

Ватутин Э.И.

Курский государственный технический университет

**СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ
СОРТИРОВКИ МАССИВОВ**

Курск 2007

Основные определения

Массив – упорядоченная именованная последовательность однотипных элементов, хранящаяся в смежных ячейках памяти

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53	26	52	51	34	97	16	32	28	18	68
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Сортировка – расположение элементов массива в соответствии с каким-либо правилом (обычно по возрастанию или убыванию значения ключа)

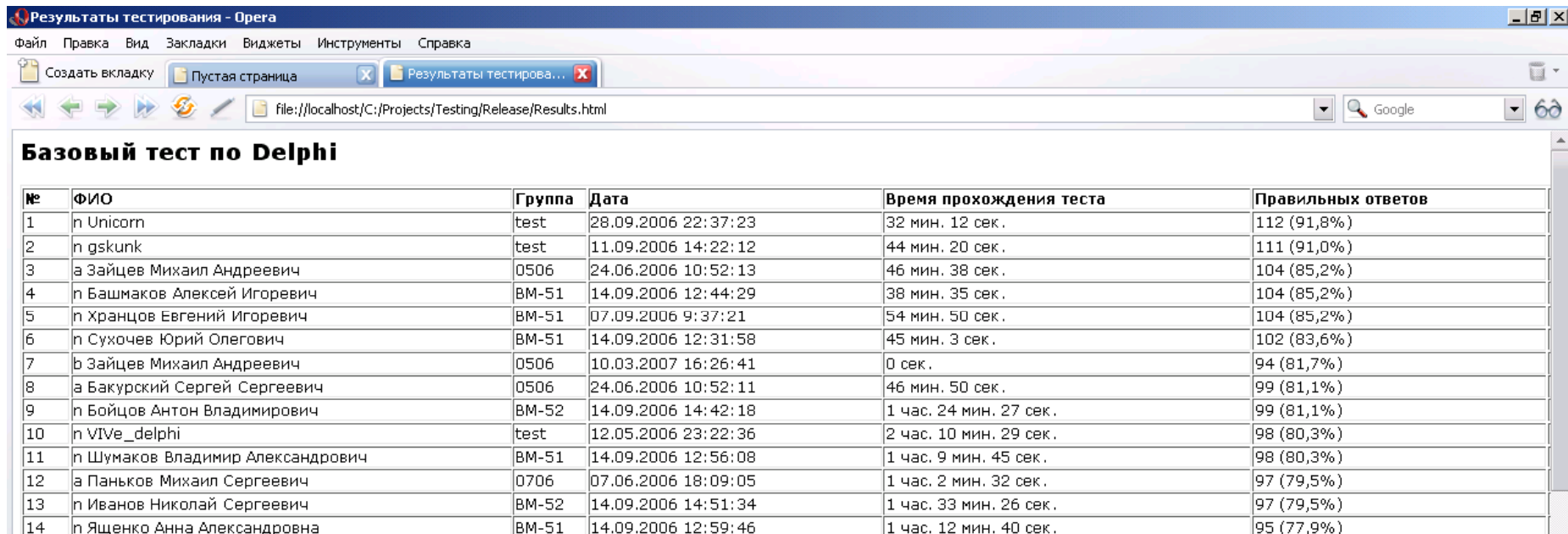
5	16	18	19	21	26	28	32	34	48	51	52	53	54	55	59	68	85	92	97
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$$a_i \leq a_{i+1}, \quad i = \overline{1, N-1}$$

Примеры применения на практике

Программирование – применяются очень часто
(бинарный поиск в отсортированном массиве
производится за время $O(\log_2 N)$, линейный просмотр
элементов – $O(N)$)

Базы данных – сортировка данных перед выводом



№	ФИО	Группа	Дата	Время прохождения теста	Правильных ответов
1	n Unicorn	test	28.09.2006 22:37:23	32 мин. 12 сек.	112 (91,8%)
2	n gskunk	test	11.09.2006 14:22:12	44 мин. 20 сек.	111 (91,0%)
3	а Зайцев Михаил Андреевич	0506	24.06.2006 10:52:13	46 мин. 38 сек.	104 (85,2%)
4	n Башмаков Алексей Игоревич	BM-51	14.09.2006 12:44:29	38 мин. 35 сек.	104 (85,2%)
5	n Хранцов Евгений Игоревич	BM-51	07.09.2006 9:37:21	54 мин. 50 сек.	104 (85,2%)
6	n Сухочев Юрий Олегович	BM-51	14.09.2006 12:31:58	45 мин. 3 сек.	102 (83,6%)
7	б Зайцев Михаил Андреевич	0506	10.03.2007 16:26:41	0 сек.	94 (81,7%)
8	а Бакурский Сергей Сергеевич	0506	24.06.2006 10:52:11	46 мин. 50 сек.	99 (81,1%)
9	n Бойцов Антон Владимирович	BM-52	14.09.2006 14:42:18	1 час. 24 мин. 27 сек.	99 (81,1%)
10	n ViVe_delphi	test	12.05.2006 23:22:36	2 час. 10 мин. 29 сек.	98 (80,3%)
11	n Шумаков Владимир Александрович	BM-51	14.09.2006 12:56:08	1 час. 9 мин. 45 сек.	98 (80,3%)
12	а Паньков Михаил Сергеевич	0706	07.06.2006 18:09:05	1 час. 2 мин. 32 сек.	97 (79,5%)
13	n Иванов Николай Сергеевич	BM-52	14.09.2006 14:51:34	1 час. 33 мин. 26 сек.	97 (79,5%)
14	n Яценко Анна Александровна	BM-51	14.09.2006 12:59:46	1 час. 12 мин. 40 сек.	95 (77,9%)



Критерии сравнения алгоритмов сортировки

Трудоёмкость реализации – сложность реализации алгоритма сортировки (пузырьковая сортировка – 10 строк кода, быстрая сортировка с составными ключами – более 150 строк кода)

Асимптотическая временная и ёмкостная сложность – характеристики алгоритма сортировки (пузырьковая сортировка – $t \sim O(N^2)$, $m \sim O(1)$; сортировка Шелла – $t \sim O(N^{3/2})$, $m \sim O(1)$)

Средняя временная сложность – поведение алгоритма сортировки на практике (сортировка выбором – $t \sim O(N^2)$, сортировка вставками – $t \sim O(N^2)$; на практике сортировка выбором примерно в 2 раза медленнее)

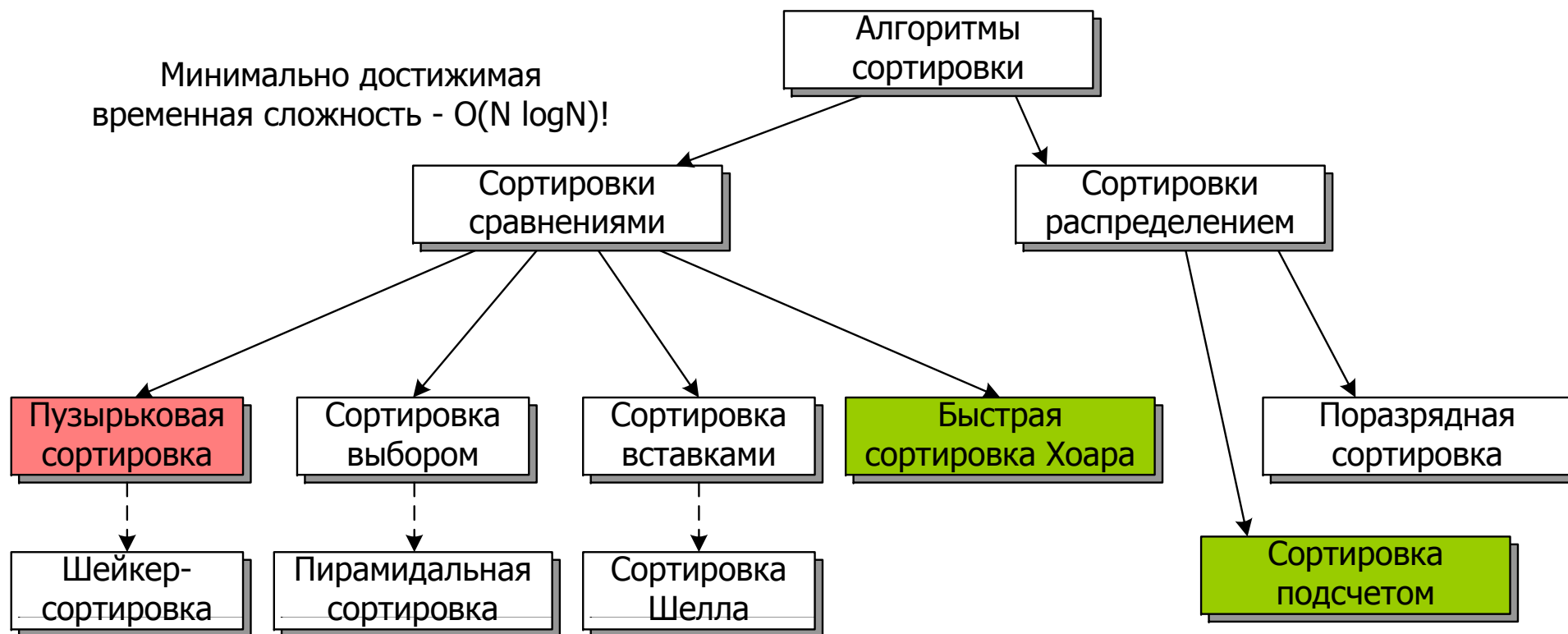
Устойчивость – сортировка называется устойчивой, если она не меняет порядка следования равных элементов (актуально в БД при последовательной сортировке данных по различным ключам)

Естественность поведения – возможность использовать частичную отсортированность массива (пузырьковая сортировка обладает естественностью поведения, быстрая сортировка Хоара – нет)

Универсального алгоритма сортировки, оптимального для всех возможных применений, не существует!

Классификация алгоритмов сортировки

Минимально достижимая
временная сложность - $O(N \log N)$!



Пузырьковая сортировка

Основная идея алгоритма – сравнение соседних элементов и их обмен в случае неправильного расположения

Асимптотические сложности

$t \sim O(N^2)$ $m \sim O(1)$

Улучшения

1. Использование переменной-флажка окончания сортировки
2. Запоминание индекса последнего обмена
3. Чередование направления просмотра (шейкер-сортировка)

Вариант с улучшениями **устойчивый** и **довольно естественный**

repeat

Changed := False;

for I := 1 **to** N-1 **do**

if Arr[I] > Arr[I+1] **then begin**

 Tmp := Arr[I];

 Arr[I] := Arr[I+1];

 Arr[I+1] := Tmp;

 Changed := True;

end;

until not Changed;

Самый медленный алгоритм
(несмотря на улучшения)!



Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	54	85	59	53	92

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
5	19	21	48	55	54	85	59	53	92

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
5	19	21	48	55	54	59	85	53	92

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
5	19	21	48	55	54	59	85	53	92

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
5	19	21	48	55	54	59	53	85	92

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
5	19	21	48	55	54	59	53	85	92

Пример пузырьковой сортировки

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	92	85	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	92	54	59	53
5	19	21	55	48	85	54	92	59	53
5	19	21	55	48	85	54	59	92	53

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
5	19	21	48	54	55	59	53	85	92

Пример пузырьковой сортировки

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Пример пузырьковой сортировки

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	53	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Пример пузырьковой сортировки

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	53	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	53	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Пример пузырьковой сортировки

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	53	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	53	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	53	55	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Пример пузырьковой сортировки

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	53	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	53	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	53	55	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	53	55	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Пример пузырьковой сортировки

5	19	21	55	48	85	54	59	92	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	55	48	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	85	54	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	85	59	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	85	53	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	55	54	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	59	53	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	53	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	55	53	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	53	55	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	54	53	55	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	19	21	48	53	54	55	59	85	92
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Сортировка выбором

Основная идея алгоритма – разбиение массива на отсортированную и неотсортированную части, нахождение в неотсортированной части минимального элемента и помещение его в отсортированную

Асимптотические сложности

$t \sim O(N^2)$ $m \sim O(1)$

Характеризуется **неустойчивостью** и **неестественным поведением**

```
for I := 1 to N-1 do begin  
  Min := I;  
  for J := I+1 to N do  
    if Arr[J] < Arr[Min] then  
      Min := J;  
  Tmp := Arr[I];  
  Arr[I] := Arr[Min];  
  Arr[Min] := Tmp;  
end;
```



Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	54	85	92	59	55

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	54	85	92	59	55

5	19	21	48	53	54	85	92	59	55
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	54	85	92	59	55

5	19	21	48	53	54	85	92	59	55
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	54	85	92	59	55

5	19	21	48	53	54	85	92	59	55
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	54	85	92	59	55

5	19	21	48	53	54	85	92	59	55
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85
5	19	21	48	53	54	55	59	92	85

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	54	85	92	59	55

5	19	21	48	53	54	85	92	59	55
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85
5	19	21	48	53	54	55	59	92	85
5	19	21	48	53	54	55	59	92	85

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	54	85	92	59	55

5	19	21	48	53	54	85	92	59	55
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85
5	19	21	48	53	54	55	59	92	85
5	19	21	48	53	54	55	59	92	85
5	19	21	48	53	54	55	59	85	92

Пример сортировки выбором

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	55	92	85	54	59	53
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	92	85	54	59	55
5	19	21	48	53	54	85	92	59	55

5	19	21	48	53	54	85	92	59	55
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85
5	19	21	48	53	54	55	92	59	85
5	19	21	48	53	54	55	59	92	85
5	19	21	48	53	54	55	59	92	85
5	19	21	48	53	54	55	59	85	92
5	19	21	48	53	54	55	59	85	92

Пирамидальная сортировка

Основная идея алгоритма – можно ли выбрать минимальный элемент за время, меньшее чем $O(N)$? Можно с использованием структуры данных, называемой пирамидой...

