

Правительство Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Департамент программной инженерии факультета компьютерных наук.

**Контрольное домашнее задание по дисциплине  
«Построение и анализ алгоритмов»**

Выполнил студент  
бакалавриата по направлению  
«Программная инженерия»  
группы 201(1)  
Сероусов Виталий Эдуардович

Преподаватель: Ахметсафина Римма Закиевна

# Содержание

<b>1</b>	<b>Цель работы</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Постановка задачи</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Описание эксперимента</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Описание алгоритма Шелла</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Результаты эксперимента</b>	<b>6</b>
5.1	Таблицы . . . . .	6
5.1.1	Bubble sort . . . . .	6
5.1.2	Iverson 1 . . . . .	9
5.1.3	Iverson 2 . . . . .	12
5.1.4	Insertion sort . . . . .	15
5.1.5	Binary sort . . . . .	18
5.1.6	Counting sort . . . . .	21
5.1.7	Radix 256 sort . . . . .	23
5.1.8	Merge sort . . . . .	26
5.1.9	Heap sort . . . . .	29
5.1.10	Quick sort (middle) . . . . .	32
5.1.11	Quick sort (last) . . . . .	35
5.1.12	Shell Sort . . . . .	38
5.2	Графики . . . . .	41
5.2.1	По видам массивов . . . . .	41
5.2.2	По видам массивов (логарифмическая шкала) . . . . .	44
5.2.3	По методам сортировки . . . . .	47
5.3	Таблица асимптотических оценок сложности алгоритмов . . . . .	53
<b>6</b>	<b>Выводы</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Список использованной литературы</b>	<b>56</b>

# 1 Цель работы

Цель работы – экспериментальное определение времени сортировок различных массивов разными методами и сравнительный анализ полученных результатов.

# 2 Постановка задачи

Провести эксперименты – измерить максимальное и среднее время выполнения сортировок массива по возрастанию методами.

- 1) Пузырька (**Bubble sort**)
- 2) Пузырька с условием Айверсона 1 (**Iverson 1**)
- 3) Пузырька с условием Айверсона 2 (**Iverson 2**)
- 4) Простых вставок (**Insertion sort**)
- 5) Бинарных вставок (**Binary sort**)
- 6) Подсчетом (**Counting sort**)
- 7) Цифровая сортировка (256-ричная CC) (**Radix 256 sort**)
- 8) Слиянием (**Merge sort**)
- 9) Кучей (**Heap sort**)
- 10) Быстрой (Хоара) для барьерного элемента в середине подмассива (**Quick sort (middle)**)
- 11) Быстрой (Хоара) для барьерного элемента в конце подмассива (**Quick sort (last)**)
- 12) Шелла (**Shell sort**)

### 3 Описание эксперимента

Измерения провести для размеров массива от 1000 до 9000 с шагом в 1000 элементов. Измерения выполнить для массивов, заполненных целыми положительными числами:

1. Случайными значениями от 0 до 7
2. Случайными значениями от 0 до максимального целого (кроме сортировки подсчетом)
3. Отсортированными в требуемом порядке (по возрастанию) числами от 0 до 8000
4. «Почти» отсортированными в требуемом порядке числами (например, поменять местами 5 пар элементов отсортированного массива п. 3)
5. Отсортированными в обратном порядке (по убыванию) числами от 0 до 8000

Каждую функцию вызывать по 50 раз, найти максимальное и среднее время выполнения сортировки (в тактах или в наносекундах) для массивов заданных размеров.

Сортировать каждый раз один и тот же массив. В цикле для определения времени сгенерировать эталонный массив максимальной длины 9000 (5 раз – для 5 видов массивов), затем перед каждой сортировкой копировать элементы эталонного массива в рабочий массив, который и сортировать.

## 4 Описание алгоритма Шелла

**Сортировка Шелла** — алгоритм сортировки, являющийся усовершенствованным вариантом сортировки вставками. Идея метода Шелла состоит в сравнении элементов, стоящих не только рядом, но и на определённом расстоянии друг от друга. Иными словами — это сортировка вставками с предварительными «грубыми» проходами.

