48
Реализация списков с помощью указателей	50
Сравнение реализаций	54
Реализация списков на основе курсоров	55
Дважды связанные списки	58
2.3. Стеки	59
Реализация стеков с помощью массивов	60
2.4. Очереди	62
Реализация очередей с помощью указателей	63
Реализация очередей с помощью циклических массивов	65
2.5. Отображения	68
Реализация отображений посредством массивов	68
Реализация отображений посредством списков	69

2.6. Стеки и рекурсивные процедуры	70
Исключение “концевых” рекурсий	72
Полное исключение рекурсий	72
Упражнения	74
Библиографические примечания	78
<b>ГЛАВА 3. Деревья</b>	<b>79</b>
3.1. Основная терминология	79
Порядок узлов	80
Прямой, обратный и симметричный обходы дерева	81
Помеченные деревья и деревья выражений	83
Вычисление “наследственных” данных	84
3.2. Абстрактный тип данных TREE	84
3.3. Реализация деревьев	86
Представление деревьев с помощью массивов	87
Представление деревьев с использованием списков сыновей	88
Представление левых сыновей и правых братьев	90
3.4. Двоичные деревья	93
Представление двоичных деревьев	94
Пример: коды Хаффмана	95
Реализация двоичных деревьев с помощью указателей	101
Упражнения	101
Библиографические замечания	104
<b>ГЛАВА 4. Основные операторы множеств</b>	<b>105</b>
4.1. Введения в множества	105
Система обозначений для множеств	106
Операторы АД, основанные на множествах	107
4.2. АД с операторами множеств	107
4.3. Реализация множеств посредством двоичных векторов	111
4.4. Реализация множеств посредством связанных списков	113
4.5. Словари	116
4.6. Реализации словарей	118
4.7. Структуры данных, основанные на хеш-таблицах	119
Открытое хеширование	120
Закрытое хеширование	123
4.8. Оценка эффективности хеш-функций	126
Анализ закрытого хеширования	127
“Случайные” методики разрешения коллизий	129
Реструктуризация хеш-таблиц	131
4.9. Реализация АД для отображений	131
4.10. Очереди с приоритетами	133
4.11. Реализация очередей с приоритетами	135
Реализация очереди с приоритетами посредством частично упорядоченных деревьев	136
Реализация частично упорядоченных деревьев посредством массивов	139
4.12. Некоторые структуры сложных множеств	141
Отношения “многие-ко-многим” и структура мультисписков	142
Структуры мультисписков	143
Эффективность двойных структур данных	146
Упражнения	148
Библиографические примечания	150

<b>ГЛАВА 5. Специальные методы представления множеств</b>	<b>151</b>
5.1. Деревья двоичного поиска	151
5.2. Анализ времени выполнения операторов	155
Эффективность деревьев двоичного поиска	157
5.3. Нагруженные деревья	157
Узлы нагруженного дерева как АТД	160
Представление узлов нагруженного дерева посредством списков	162
Эффективность структуры данных нагруженных деревьев	162
5.4. Реализация множеств посредством сбалансированных деревьев	163
Вставка элемента в 2-3 дерево	165
Удаление элемента из 2-3 дерева	166
Типы данных для 2-3 деревьев	167
Реализация оператора INSERT	168
Реализация оператора DELETE	172
5.5. Множества с операторами MERGE и FIND	174
Простая реализация АТД MFSET	175
Быстрая реализация АТД MFSET	176
Реализация АТД MFSET посредством деревьев	179
Сжатие путей	180
Функция $\alpha(n)$	181
5.6. АТД с операторами MERGE и SPLIT	182
Задача наибольшей общей подпоследовательности	182
Анализ времени выполнения алгоритма нахождения НОП	184
Упражнения	186
Библиографические примечания	188
<b>ГЛАВА 6. Ориентированные графы</b>	<b>189</b>
6.1. Основные определения	189
6.2. Представления ориентированных графов	190
АТД для ориентированных графов	192
6.3. Задача нахождения кратчайшего пути	193
Обоснование алгоритма Дейкстры	195
Время выполнения алгоритма Дейкстры	196
6.4. Нахождение кратчайших путей между парами вершин	197
Сравнение алгоритмов Флойда и Дейкстры	199
Вывод на печать кратчайших путей	199
Транзитивное замыкание	200
Нахождение центра ориентированного графа	201
6.5. Обход ориентированных графов	203
Анализ процедуры поиска в глубину	204
Глубинный остовный лес	204
6.6. Ориентированные ациклические графы	206
Проверка ациклическости орграфа	208
Топологическая сортировка	208
6.7. Сильная связность	209
Упражнения	211
Библиографические примечания	213
<b>ГЛАВА 7. Неориентированные графы</b>	<b>214</b>
7.1. Основные определения	214
Представление неориентированных графов	216