Асимптотические сложности

$t \sim O(N \log N)$ $m \sim O(1)$

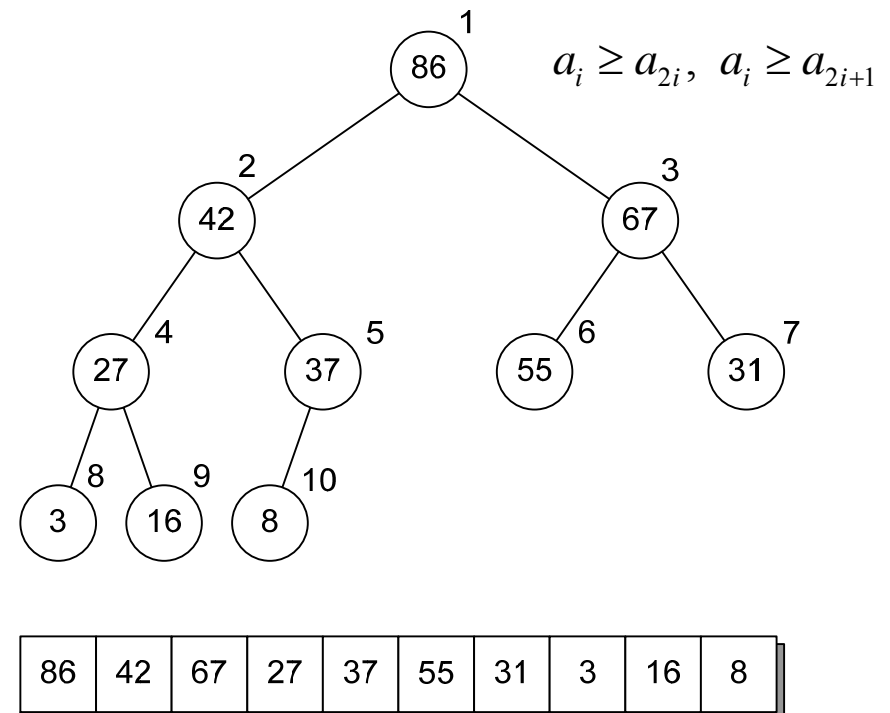
Характеризуется **неустойчивостью** и **неестественным поведением**

```
procedure DownHeap(K, M: Integer);
var
  NewItem, Child: Integer;
begin
  NewItem := Arr[K];
  while K <= M div 2 do begin
    Child := 2*K;
    if (Child < M) and (Arr[Child] < Arr[Child+1]) then
      Inc(Child);
    if NewItem >= Arr[Child] then
      break;
    Arr[K] := Arr[Child];
    K := Child;
  end;
  Arr[K] := NewItem;
end;

begin
  for I := N div 2 downto 1 do
    DownHeap(I, N);

  for I := N downto 1 do begin
    Tmp := Arr[I];
    Arr[I] := Arr[1];
    Arr[1] := Tmp;

    DownHeap(1, I-1);
  end;
end.
```



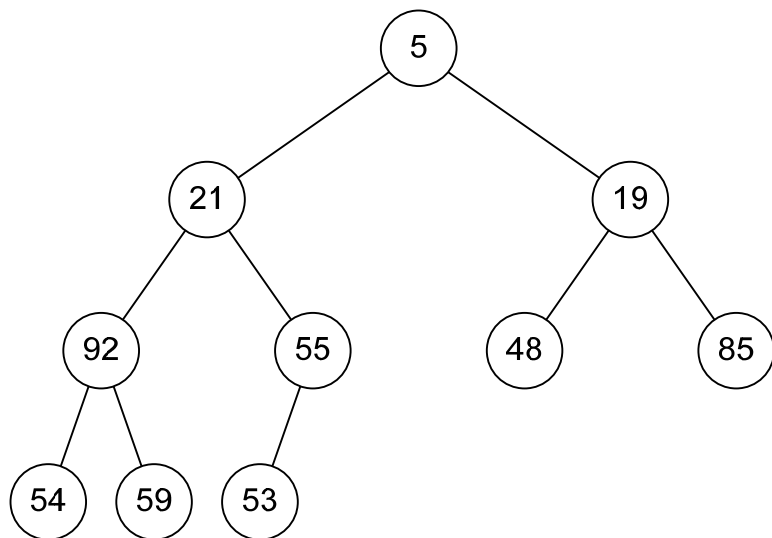


1 этап – построение пирамиды

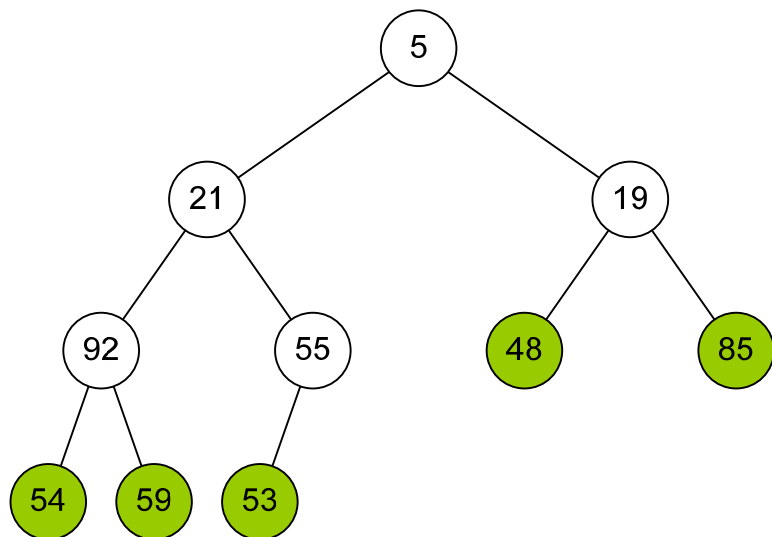
5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

1 этап – построение пирамиды

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



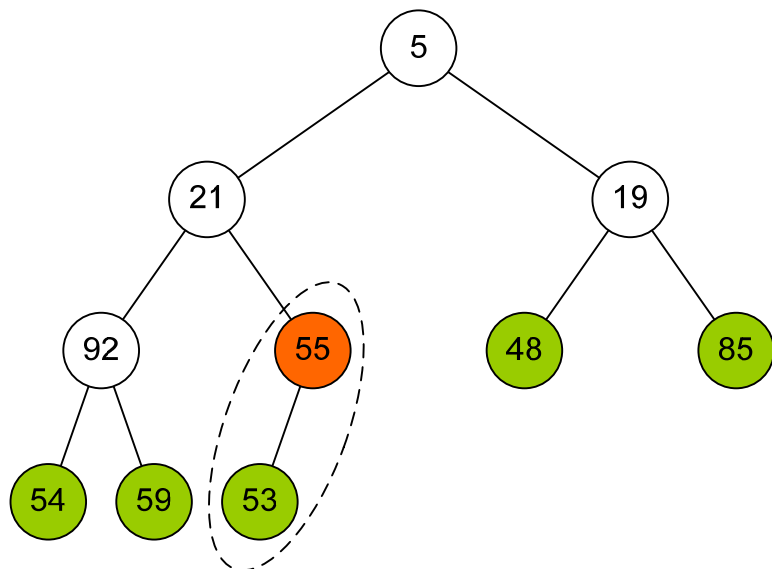
1 этап – построение пирамиды



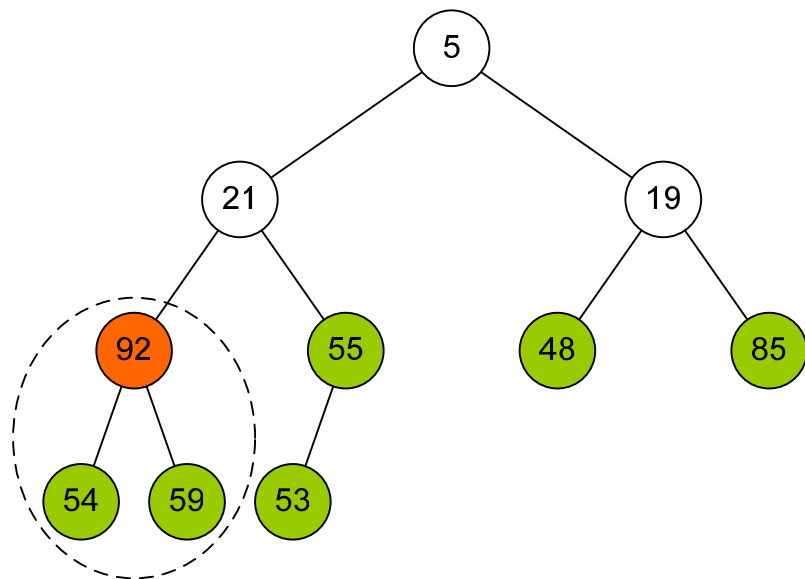
Готовая часть пирамиды (листья дерева), удовлетворяющая свойствам пирамиды, окрашена в зеленый цвет

Для остальных элементов возможно потребуются изменения...