При сортировке Шелла сначала сравниваются и сортируются между собой значения, стоящие один от другого на некотором расстоянии  $d$ . После этого процедура повторяется для некоторых меньших значений  $d$ , а завершается сортировка Шелла упорядочиванием элементов при  $d = 1$  (то есть обычной сортировкой вставками). Эффективность сортировки Шелла в определённых случаях обеспечивается тем, что элементы «быстрее» встают на свои места (в простых методах сортировки, например, пузырьковой, каждая перестановка двух элементов уменьшает количество инверсий в списке максимум на 1, а при сортировке Шелла это число может быть больше).

Ниже представлен псевдокод алгоритма Шелла:

```
Shell Sort (Sorting the array A[size])
```

```
Determine the number of segments
```

```
While the number of segments are greater than zero {  
    For each segment {  
        do an Insertion Sort.  
        (think on how to write the loops here efficiently... )  
    }  
    Divide the number of segments by two.  
}
```

**Алгоритм 1.** Псевдокод сортировки Шелла.

## 5 Результаты эксперимента

### 5.1 Таблицы

Ниже представлены результаты эксперимента в виде таблиц (по оси ординат указаны такты, по оси абсцисс - размер массива):

#### 5.1.1 Bubble sort

Bubble sort	Случайные числа от 0 до 7	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	3323281	3982879
2000	13722784	15061809
3000	32316399	37797982
4000	59047799	62336944
5000	94148989	98884745
6000	137560424	145796132
7000	187585853	191931483
8000	246327512	255550744
9000	313674909	330259297

Таблица 1. Bubble sort.

Bubble sort	Случайные числа от 0 до макс. цел.	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	3257183	3570398
2000	14115306	14652676
3000	33575846	39652953
4000	61941038	74469183
5000	97445674	108187034
6000	141460571	148239564
7000	193566793	203571501
8000	252974980	257211107
9000	330221495	376320102

Таблица 2. Bubble sort.

Bubble sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	885103	1037424
2000	3374589	3668395
3000	7497714	7657537
4000	13257713	13603451
5000	20763653	22064615
6000	29645899	29885383
7000	40413218	43067260
8000	53480999	70171314
9000	67014071	71343844

**Таблица 3.** Bubble sort.

Bubble sort	Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	916534	990828
2000	3690151	4723022
3000	8107216	14212150
4000	13566983	14752675
5000	21282651	22783702
6000	30405717	32353736
7000	40598583	43338473
8000	53068985	56158238
9000	67680705	72169145

**Таблица 4.** Bubble sort.

Bubble sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	2030438	2159722
2000	8300829	8683508
3000	18556451	19657236
4000	32520714	33414686
5000	51358916	54119410
6000	73823281	78026526
7000	100162549	106156580
8000	131388356	138616476
9000	165838187	175111451

**Таблица 5.** Bubble sort.



### 5.1.2 Iverson 1

<b>Iverson 1</b>	<b>Случайные числа от 0 до 7</b>	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	1811960	1888132
2000	6770246	7339187
3000	16935459	17846657
4000	33185597	34049893
5000	58424652	62688930
6000	93604477	109171218
7000	135381625	144044022
8000	185052588	193572803
9000	243916807	260515608

**Таблица 6.** Iverson 1.

<b>Iverson 1</b>	<b>Случайные числа от 0 до макс. цел.</b>	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	2085635	2256387
2000	7750753	8324484
3000	18789079	18992937
4000	37373705	39397366
5000	63698644	67641303
6000	100135965	105926903
7000	144068341	148557616
8000	198035386	220769539
9000	256244921	266976860

**Таблица 7.** Iverson 1.

<b>Iverson 1</b>	<b>Случайные числа от 0 до 8000, сортированные</b>	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	1885	2964
2000	3539	3575
3000	6479	6986
4000	7116	11055
5000	8770	10250
6000	10503	11165
7000	12270	15074
8000	16088	21604
9000	15852	20237

**Таблица 8.** Iverson 1.

<b>Iverson 1</b>	<b>Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные</b>	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	816628	842642
2000	3131408	3360298
3000	5947823	6348619
4000	11637750	12354998
5000	10941035	11760950
6000	28939824	30658234
7000	40033903	42421977
8000	44925785	47474966
9000	67225943	86403160

**Таблица 9.** Iverson 1.

Iverson 1	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	2090681	2512551
2000	8177188	8673522
3000	18506762	19483568
4000	33010653	34674334
5000	51171742	55763850
6000	73425217	78101216
7000	99812569	104025182
8000	130346249	134822590
9000	165583185	173000253