7.2. Остовные деревья минимальной стоимости	217
Свойство остовных деревьев минимальной стоимости	217
Алгоритм Прима	218
Алгоритм Крускала	220
7.3. Обход неориентированных графов	223
Поиск в глубину	223
Поиск в ширину	225
7.4. Точки сочленения и двусвязные компоненты	226
7.5. Паросочетания графов	228
Упражнения	232
Библиографические примечания	233

## **ГЛАВА 8. Сортировка** 234

8.1. Модель внутренней сортировки	234
8.2. Простые схемы сортировки	235
Сортировка вставками	237
Сортировка посредством выбора	238
Временная сложность методов сортировки	239
Подсчет перестановок	239
Ограниченность простых схем сортировки	240
8.3. Быстрая сортировка	241
Временная сложность быстрой сортировки	245
Время выполнения быстрой сортировки в среднем	247
Реализация алгоритма быстрой сортировки	249
8.4. Пирамидальная сортировка	250
Анализ пирамидальной сортировки	253
8.5. “Карманная” сортировка	254
Анализ “карманной” сортировки	257
Сортировка множеств с большими значениями ключей	257
Общая поразрядная сортировка	259
Анализ поразрядной сортировки	260
8.6. Время выполнения сортировок сравнениями	261
Деревья решений	262
Размер дерева решений	263
Анализ времени выполнения в среднем	264
8.7. Порядковые статистики	265
Вариант быстрой сортировки	265
Линейный метод нахождения порядковых статистик	266
Случай равенства некоторых значений ключей	268
Упражнения	269
Библиографические примечания	271

## **ГЛАВА 9. Методы анализа алгоритмов** 272

9.1. Эффективность алгоритмов	272
9.2. Анализ рекурсивных программ	273
9.3. Решение рекуррентных соотношений	274
Оценка решений рекуррентных соотношений	275
Оценка решения рекуррентного соотношения методом подстановки	276
9.4. Общее решение большого класса рекуррентных уравнений	277
Однородные и частные решения	278

Мультипликативные функции	279
Другие управляющие функции	280
Упражнения	280
Библиографические примечания	282
<b>ГЛАВА 10. Методы разработки алгоритмов</b>	<b>283</b>
10.1. Алгоритмы “разделяй и властвуй”	283
Умножение длинных целочисленных значений	284
Составление графика проведения теннисного турнира	286
Баланс подзадач	287
10.2. Динамическое программирование	287
Вероятность победы в спортивных турнирах	288
Задача триангуляции	290
Поиск решений на основе таблицы	295
10.3. “Жадные” алгоритмы	295
“Жадные” алгоритмы как эвристики	296
10.4. Поиск с возвратом	298
Функции выигрыша	300
Реализация поиска с возвратом	301
Альфа-бета отсечение	302
Метод ветвей и границ	304
Ограничения эвристических алгоритмов	304
10.5. Алгоритмы локального поиска	309
Локальные и глобальные оптимальные решения	310
Задача коммивояжера	310
Размещение блоков	313
Упражнения	315
Библиографические примечания	317
<b>ГЛАВА 11. Структуры данных и алгоритмы для внешней памяти</b>	<b>318</b>
11.1. Модель внешних вычислений	318
Стоимость операций со вторичной памятью	319
11.2. Внешняя сортировка	320
Сортировка слиянием	320
Ускорение сортировки слиянием	323
Минимизация полного времени выполнения	323
Многоканальное слияние	324
Многофазная сортировка	325
Когда скорость ввода-вывода не является “узким местом”	326
Схема с шестью входными буферами	328
Схема с четырьмя буферами	329
11.3. Хранение данных в файлах	331
Простая организация данных	332
Ускорение операций с файлами	332
Хешированные файлы	333
Индексированные файлы	334
Несортированные файлы с плотным индексом	336
Вторичные индексы	336
11.4. Внешние деревья поиска	337
Разветвленные деревья поиска	337



В-деревья	338
Поиск записей	338
Вставка записей	339
Удаление записей	339
Время выполнения операций с В-деревом	340
Сравнение методов	341
Упражнения	342
Библиографические примечания	345
<b>ГЛАВА 12. Управление памятью</b>	<b>346</b>
12.1. Проблемы управления памятью	346
12.2. Управление блоками одинакового размера	350
Контрольные счетчики	351
12.3. Алгоритмы чистки памяти для блоков одинакового размера	351
Сборка на месте	353
Алгоритм Дойча   Шорра   Уэйта без использования поля back	359
12.4. Выделение памяти для объектов разного размера	360
Фрагментация и уплотнение пустых блоков	361
Выбор свободных блоков	365
12.5. Методы близнецов	367
Распределение блоков	368
Выделение блоков	369
Возврат блоков в свободное пространство	369
12.6. Уплотнение памяти	371
Задача уплотнения памяти	371
Алгоритм Морриса	373
Упражнения	374
Библиографические примечания	376
<b>Список литературы</b>	<b>377</b>
Предметный указатель	383