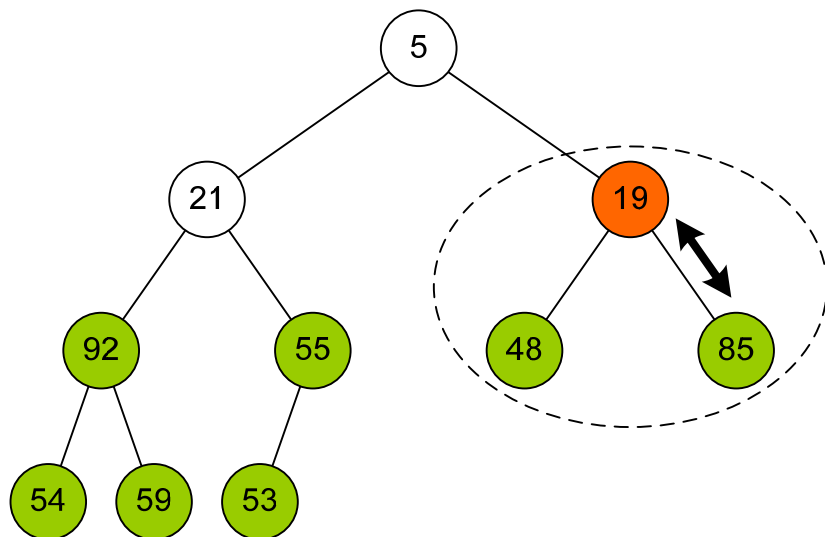
1 этап – построение пирамиды



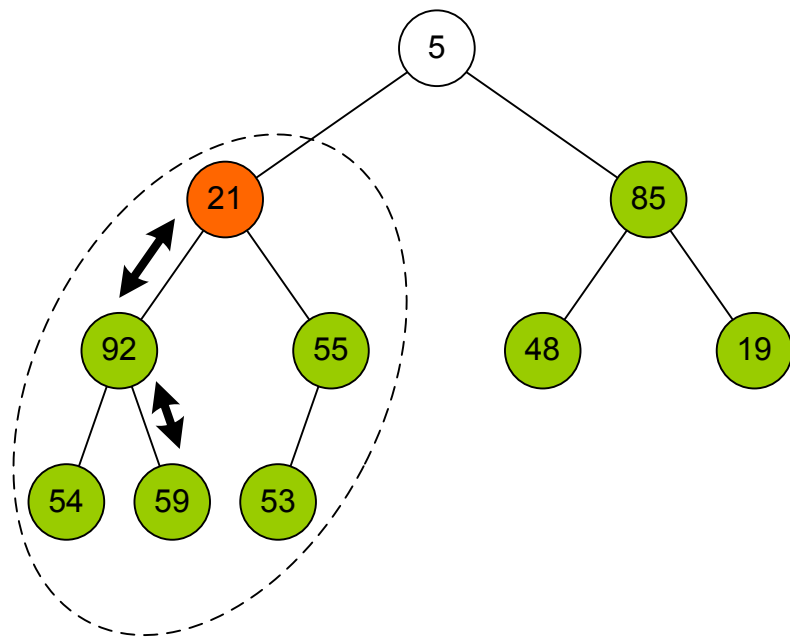
1 этап – построение пирамиды



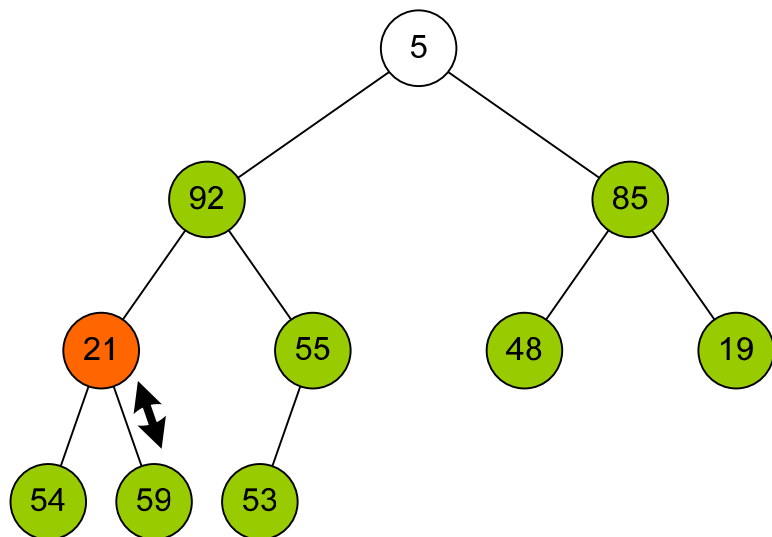
1 этап – построение пирамиды



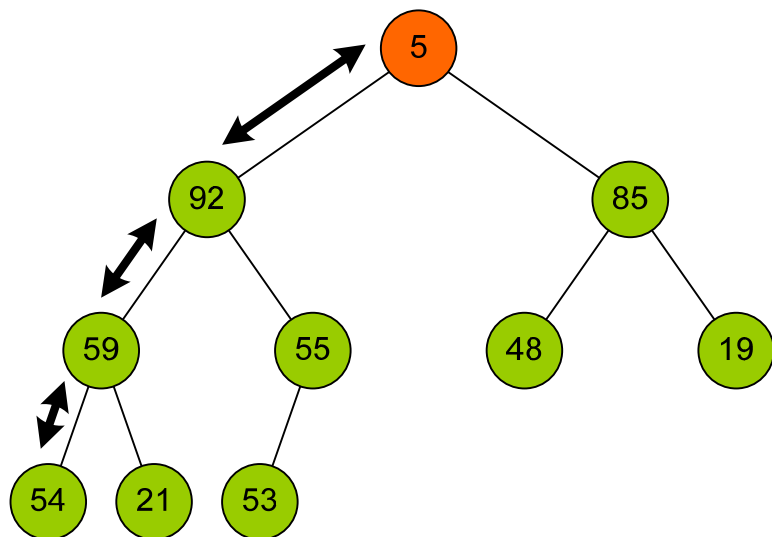
1 этап – построение пирамиды



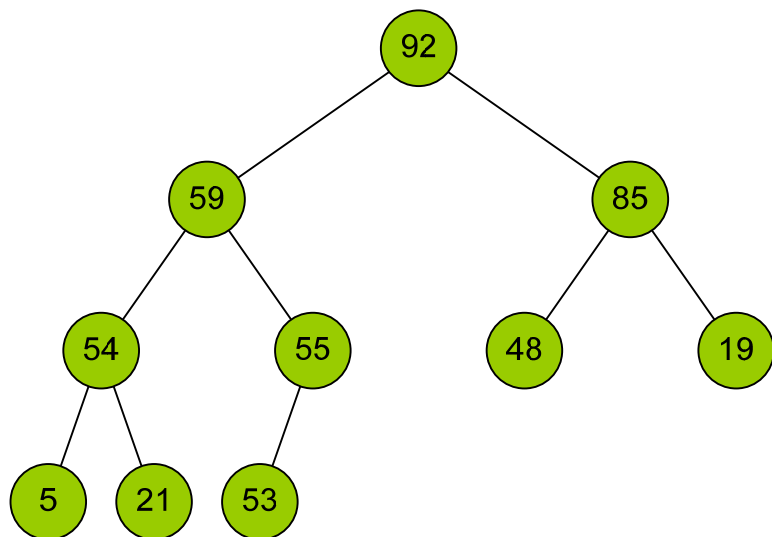
1 этап – построение пирамиды



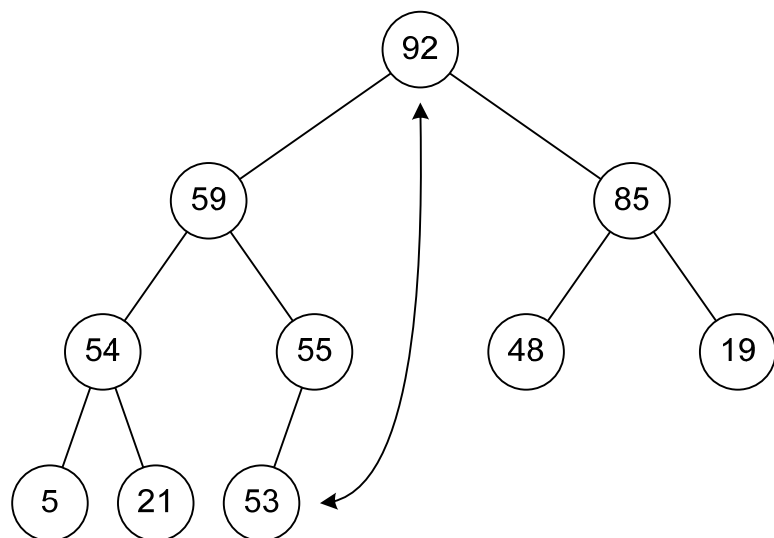
1 этап – построение пирамиды



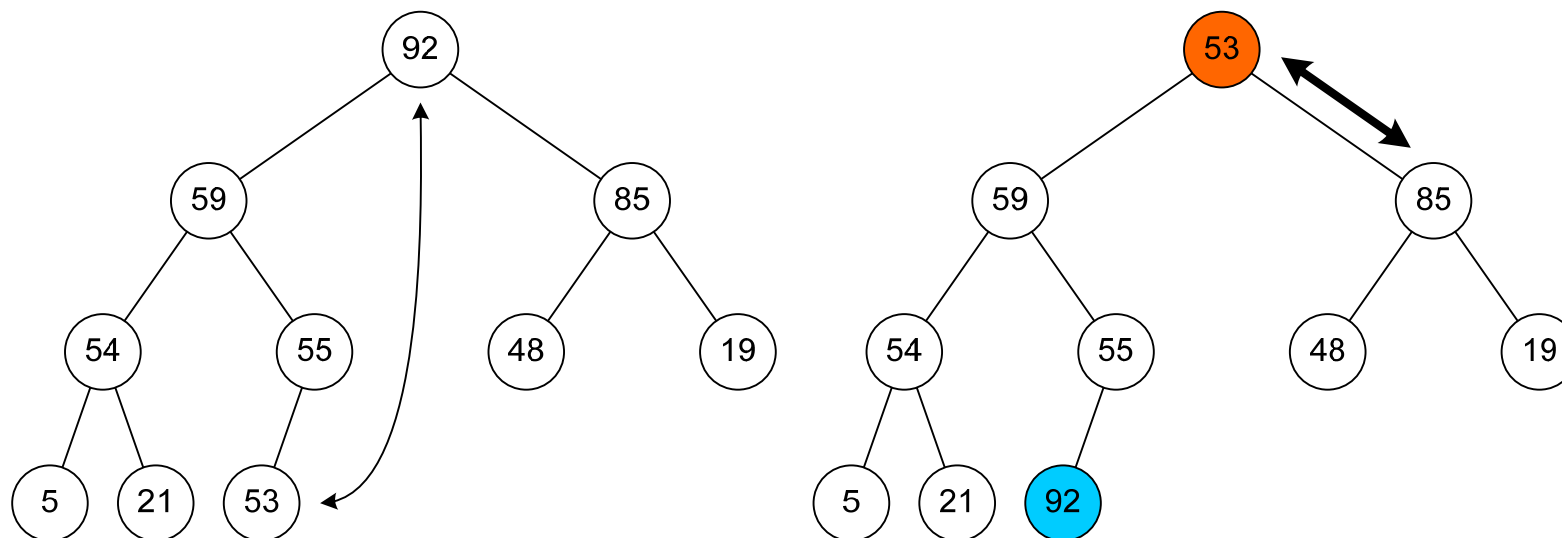
1 этап – построение пирамиды



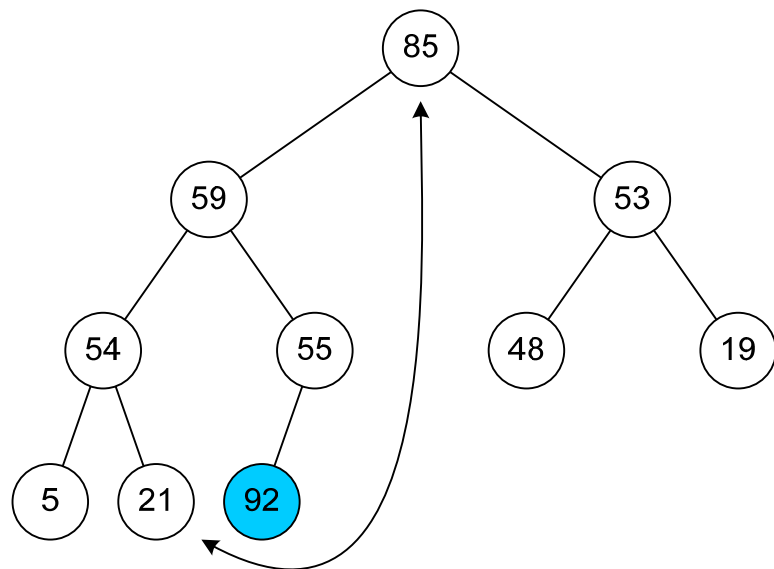
2 этап – сортировка



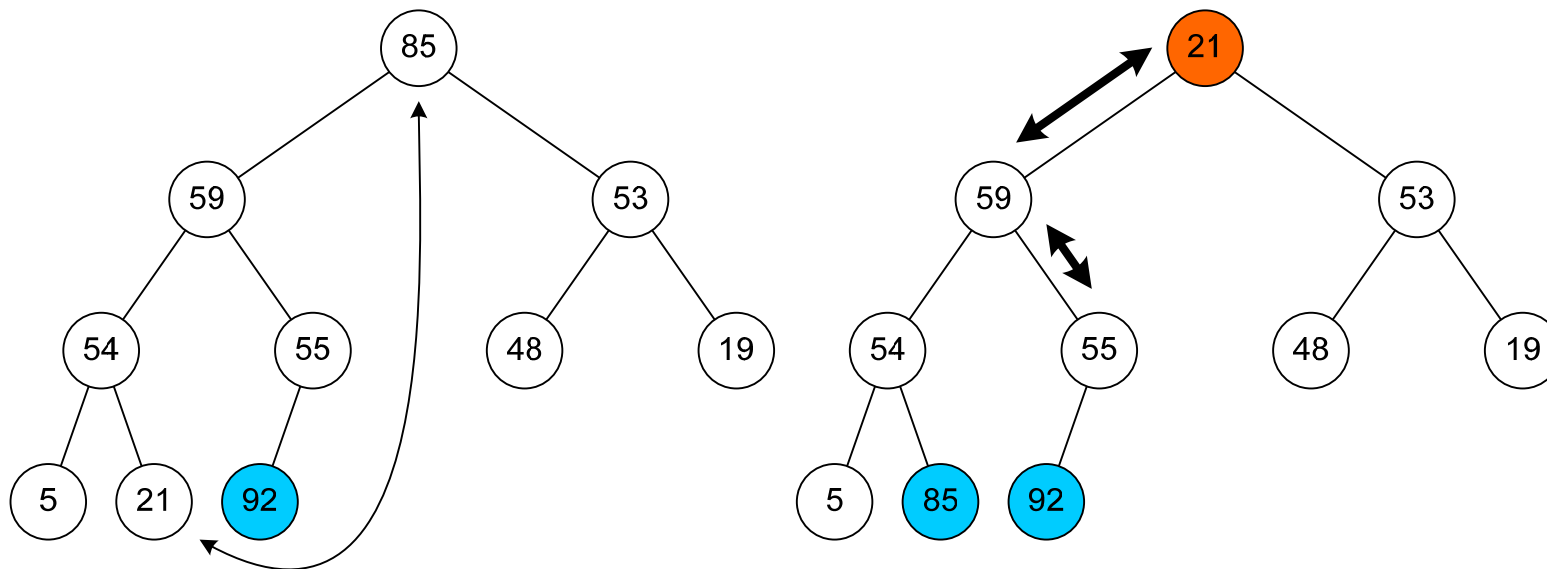
2 этап – сортировка



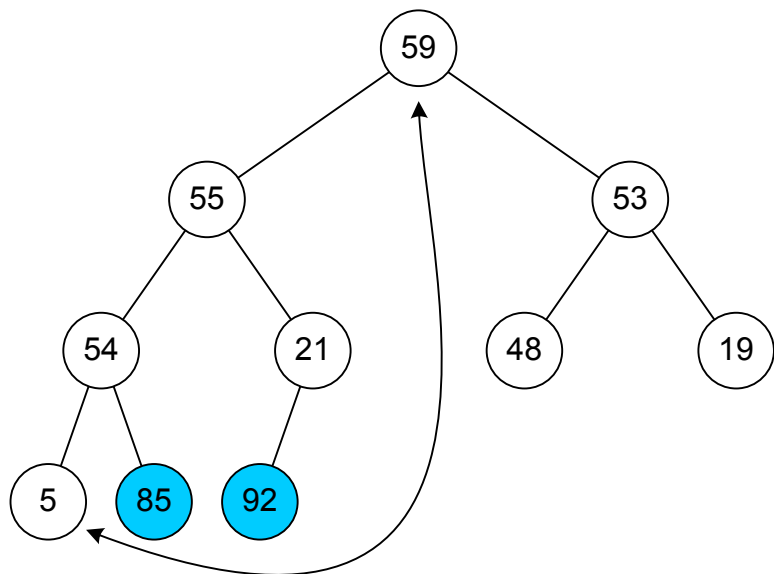
2 этап – сортировка



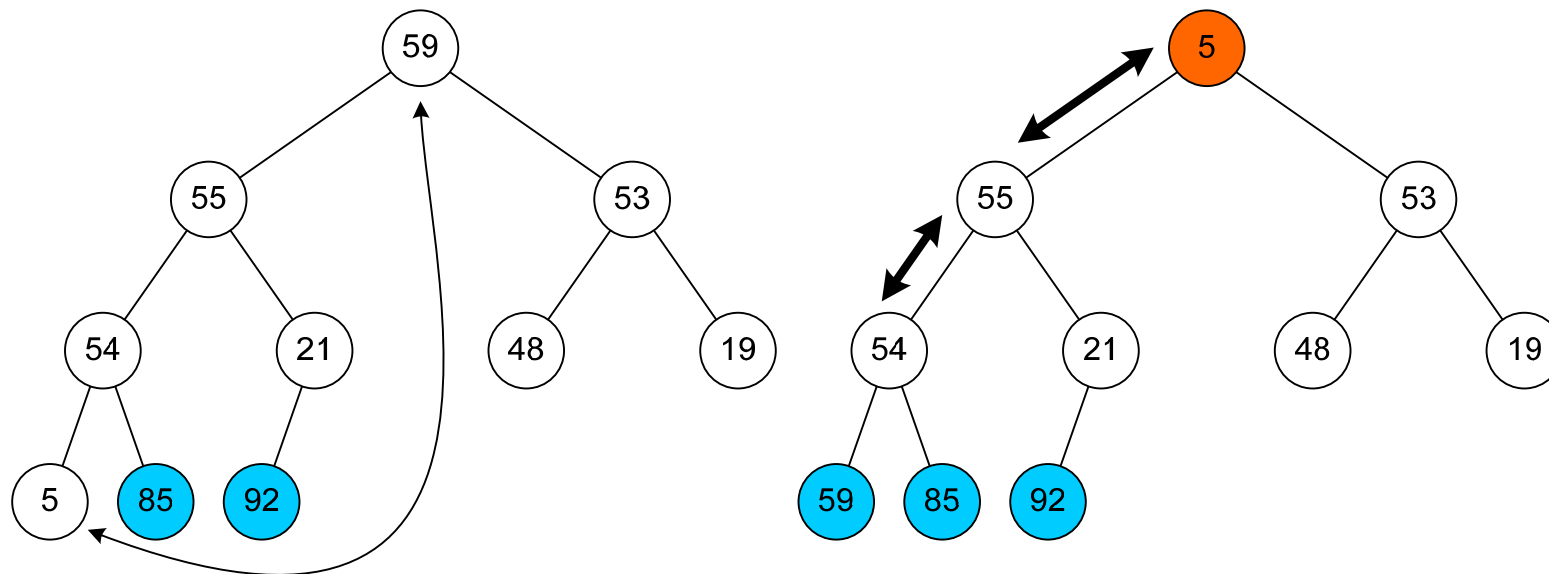
2 этап – сортировка



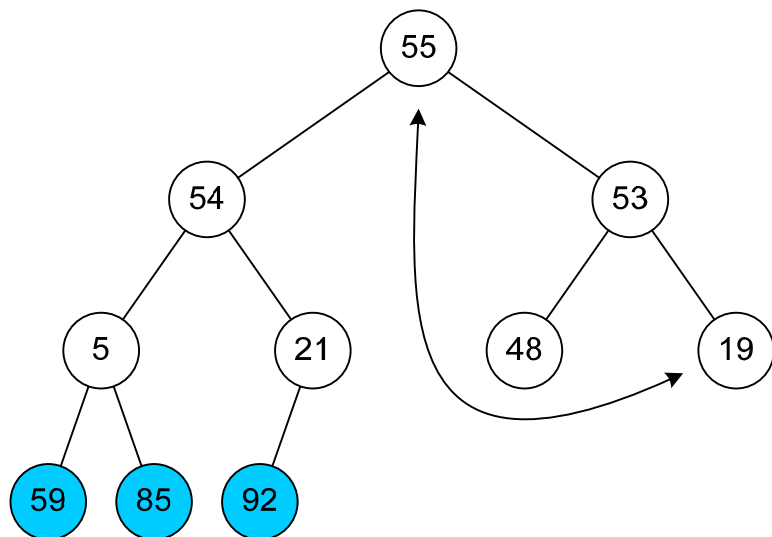
2 этап – сортировка



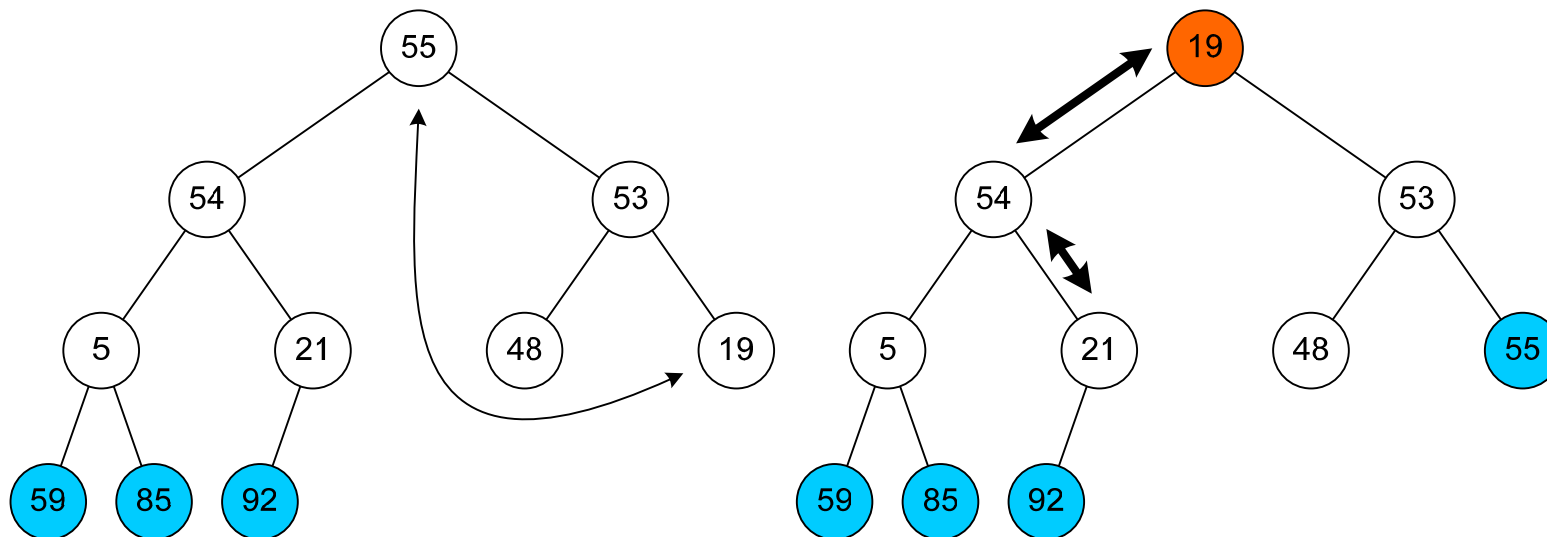
2 этап – сортировка



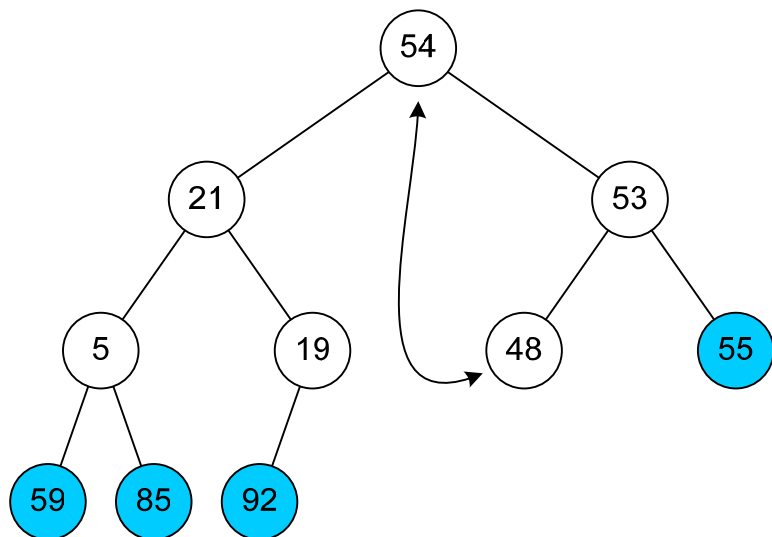
2 этап – сортировка



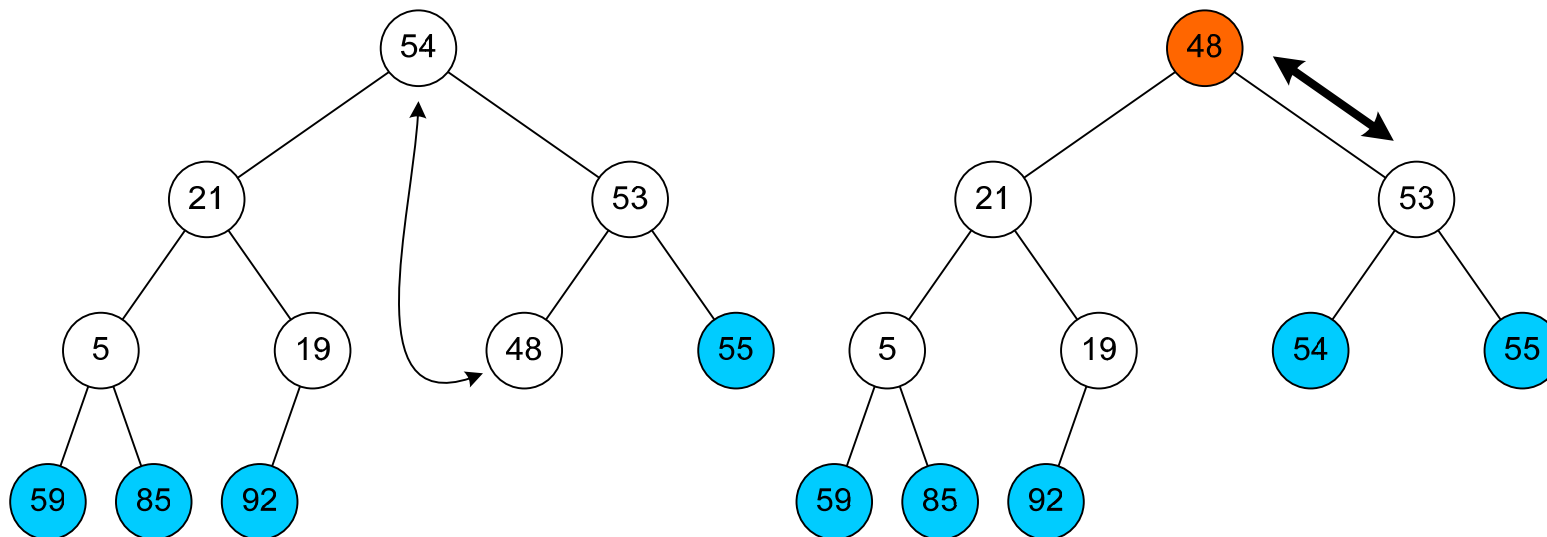
2 этап – сортировка



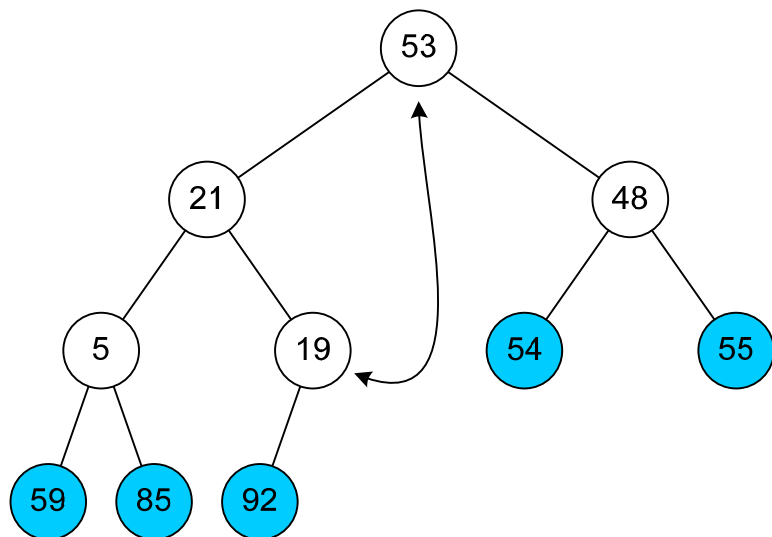
2 этап – сортировка



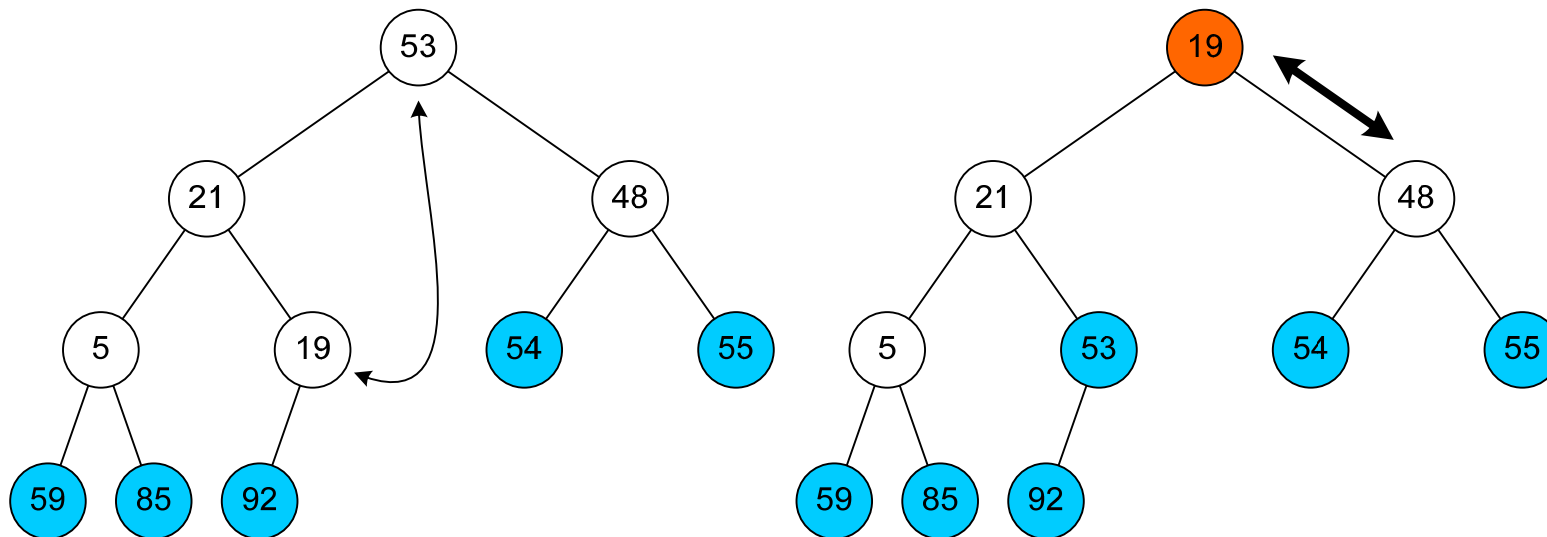
2 этап – сортировка



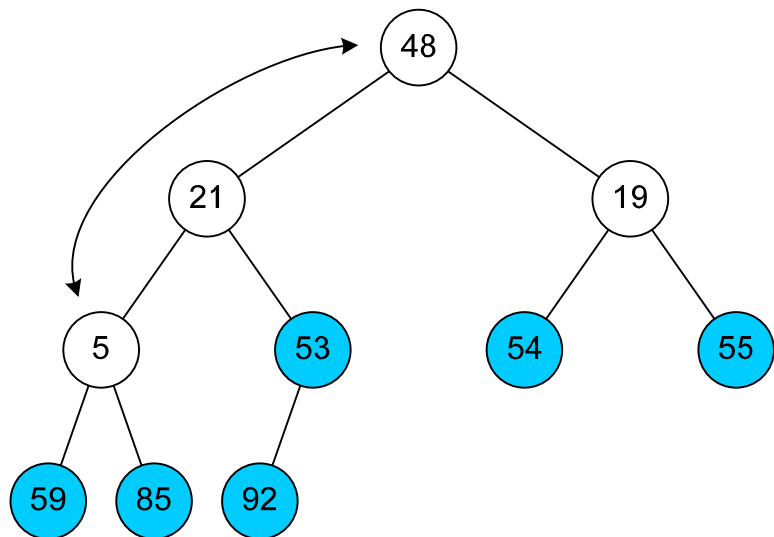
2 этап – сортировка



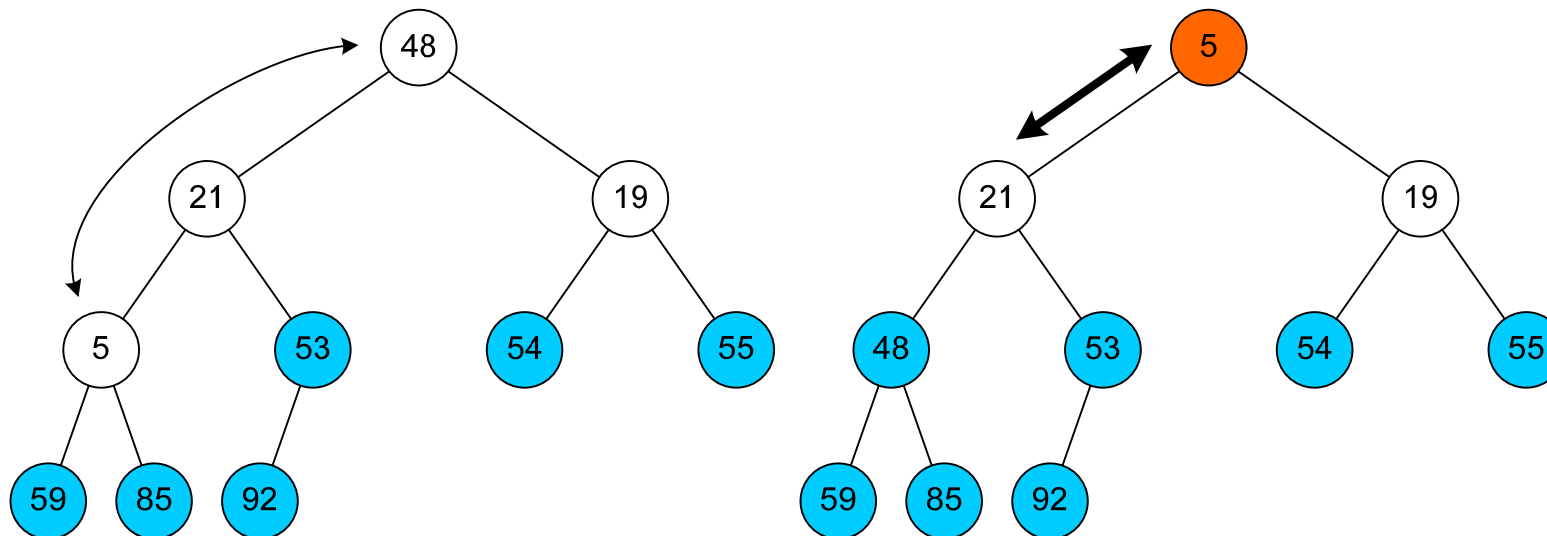