**Таблица 10.** Iverson 1.

### 5.1.3 Iverson 2

<b>Iverson 2</b>	<b>Случайные числа от 0 до 7</b>	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	1825646	2050103
2000	7581807	8040376
3000	20079035	33851116
4000	37502764	53550539
5000	67228745	77901905
6000	99640510	112845345
7000	141494732	155385555
8000	190116382	199815449
9000	247813254	257517121

**Таблица 11.** Iverson 2.

<b>Iverson 2</b>	<b>Случайные числа от 0 до макс. цел.</b>	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	2416583	3833562
2000	8564015	10304909
3000	21566177	36552848
4000	40290965	50770575
5000	66307732	70170180
6000	104012738	115215947
7000	146809626	153230203
8000	197853603	207508947
9000	259016988	271486641

**Таблица 12.** Iverson 2.

<b>Iverson 2</b>	<b>Случайные числа от 0 до 8000, сортированные</b>	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	1803	2145
2000	3555	4558
3000	6422	7252
4000	7002	7151
5000	8769	10324
6000	10493	10920
7000	14809	19769
8000	13950	14621
9000	15675	15915

**Таблица 13.** Iverson 2.

<b>Iverson 2</b>	<b>Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные</b>	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	950214	1138167
2000	2369656	2574995
3000	6354730	6579128
4000	7556457	8042347
5000	11648801	12601509
6000	16532000	17813339
7000	10428220	10873995
8000	29880233	31809134
9000	54483370	57205089

**Таблица 14.** Iverson 2.

Iverson 2	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	2156523	2349865
2000	8206078	8697137
3000	18478313	19504313
4000	32682845	34731513
5000	51423810	54188087
6000	73745676	78105560
7000	100042956	104676399
8000	131021108	138879348
9000	165725341	172736113

**Таблица 15.** Iverson 2.

#### 5.1.4 Insertion sort

Insertion sort	Случайные числа от 0 до 7	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	538777	634333
2000	2341935	2383567
3000	4837427	5139349
4000	8731517	9314570
5000	13414196	14278613
6000	19269518	20764484
7000	26373830	27962095
8000	34257676	36476957
9000	43853058	46533781

Таблица 16. Insertion sort.

Insertion sort	Случайные числа от 0 до макс. цел.	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	686225	791538
2000	2534639	2739770
3000	5538325	5978864
4000	9947024	10422855
5000	15697342	16413249
6000	21974148	23532275
7000	30193265	32012925
8000	39530188	41645830
9000	50398152	53195789

Таблица 17. Insertion sort.

Insertion sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	5663	6106
2000	13541	14223
3000	17001	19913
4000	22462	23565
5000	28056	28346
6000	33748	34206
7000	39277	39395
8000	44960	45381
9000	50591	54603

**Таблица 18.** Insertion sort.

Insertion sort	Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	11086	12324
2000	27495	31151
3000	29214	34118
4000	47778	56029
5000	66634	104510
6000	75292	76425
7000	76806	84163
8000	118789	120613
9000	93221	94505

**Таблица 19.** Insertion sort.



Insertion sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	1269524	1508373
2000	4947459	5262993
3000	11175291	11967721
4000	19640599	20624127
5000	30812557	32803053
6000	44171938	47222320
7000	60557765	64006316
8000	78993021	83843573
9000	99831917	106036932

**Таблица 20.** Insertion sort.

### 5.1.5 Binary sort

Binary sort	Случайные числа от 0 до 7	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	495443	514344
2000	1779124	1948908
3000	3538528	3887714
4000	6306094	6569362
5000	9623889	10238362
6000	13615149	14426084
7000	18141953	18565225
8000	23798631	25389416
9000	30138687	31972879

Таблица 21. Binary sort.

Binary sort	Случайные числа от 0 до макс. цел.	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	590409	715309
2000	1989107	2217089
3000	4144157	4448781
4000	7217073	8166114
5000	11203354	12055971
6000	15702507	16756746
7000	21265210	22728405
8000	27764112	29517307
9000	35076353	37069304

Таблица 22. Binary sort.