2 этап – сортировка



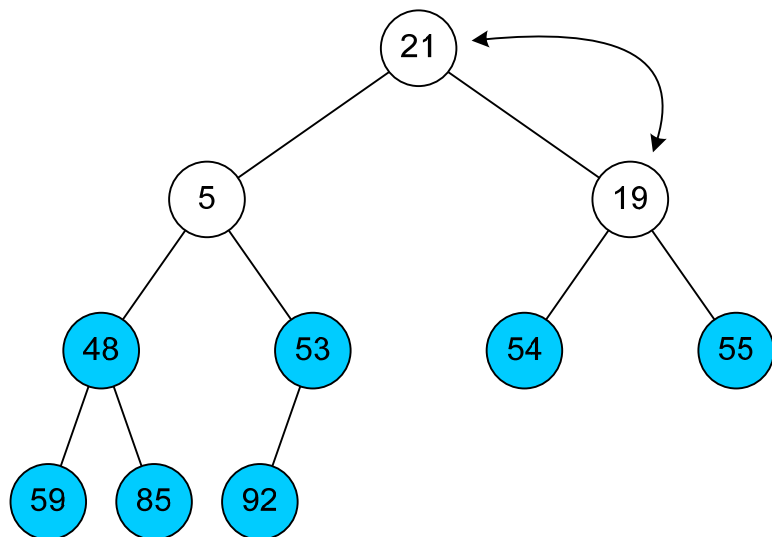
2 этап – сортировка



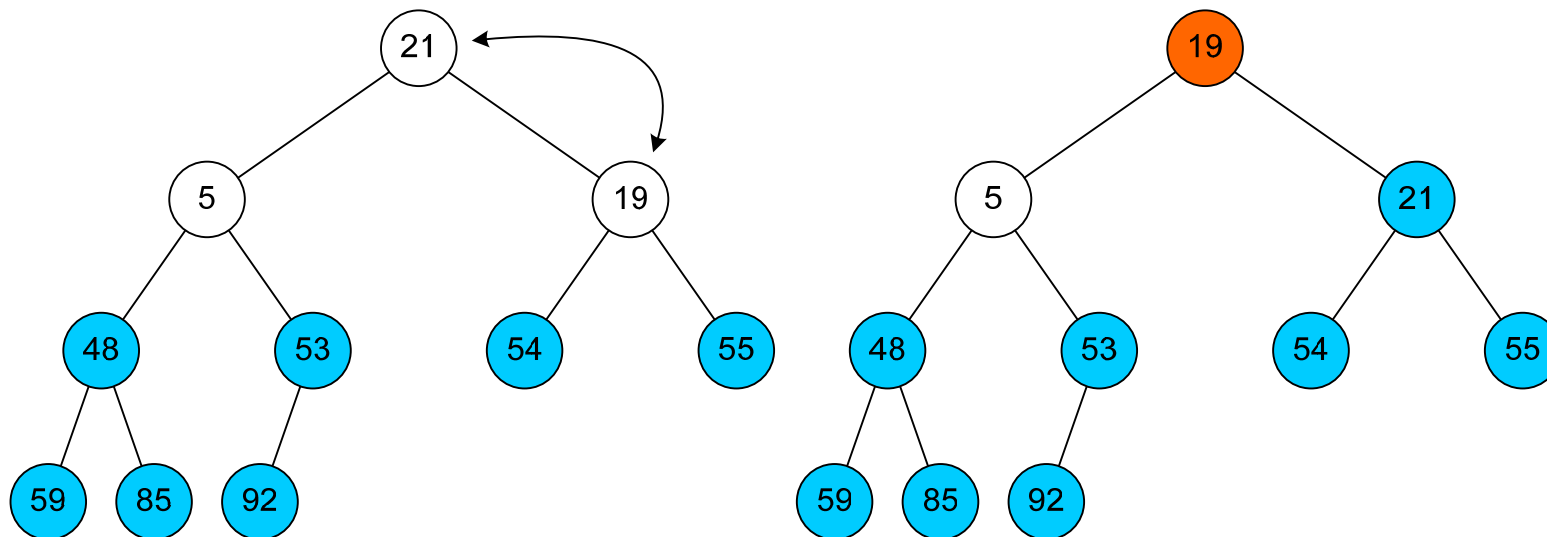
2 этап – сортировка



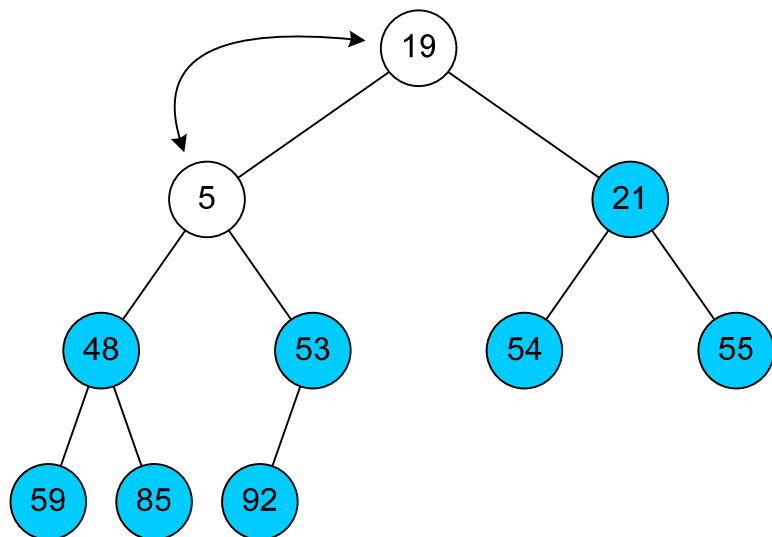
2 этап – сортировка



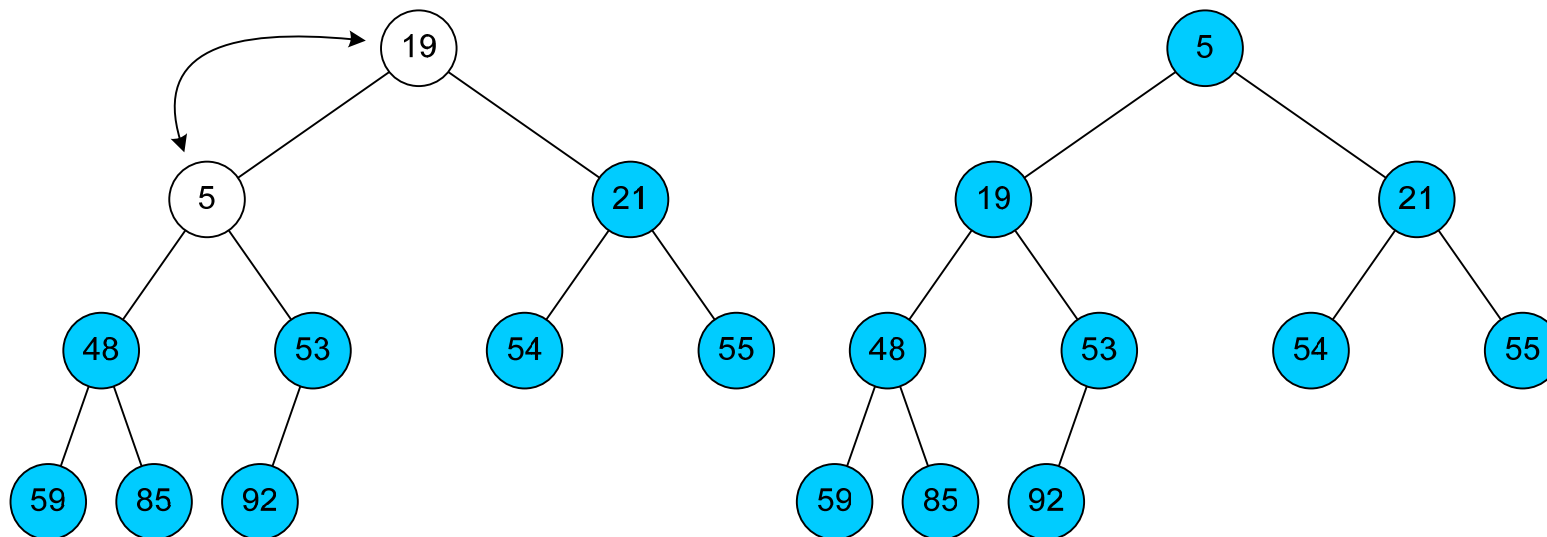
2 этап – сортировка



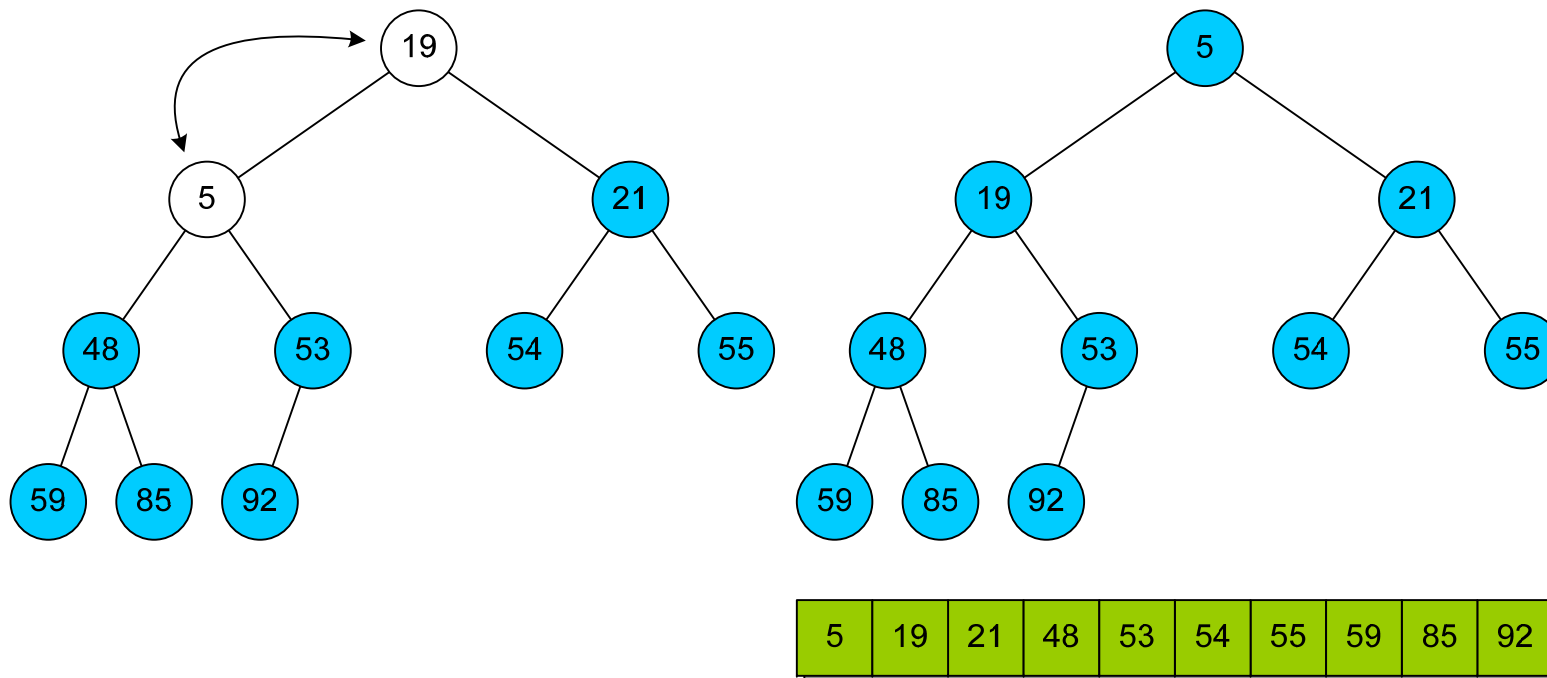
2 этап – сортировка



2 этап – сортировка



2 этап – сортировка





Сортировка вставками

Основная идея алгоритма – разбиение массива на отсортированную и неотсортированную части, поочередное размещение элементов неотсортированной части в требуемых позициях отсортированной

Асимптотические сложности

$t \sim O(N^2)$ $m \sim O(1)$

Характеризуется **устойчивостью** и **естественным поведением**

Особенно эффективна для сортировки малых массивов (10-20 элементов)

```
for I := 2 to N do begin  
  Tmp := Arr[I];  
  for J := I-1 downto 1 do begin  
    if Arr[J] < Tmp then  
      break;  
    Arr[J+1] := Arr[J];  
  end;  
  Arr[J+1] := Tmp;  
end;
```



Сортировка вставками

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Сортировка вставками

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Сортировка вставками

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↻

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Сортировка вставками

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Сортировка вставками

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Сортировка вставками

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Сортировка вставками

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	21	19	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

↙

5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

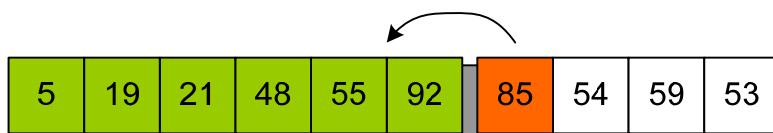
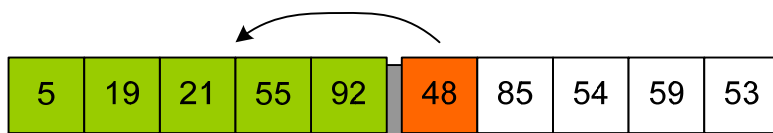
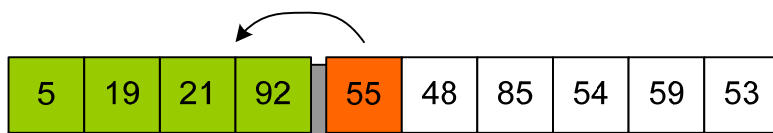
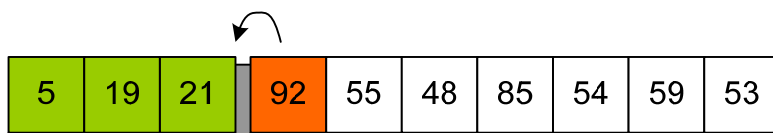
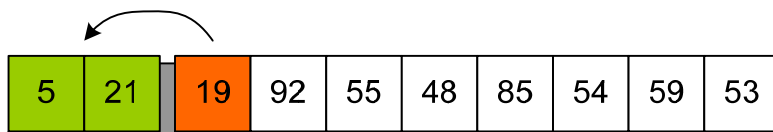
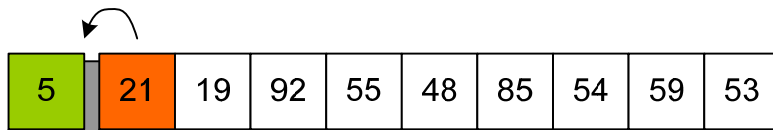
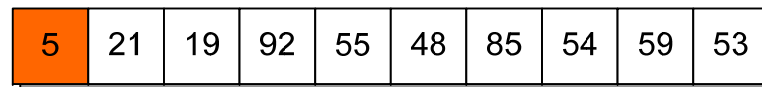
↙

5	19	21	92	55	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

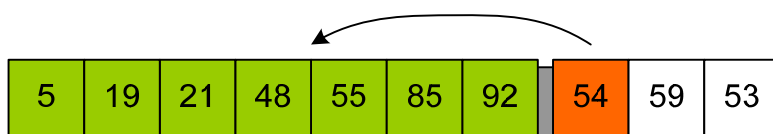
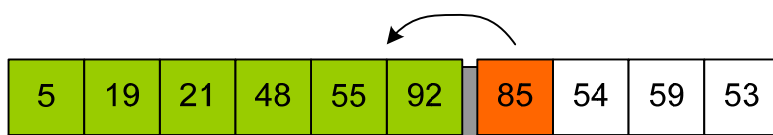
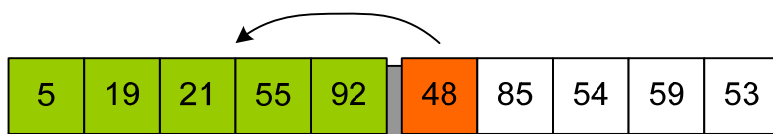
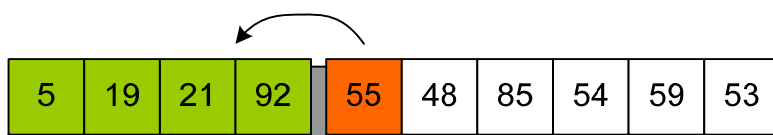
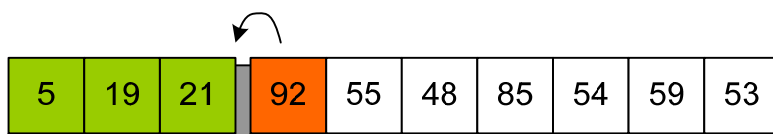
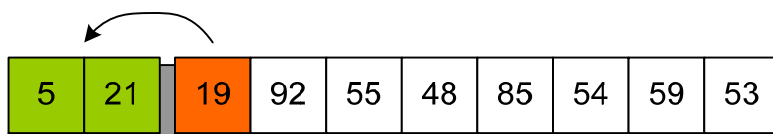
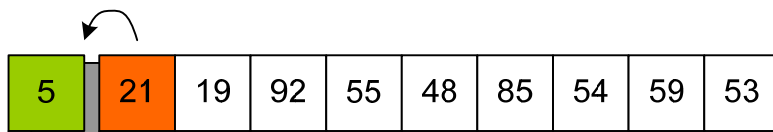
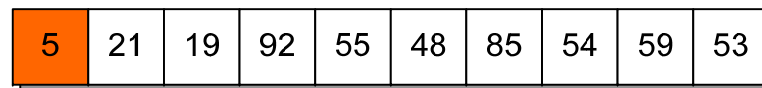
↙

5	19	21	55	92	48	85	54	59	53
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