Binary sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	32843	46142
2000	71450	77052
3000	118205	156186
4000	156410	165232
5000	196414	281974
6000	248003	248505
7000	302857	391948
8000	339699	340239
9000	388452	542103

**Таблица 23.** Binary sort.

Binary sort	Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	41756	46084
2000	89068	286043
3000	127970	154006
4000	178655	182067
5000	246920	359360
6000	260835	281856
7000	320838	462002
8000	373287	470608
9000	438426	528595

**Таблица 24.** Binary sort.

Binary sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	874901	940855
2000	3483561	3747603
3000	7755290	8374759
4000	13293450	13901473
5000	21003142	22187250
6000	30024984	31766819
7000	40542850	43267435
8000	52799287	55951549
9000	66993535	71010407

**Таблица 25.** Binary sort.

### 5.1.6 Counting sort

Counting sort	Случайные числа от 0 до 7	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	10852	20920
2000	20188	27609
3000	30615	39765
4000	57082	64951
5000	66921	82500
6000	78429	87079
7000	90994	126929
8000	104121	124910
9000	113363	137470

Таблица 26. Counting sort.

Counting sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	97539	108756
2000	103258	122163
3000	128718	160436
4000	147074	156419
5000	171252	204629
6000	191578	211405
7000	215376	230387
8000	248551	309131
9000	271053	479140

Таблица 27. Counting sort.

Counting sort	Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	95964	101828
2000	86611	143039
3000	116537	129447
4000	133335	142054
5000	151498	185904
6000	154515	167877
7000	178056	219425
8000	191480	240717
9000	191973	205789

Таблица 28. Counting sort.

Counting sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	96649	109533
2000	83967	103819
3000	117946	142633
4000	133930	144132
5000	144593	151684
6000	156567	162800
7000	171602	178828
8000	189914	225444
9000	196681	205186

Таблица 29. Counting sort.

### 5.1.7 Radix 256 sort

Radix 256 sort	Случайные числа от 0 до 7	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	55500	64358
2000	116843	159041
3000	171610	194391
4000	223833	234382
5000	285459	372727
6000	329285	334923
7000	389692	499720
8000	433100	440642
9000	485897	515733

Таблица 30. Radix 256 sort.

Radix 256 sort	Случайные числа от 0 до макс. цел.	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	45540	56977
2000	91965	147322
3000	124518	142822
4000	184337	273199
5000	217693	315750
6000	253871	283106
7000	300508	377395
8000	334139	363033
9000	378282	415138

Таблица 31. Radix 256 sort.

Radix 256 sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	48954	56377
2000	108960	185408
3000	150941	203446
4000	197456	209287
5000	245044	257468
6000	290799	319684
7000	328645	389408
8000	379907	430363
9000	436718	649376

**Таблица 32.** Radix 256 sort.

Radix 256 sort	Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	49307	58019
2000	101454	122681
3000	152041	216886
4000	193393	213383
5000	245449	329692
6000	284612	346673
7000	337300	409621
8000	375149	429008
9000	424569	541396

**Таблица 33.** Radix 256 sort.



Radix 256 sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	49550	58953
2000	101986	130052
3000	142928	180427
4000	193601	208783
5000	248563	332680
6000	287237	334542
7000	340461	446729
8000	382755	522199
9000	421263	479258

**Таблица 34.** Radix 256 sort.

### 5.1.8 Merge sort

Merge sort	Случайные числа от 0 до 7	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	1059272	1420150
2000	1952424	2306931
3000	2775065	3107337
4000	3553106	3922710
5000	4550481	5093446
6000	5120956	5556128
7000	6612198	6887160
8000	7461271	8590116
9000	8665214	9584273

Таблица 35. Merge sort.

Merge sort	Случайные числа от 0 до макс. цел.	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	955669	1245538
2000	1927998	2269884
3000	2996779	3663787
4000	3723867	4141803
5000	4915906	5605395
6000	5910044	6462889
7000	6607783	7402910
8000	7278484	7839194
9000	7926530	8507016

Таблица 36. Merge sort.