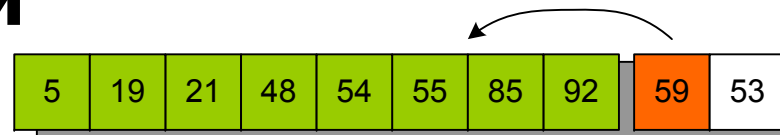
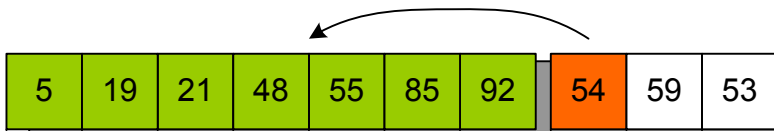
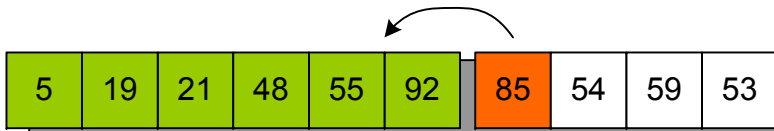
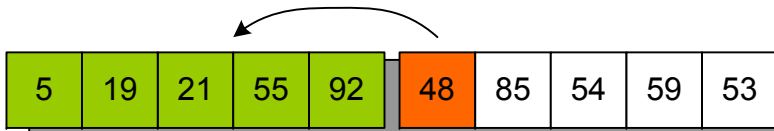
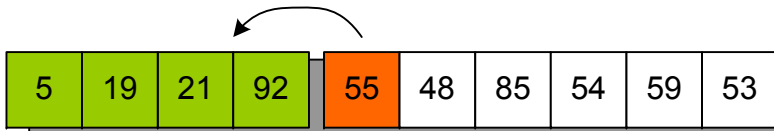
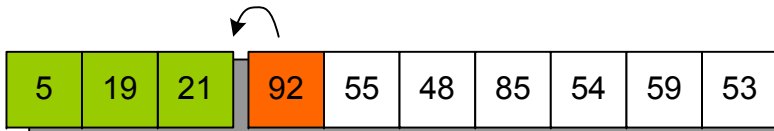
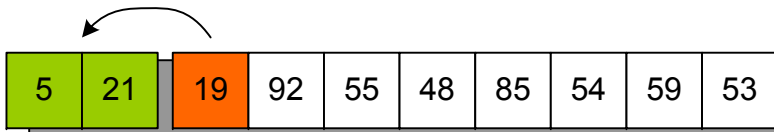
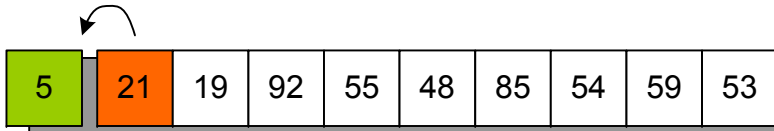
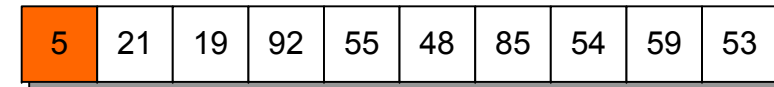
Сортировка вставками



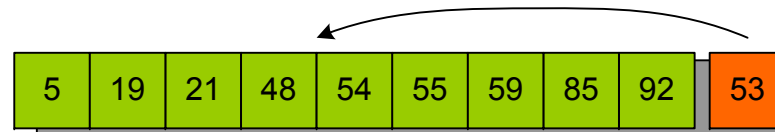
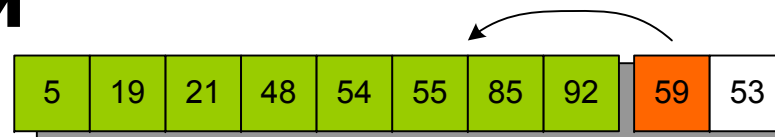
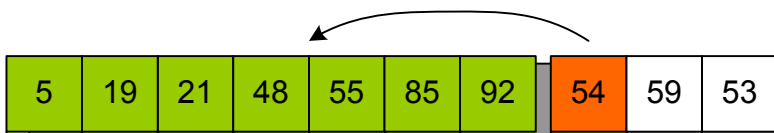
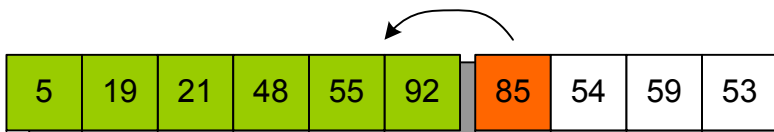
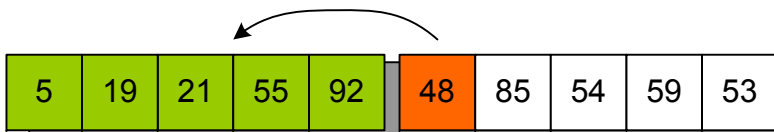
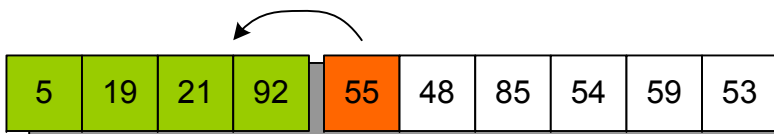
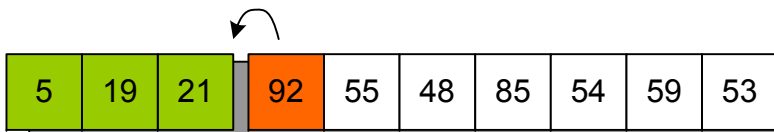
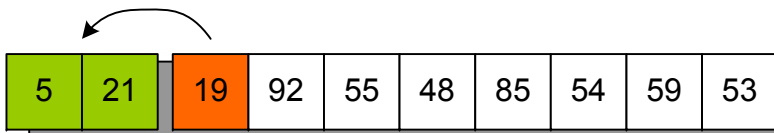
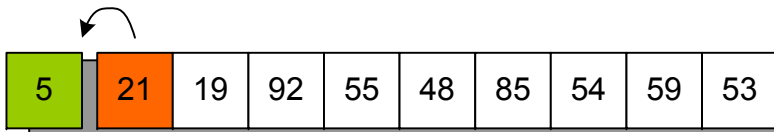
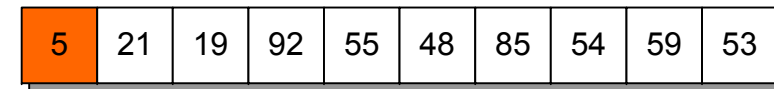
Сортировка вставками



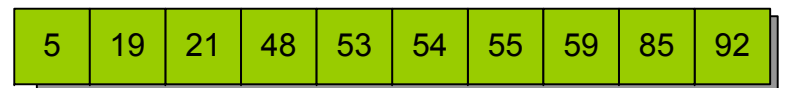
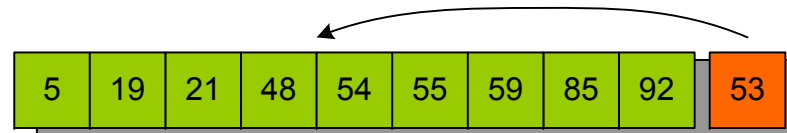
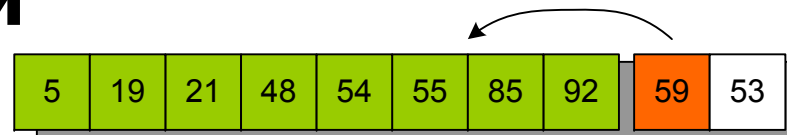
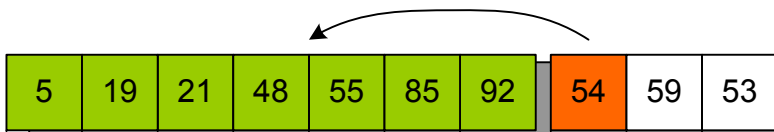
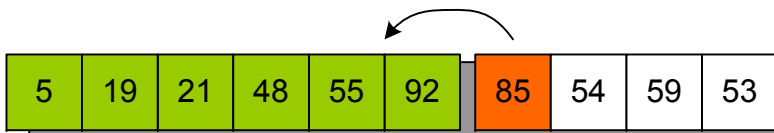
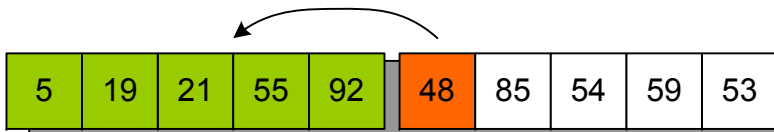
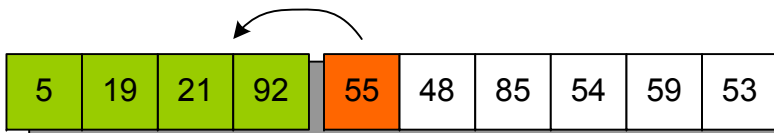
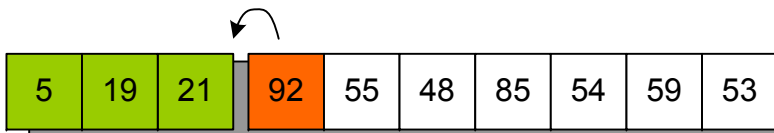
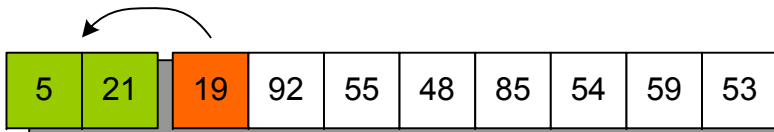
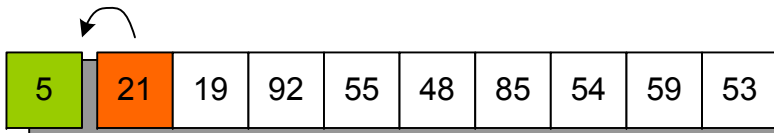
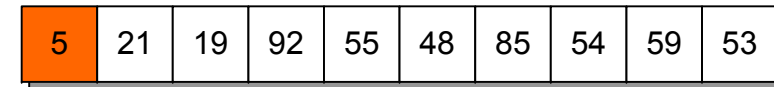
Сортировка вставками



Сортировка вставками



Сортировка вставками





Сортировка Шелла

Основная идея алгоритма – проведение серии сортировок вставками через различные дистанции

Асимптотические сложности

$$t \sim O(N^{3/2}) \quad m \sim O(1)$$

Характеризуется **неустойчивостью** и **естественным поведением**

```
while s >= 0 do begin  
  Incr := IncSeq[s];  
  Dec(s);  
  for I := Incr+1 to N do begin  
    Tmp := Arr[I];  
    J := I - Incr;  
    while (J > 0) and (Arr[J] > Tmp) do begin  
      Arr[J+Incr] := Arr[J];  
      Dec(J, Incr);  
    end;  
    Arr[J+Incr] := Tmp;  
  end;  
end;
```



Сортировка Шелла

0	3	86	20	27	67	31	16	37	42	8	47	7	84	5	29
---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	---	----	---	----



Сортировка Шелла

0	3	86	20	27	67	31	16	37	42	8	47	7	84	5	29
---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	---	----	---	----



Сортировка Шелла

0	3	86	20	27	67	31	16	37	42	8	47	7	84	5	29
---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	---	----	---	----



Сортировка Шелла

0	3	86	20	27	67	31	16	37	42	8	47	7	84	5	29
---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	---	----	---	----

0	3	8	20	27	67	31	16	37	42	86	47	7	84	5	29
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	---	----



Сортировка Шелла

0	3	8	20	27	67	31	16	37	42	86	47	7	84	5	29
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	---	----



Сортировка Шелла

0	3	8	20	27	67	31	16	37	42	86	47	7	84	5	29
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	---	----

0	3	8	20	7	67	31	16	37	42	86	47	27	84	5	29
---	---	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----



Сортировка Шелла

0	3	8	20	7	67	31	16	37	42	86	47	27	84	5	29
---	---	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----



Сортировка Шелла

0	3	8	20	7	67	31	16	37	42	86	47	27	84	5	29
---	---	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----

0	3	8	20	7	67	5	16	37	42	86	47	27	84	31	29
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Сортировка Шелла

0	3	8	20	7	67	5	16	37	42	86	47	27	84	31	29
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Сортировка Шелла

0	3	8	20	7	67	5	16	37	42	86	47	27	84	31	29
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

0	3	8	20	7	67	5	16	27	42	86	47	37	84	31	29
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Сортировка Шелла

0	3	8	20	7	67	5	16	27	42	86	47	37	84	31	29
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

0	3	8	20	7	42	5	16	27	67	86	47	37	84	31	29
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Сортировка Шелла

0	3	8	20	7	42	5	16	27	67	86	47	37	84	31	29
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

0	3	5	20	7	42	8	16	27	67	31	47	37	84	86	29
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Сортировка Шелла

0	3	5	20	7	42	8	16	27	67	31	47	37	84	86	29
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

0	3	5	16	7	42	8	20	27	67	31	29	37	84	86	47
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Сортировка Шелла

0	3	5	16	7	42	8	20	27	67	31	29	37	84	86	47
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Сортировка Шелла

0	3	5	16	7	42	8	20	27	67	31	29	37	84	86	47
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

0	3	5	16	7	20	8	29	27	42	31	47	37	67	86	84
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Сортировка Шелла

0	3	5	16	7	20	8	29	27	42	31	47	37	67	86	84
---	---	---	----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

0	3	5	7	8	16	20	27	29	31	37	42	47	67	84	86
---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Сортировка Шелла с приращениями по Сейджвику

Если в качестве приращений использовать не степени двойки (1, 2, 4, ...), а числа, получаемые по формуле...

$$\text{inc}(s) = \begin{cases} 9 \cdot 2^s - 9 \cdot 2^{s/2} + 1, & \text{если } s \text{ четно,} \\ 8 \cdot 2^s - 6 \cdot 2^{s+1/2} + 1, & \text{если } s \text{ нечетно.} \end{cases}$$

$$\text{inc}(0) = 1, \text{inc}(1) = 5, \text{inc}(2) = 19, \dots$$

Среднее количество операций в таком случае составляет $O(N^{7/6})$, худшее – $O(N^{4/3})$.