Merge sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	585078	638245
2000	1252104	1466019
3000	2185218	2665970
4000	2774139	3613899
5000	3514022	4282448
6000	4234128	4681661
7000	5236563	5612002
8000	5244060	5646475
9000	6904247	7309891

**Таблица 37.** Merge sort.

Merge sort	Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	418565	458623
2000	867864	1270887
3000	1419468	1641845
4000	2037280	2444226
5000	2721576	3025186
6000	3593650	3781908
7000	4413909	5243481
8000	5039929	5354469
9000	6118997	6631123

**Таблица 38.** Merge sort.

Merge sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	357007	431730
2000	683578	767813
3000	1039973	1291064
4000	1470166	1963823
5000	2371813	2614385
6000	3276414	3538874
7000	4060120	4389586
8000	4841558	5186699
9000	5872308	6369009

**Таблица 39.** Merge sort.

### 5.1.9 Heap sort

Heap sort	Случайные числа от 0 до 7	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	123448	173125
2000	279056	341515
3000	438106	492518
4000	580954	644340
5000	736732	796544
6000	938572	959213
7000	1070411	1167681
8000	1206189	1411176
9000	1347427	1422757

Таблица 40. Heap sort.

Heap sort	Случайные числа от 0 до макс. цел.	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	154587	185585
2000	359219	397109
3000	593921	808768
4000	819510	871728
5000	1052190	1133958
6000	1267766	1464124
7000	1467944	1765989
8000	1691763	1858821
9000	1921044	2078457

Таблица 41. Heap sort.

Heap sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	131449	342971
2000	279659	299509
3000	420810	483574
4000	573656	705077
5000	734581	1050827
6000	938751	964633
7000	1110963	1136353
8000	1284399	1461879
9000	1440529	1472854

**Таблица 42.** Heap sort.

Heap sort	Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	125628	134186
2000	267736	344601
3000	414966	432395
4000	604567	613184
5000	772079	808768
6000	942796	967708
7000	1061916	1137824
8000	1221964	1408111
9000	1464567	1668243

**Таблица 43.** Heap sort.

Heap sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	123766	146098
2000	269514	295938
3000	427714	447151
4000	561821	604724
5000	711890	789834
6000	863991	1077339
7000	1070938	1228152
8000	1243118	1423674
9000	1408591	1626747

**Таблица 44.** Heap sort.

### 5.1.10 Quick sort (middle)

Quick sort (middle)	Случайные числа от 0 до 7	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	37319	70558
2000	104291	311553
3000	174067	209278
4000	240564	278735
5000	305821	441936
6000	388404	468468
7000	451386	498439
8000	523244	638003
9000	596672	660775

**Таблица 45.** Quick sort (middle).

Quick sort (middle)	Случайные числа от 0 до макс. цел.	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	99946	157001
2000	261577	311351
3000	423088	479168
4000	558392	671121
5000	727080	809195
6000	925646	1025250
7000	1058782	1231825
8000	1205234	1501211
9000	1347644	1446505

**Таблица 46.** Quick sort (middle).



Quick sort (middle)	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	17587	28517
2000	38573	64235
3000	78268	112935
4000	110464	148842
5000	156797	195254
6000	210854	280149
7000	256010	330805
8000	298311	352792
9000	337744	394004

**Таблица 47.** Quick sort (middle).

Quick sort (middle)	Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	18380	29359
2000	41433	60702
3000	77539	116152
4000	113568	149677
5000	162911	198289
6000	209047	273692
7000	268426	515977
8000	286867	369585
9000	336705	394004

**Таблица 48.** Quick sort (middle).

Quick sort (middle)	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	18831	30099
2000	42772	60507
3000	81188	113375
4000	112899	157878
5000	166370	215941
6000	216383	257290
7000	258565	325590
8000	307479	433399
9000	344116	406496

**Таблица 49.** Quick sort (middle).

### 5.1.11 Quick sort (last)

Quick sort (last)	Случайные числа от 0 до 7	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	36228	68631
2000	91087	131643
3000	159084	198083
4000	211388	259248
5000	269165	309709
6000	347560	387198
7000	416437	463797
8000	471711	615750
9000	553435	611107

**Таблица 50.** Quick sort (last).

Quick sort (last)	Случайные числа от 0 до макс. цел.	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	99276	146793
2000	250071	302723
3000	402123	486102
4000	551548	651450
5000	704535	842654
6000	881334	1082463
7000	1019230	1136778
8000	1237536	1320583
9000	1380612	1753110

**Таблица 51.** Quick sort (last).

Quick sort (last)	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	478963	538338
2000	1759155	2228226
3000	3784067	4120601
4000	6573349	7062761
5000	10180218	10788290
6000	14196807	15071751
7000	18943409	19214064
8000	24858879	37008380
9000	30623889	32479977

**Таблица 52.** Quick sort (last).

Quick sort (last)	Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	275212	293928
2000	1334910	1564905
3000	1208887	1277486
4000	4068997	4444616
5000	5982311	6319643
6000	6501912	6848091
7000	9364708	9815611
8000	6343309	6593505
9000	11904684	12734368

**Таблица 53.** Quick sort (last).

Quick sort (last)	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	456248	519758
2000	1754617	1848160
3000	3532950	4041399
4000	5900823	6111213
5000	8935120	9581063
6000	12222515	12523030
7000	16009012	17498777
8000	20237080	21751407
9000	24969249	26405796

**Таблица 54.** Quick sort (last).

### 5.1.12 Shell Sort

Shell Sort	Случайные числа от 0 до 7	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	98208	113082
2000	223138	240029
3000	356201	454373
4000	510394	647073
5000	618835	659042
6000	733548	867320
7000	835359	1086497
8000	1068585	1295658
9000	1133372	1316968

**Таблица 55.** Shell sort.

Shell Sort	Случайные числа от 0 до макс. цел.	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	184768	262797
2000	406296	421266
3000	692022	810790
4000	942766	1163564
5000	1228376	1334060
6000	1532661	1885202
7000	1748550	1955778
8000	2103265	2322209
9000	2366175	2669397

**Таблица 56.** Shell sort.

Shell Sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	40796	42383
2000	94556	98780
3000	166266	175466
4000	225446	232691
5000	309833	320427
6000	373419	449604
7000	439052	524188
8000	473463	507544
9000	590410	730405

**Таблица 57.** Shell sort.

Shell Sort	Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные	
Размер массива	Время сортировки (единицы измерения)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	56929	68597
2000	142197	186824
3000	239886	261958
4000	330740	390853
5000	411282	459579
6000	550435	705780
7000	622524	760592
8000	640358	772430
9000	789916	1001838

**Таблица 58.** Shell sort.

Shell Sort	Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию	
Размер массива	Время сортировки (такты)	
	Среднее время	Максимальное время
1000	58127	70350
2000	127452	132233
3000	213771	227167
4000	286919	297654
5000	390005	405536
6000	475173	693397
7000	512222	556126
8000	613473	657914
9000	777322	830987

**Таблица 59.** Shell sort.



## 5.2 Графики

### 5.2.1 По видам массивов

Результаты экспериментов в виде графиков «размер массива – среднее время сортировки» для каждого массива.