Сортировка Шелла – $O(N^{3/2})$

```
p1 := 1; p2 := 1; p3 := 1; s := -1;
repeat
  Inc(s);
  if Odd(s) then
    IncSeq[s] := 8*p1 - 6*p2 + 1
  else begin
    IncSeq[s] := 9*p1 - 9*p3 + 1; p2 := p2 * 2; p3 := p3 * 2;
  end;
  p1 := p1 * 2;
until 3*IncSeq[s] > N;
if s < 0 then
  s := 0
else
  Dec(s);
```



Быстрая сортировка Хоара

Основная идея алгоритма – разбиение массива на 2 части так, чтобы элементы левого подмассива были меньше элементов правого. Рекуррентное повторение действия для каждого из подмассивов в отдельности

Асимптотические сложности

$t \sim O(N \log N)$ $m \sim O(\log N)$

Характеризуется **неустойчивостью** и **естественным поведением**

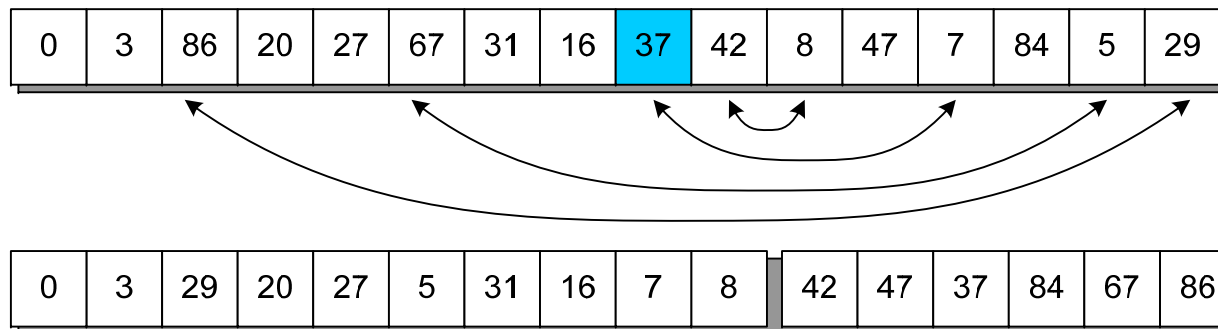
```
procedure QuickSort(iLo, iHi: Integer);  
var  
  Lo, Hi, Mid, Tmp: Integer;  
begin  
  Lo := iLo; Hi := iHi;  
  Mid := Arr[(Lo + Hi) div 2];  
  repeat  
    while Arr[Lo] < Mid do Inc(Lo);  
    while Arr[Hi] > Mid do Dec(Hi);  
    if Lo <= Hi then begin  
      Tmp := Arr[Lo];  
      Arr[Lo] := Arr[Hi];  
      Arr[Hi] := Tmp;  
      Inc(Lo);  
      Dec(Hi);  
    end;  
  until Lo > Hi;  
  if Hi > iLo then QuickSort(iLo, Hi);  
  if Lo < iHi then QuickSort(Lo, iHi);  
end;
```



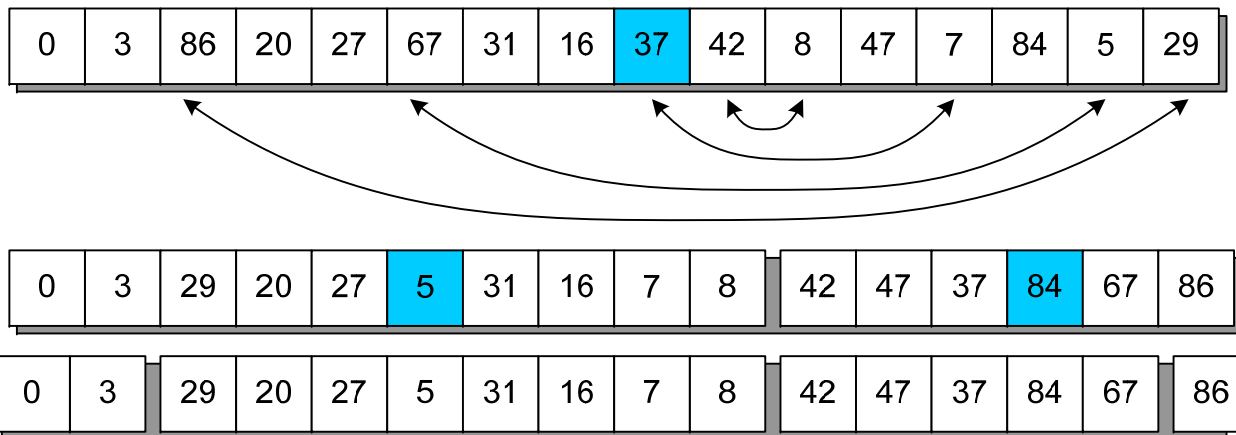

Быстрая сортировка Хоара

0	3	86	20	27	67	31	16	37	42	8	47	7	84	5	29
---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----	---	----	---	----

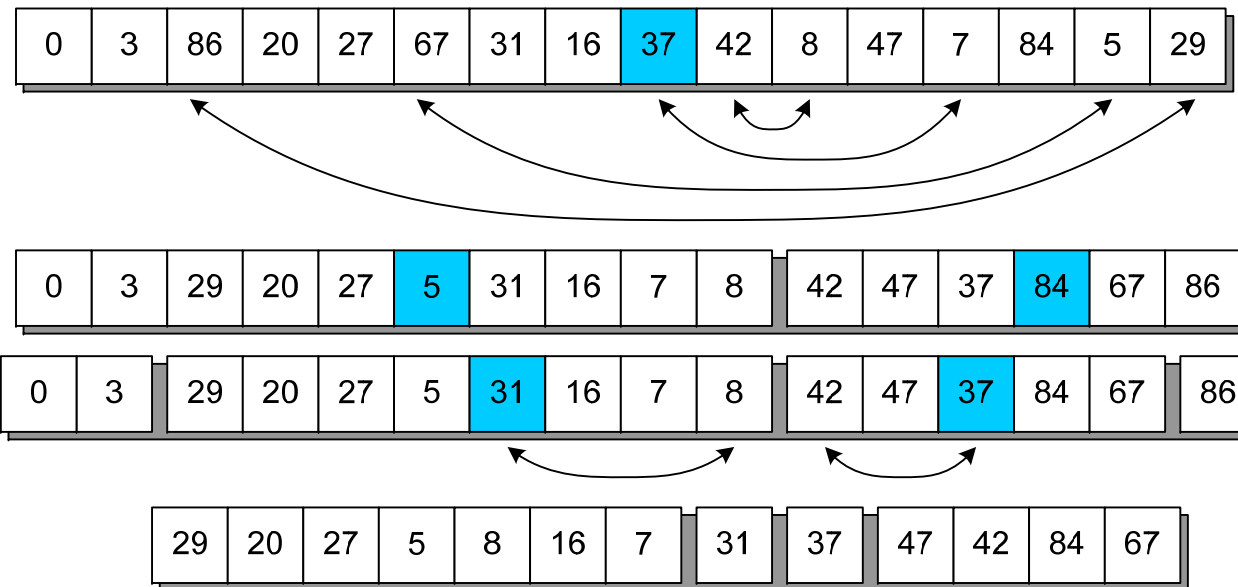
Быстрая сортировка Хоара



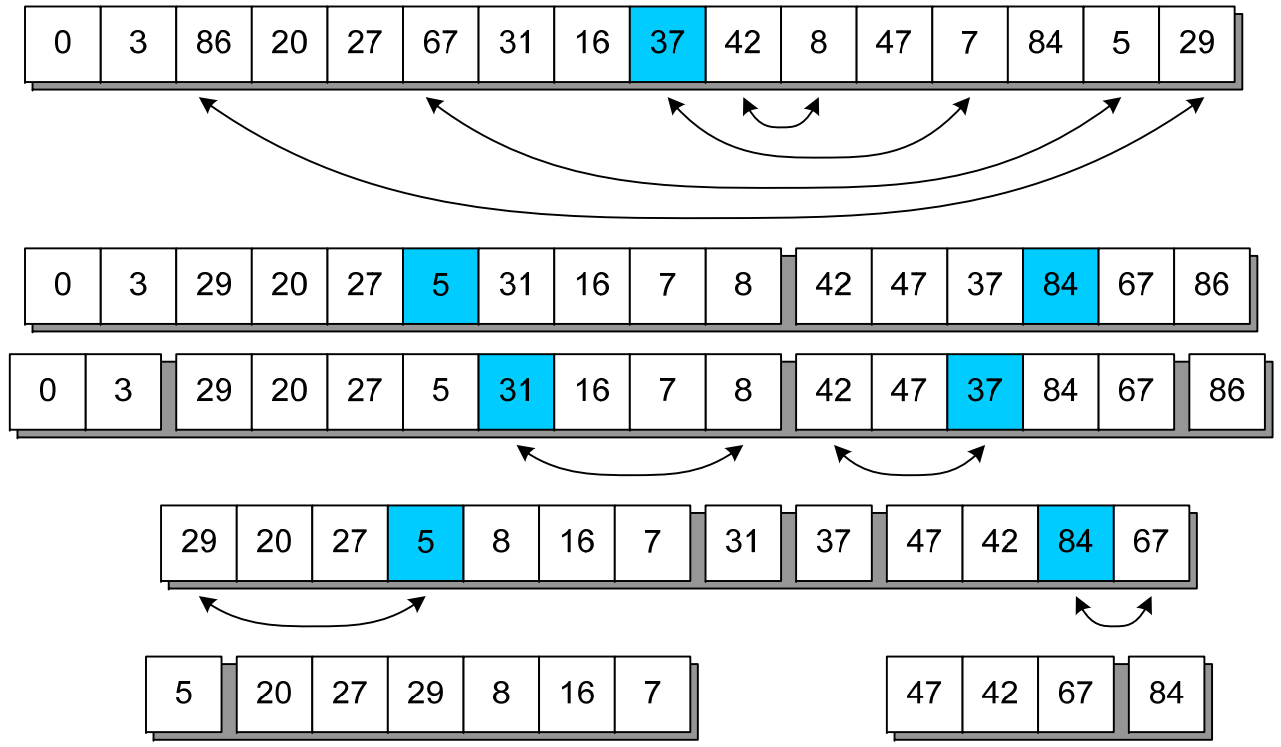
Быстрая сортировка Хоара



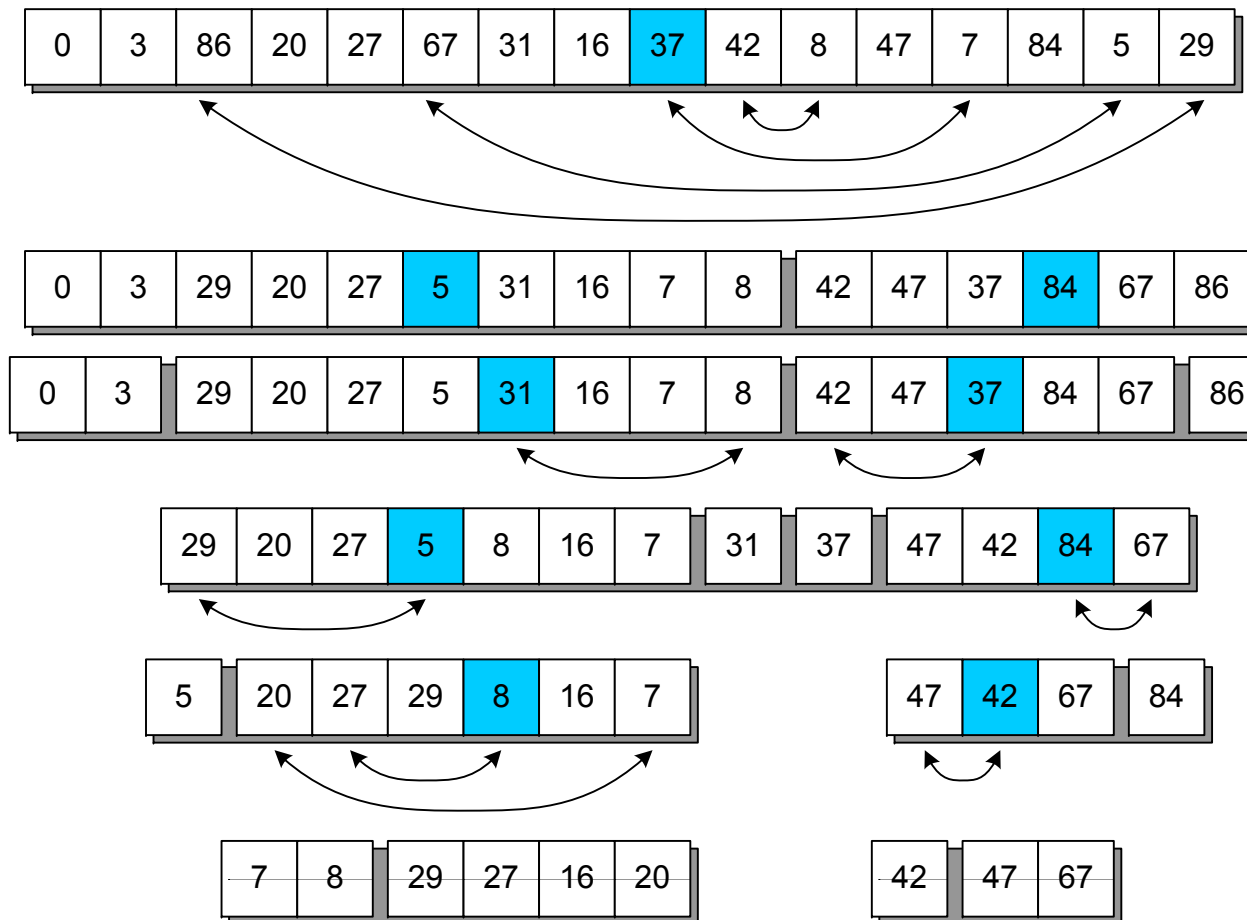
Быстрая сортировка Хоара



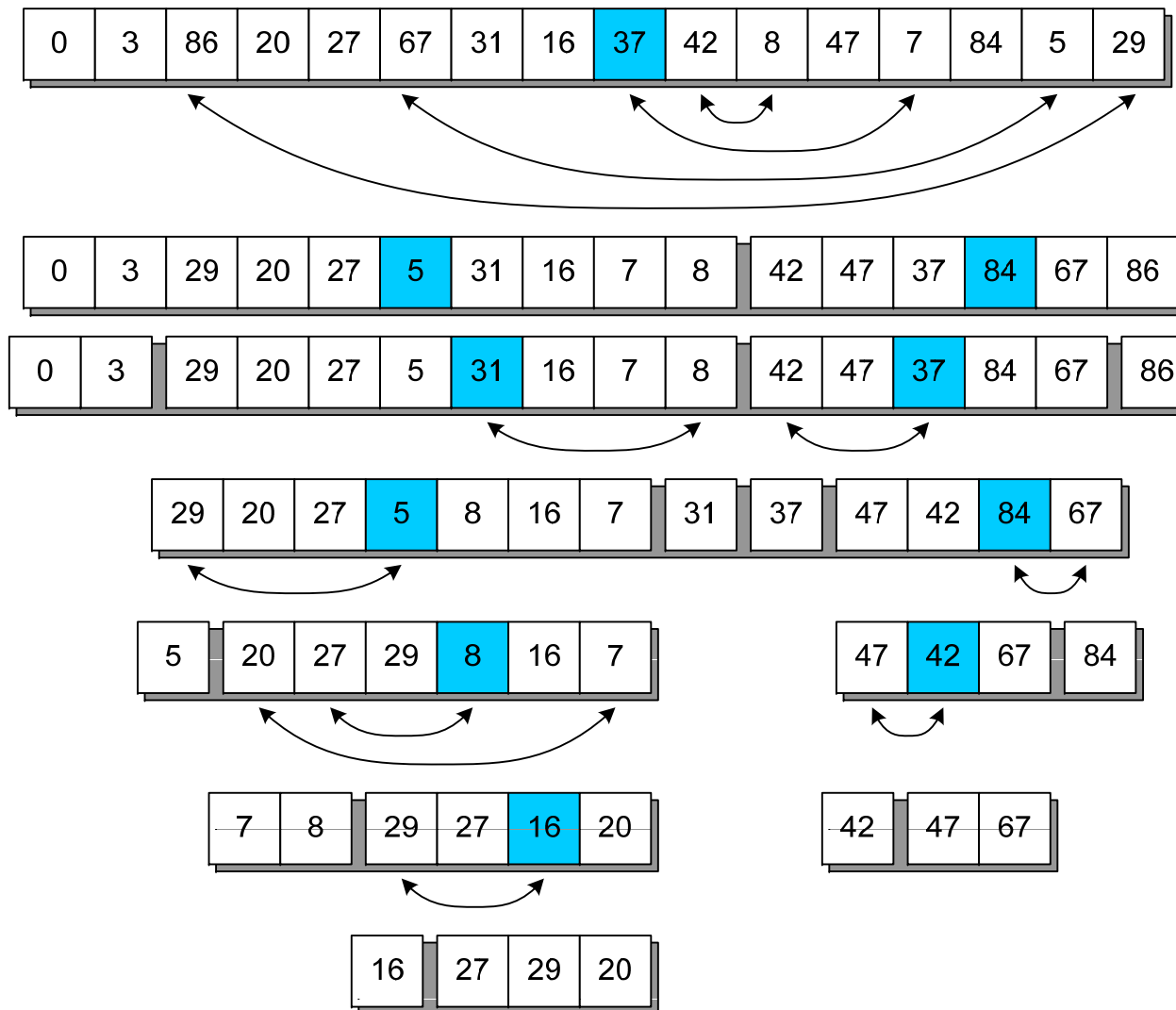
Быстрая сортировка Хоара



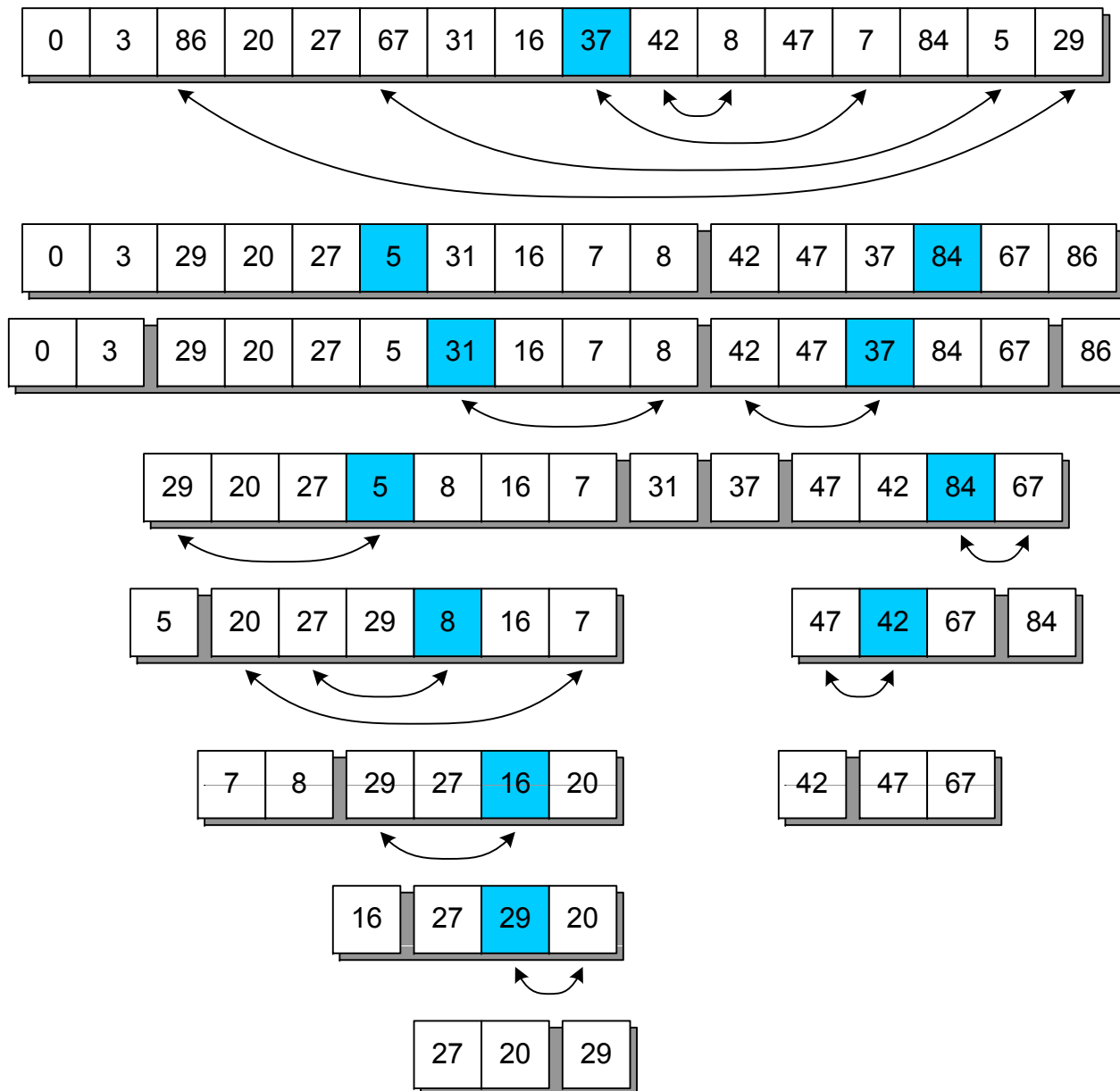
Быстрая сортировка Хоара



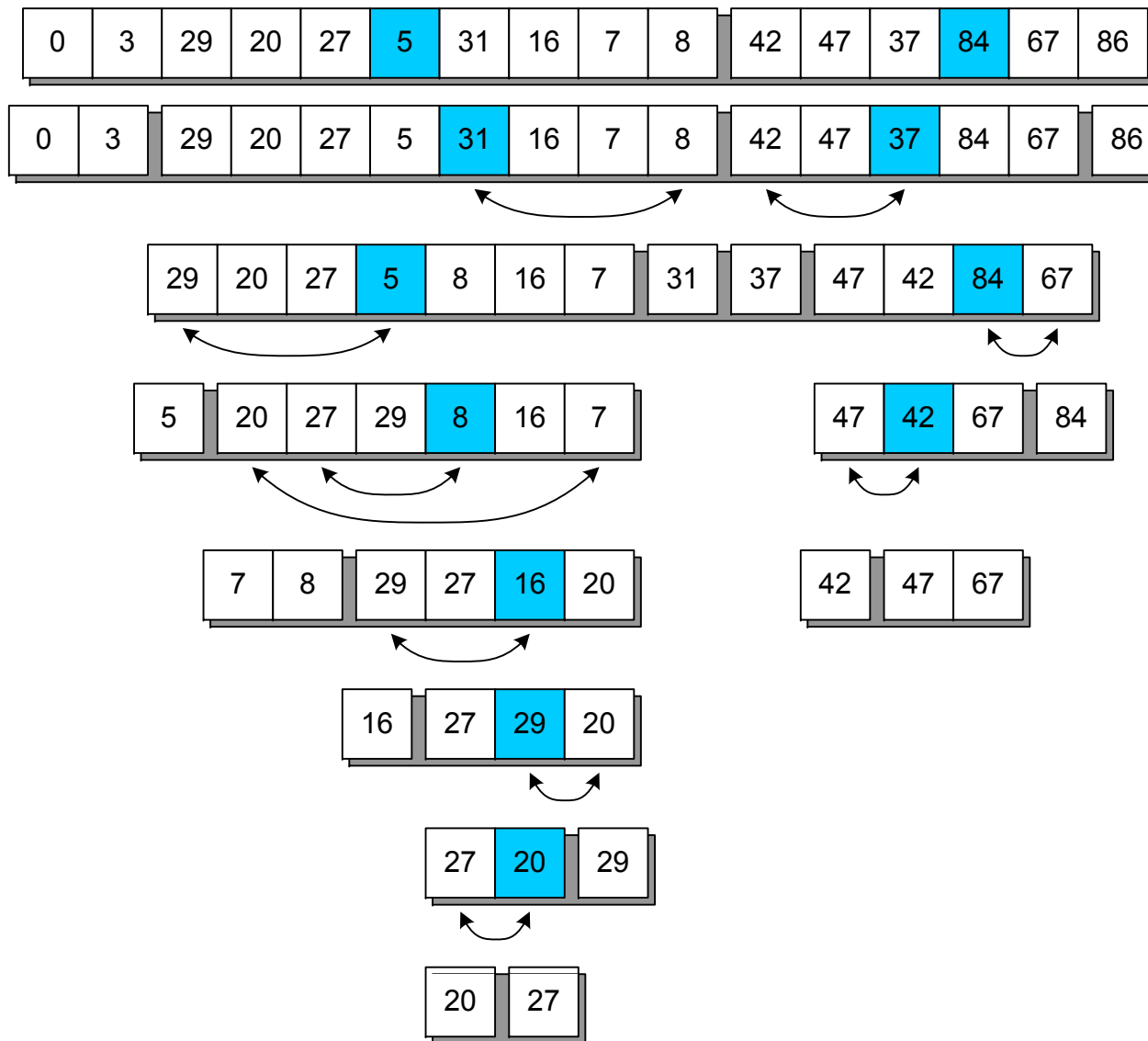
Быстрая сортировка Хоара



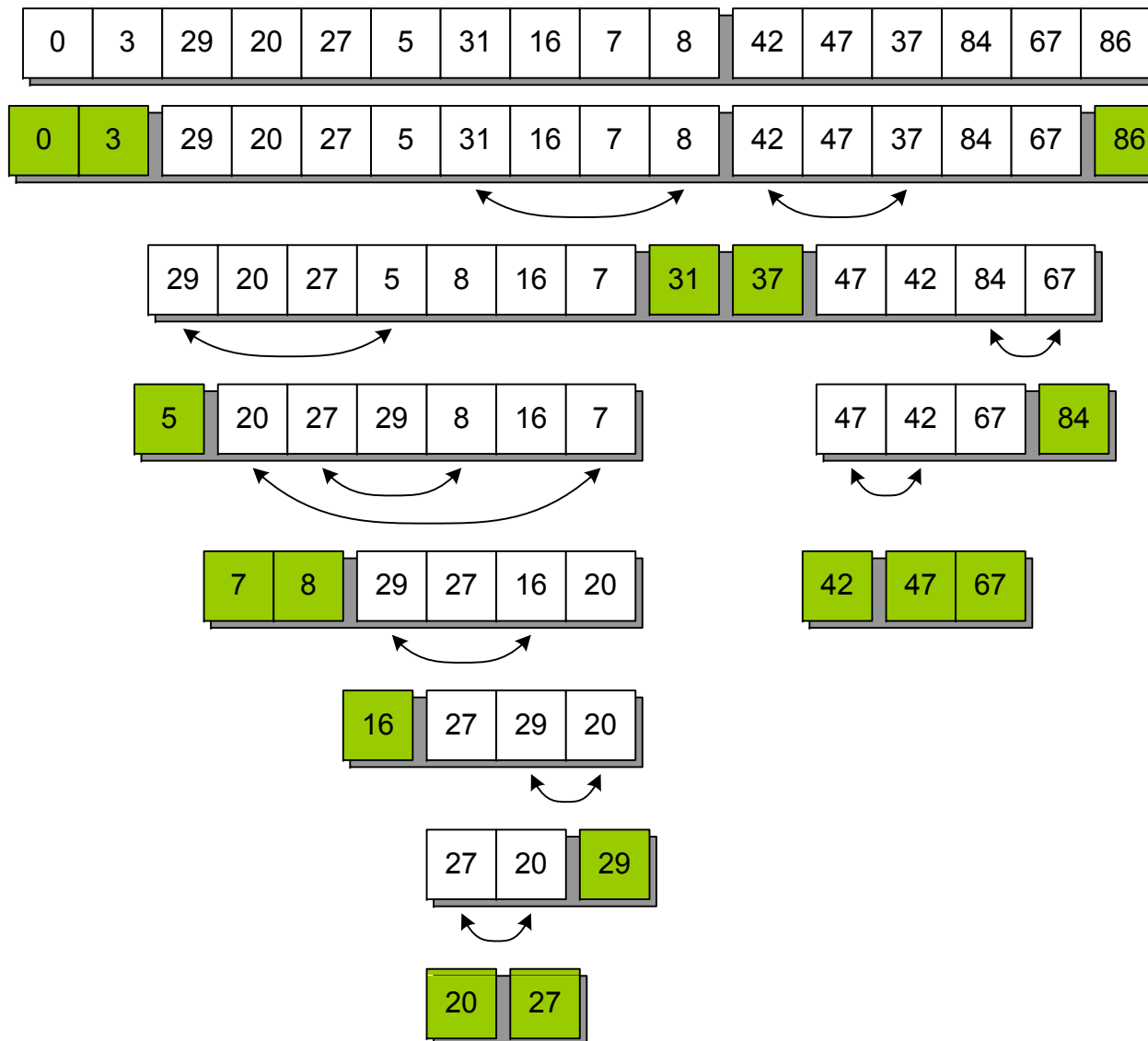
Быстрая сортировка Хоара



Быстрая сортировка Хоара



Быстрая сортировка Хоара





Сортировка подсчетом

Основная идея алгоритма – подсчет количества встретившихся элементов с равным значением (заполнение массива частот), восстановление отсортированного массива

Асимптотические сложности

$t \sim O(N)$ $m \sim O(K)$ (K – количество различных значений элементов массива)

Характеризуется **устойчивостью** и **неестественным поведением**

```
FillChar(FreqArr, 100*SizeOf(Integer), 0);
```

```
for I := 1 to N do  
  Inc(FreqArr[Arr[I]]);
```

```
Curr := 1;  
for I := Low(FreqArr) to High(FreqArr) do  
  for J := 1 to FreqArr[I] do begin  
    Arr[Curr] := I;  
    Inc(Curr);  
  end;
```


Сортировка подсчетом

Сортируемый массив

9	1	5	1	5	1	3	4	8	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Массив частот

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3	0	0	0	0	0	0	0	0

Сортировка подсчетом

Сортируемый массив

9	1	5	1	5	1	3	4	8	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Массив частот

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3	0	1	0	0	0	0	0	0

Сортировка подсчетом

Сортируемый массив

9	1	5	1	5	1	3	4	8	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Массив частот

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3	0	1	1	0	0	0	0	0

Сортировка подсчетом

Сортируемый массив

9	1	5	1	5	1	3	4	8	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Массив частот

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3	0	1	1	2	0	0	0	0

Сортировка подсчетом

Сортируемый массив

9	1	5	1	5	1	3	4	8	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Массив частот

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3	0	1	1	2	0	1	0	0

Сортировка подсчетом

Сортируемый массив

9	1	5	1	5	1	3	4	8	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Массив частот

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3	0	1	1	2	0	1	1	0

Сортировка подсчетом

Сортируемый массив

9	1	5	1	5	1	3	4	8	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Массив частот

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3	0	1	1	2	0	1	1	1

Сортировка подсчетом

Сортируемый массив

9	1	5	1	5	1	3	4	8	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Массив частот

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	3	0	1	1	2	0	1	1	1

Отсортированный массив

1	1	1	3	4	5	5	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Недостатки сортировки подсчетом

Диапазон значений

Сортировка элементов типа Integer потребует около 16 ГБ памяти.
Можно использовать поразрядную сортировку...

Сортировка записей в БД

Можно использовать составление списков индексов сортируемых значений...

Сравнение алгоритмов сортировки

Проводилось на компьютере с процессором Intel Core 2 Duo E6300 (Conroe, CPUID=006F6h, 1,86 ГГц, технологии энергосбережения отключены)

Количество элементов	1 000	10 000	100 000	1 000 000
Пузырьковая сортировка	$3,2 \cdot 10^{-3}$ с	0,3 с	32,6 с	55 мин
Сортировка выбором	$5,5 \cdot 10^{-4}$ с	$5,6 \cdot 10^{-2}$ с	5,3 с	11,3 мин
<u>Сортировка вставками</u>	$3,0 \cdot 10^{-4}$ с	$2,8 \cdot 10^{-2}$ с	2,9 с	5,9 мин
Пирамидальная сортировка	$1,0 \cdot 10^{-4}$ с	$1,2 \cdot 10^{-3}$ с	0,02 с	0,22 с
Сортировка Шелла (с приращениями по Сейджвику)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ с	$1,3 \cdot 10^{-3}$ с	0,02 с	0,17 с
<u>Сортировка подсчетом</u>	$1,1 \cdot 10^{-5}$ с	$9,1 \cdot 10^{-5}$ с	$9,0 \cdot 10^{-4}$ с	0,01 с
<u>Быстрая сортировка Хоара</u> (рекурсивная реализация)	$7,6 \cdot 10^{-5}$ с	$7,5 \cdot 10^{-4}$ с	$7,4 \cdot 10^{-3}$ с	0,08 с



**Доклад окончен.
Спасибо за внимание!**