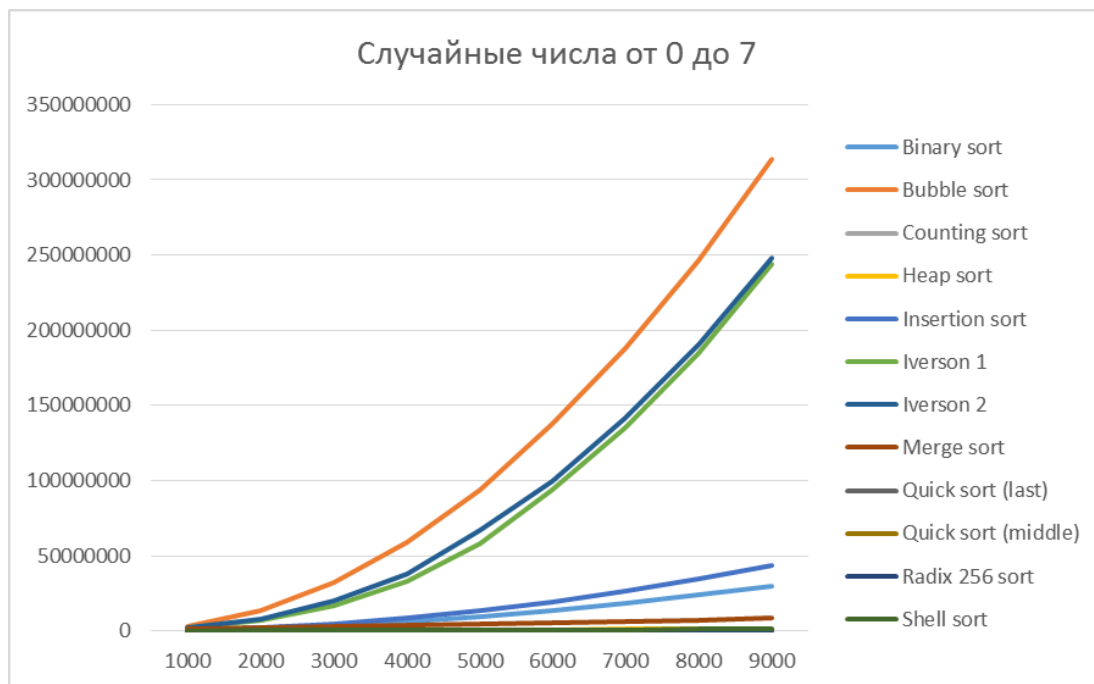


Рис. 1: Случайные числа от 0 до 7

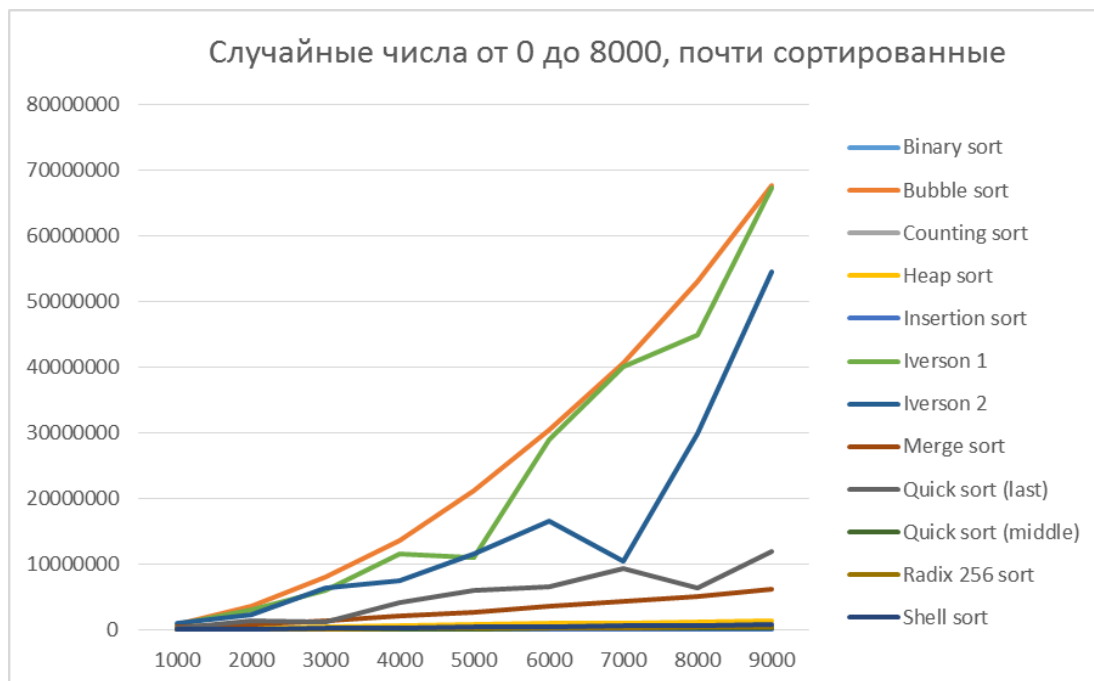


Рис. 2: Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные

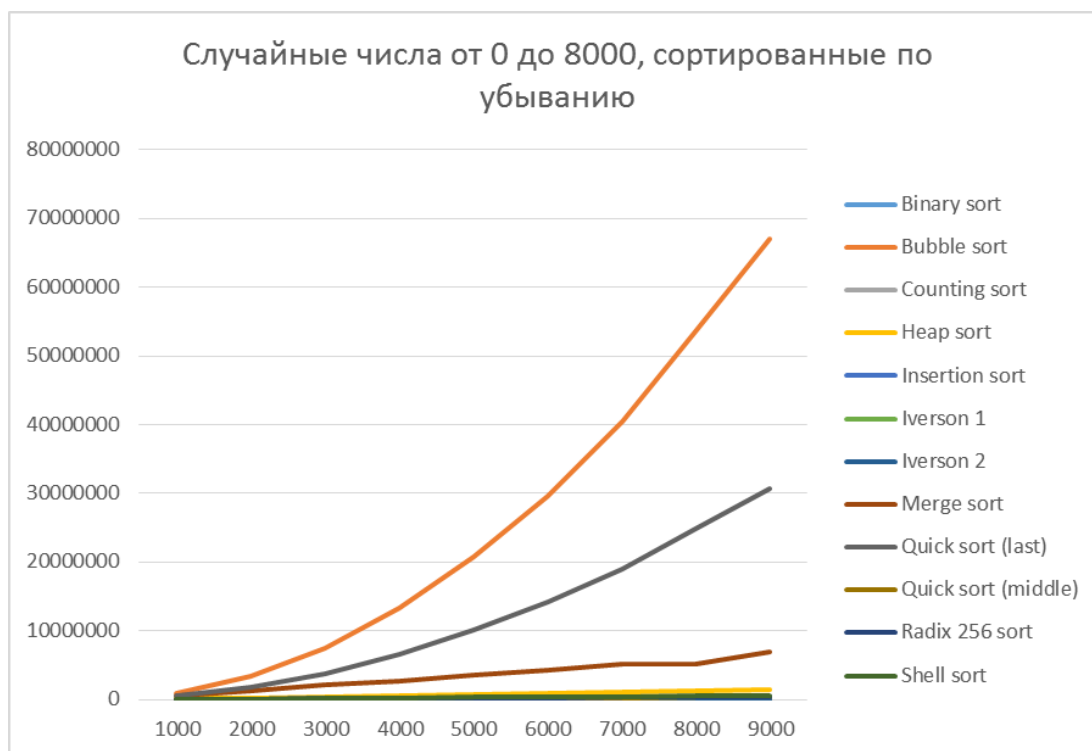


Рис. 3: Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию

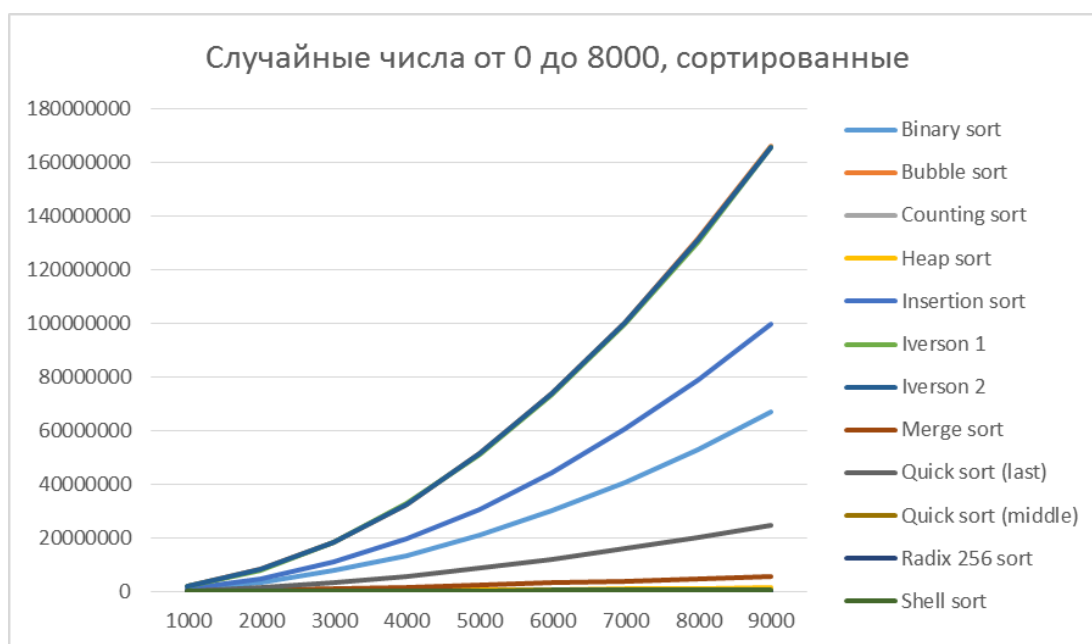


Рис. 4: Случайные числа от 0 до 8000, сортированные

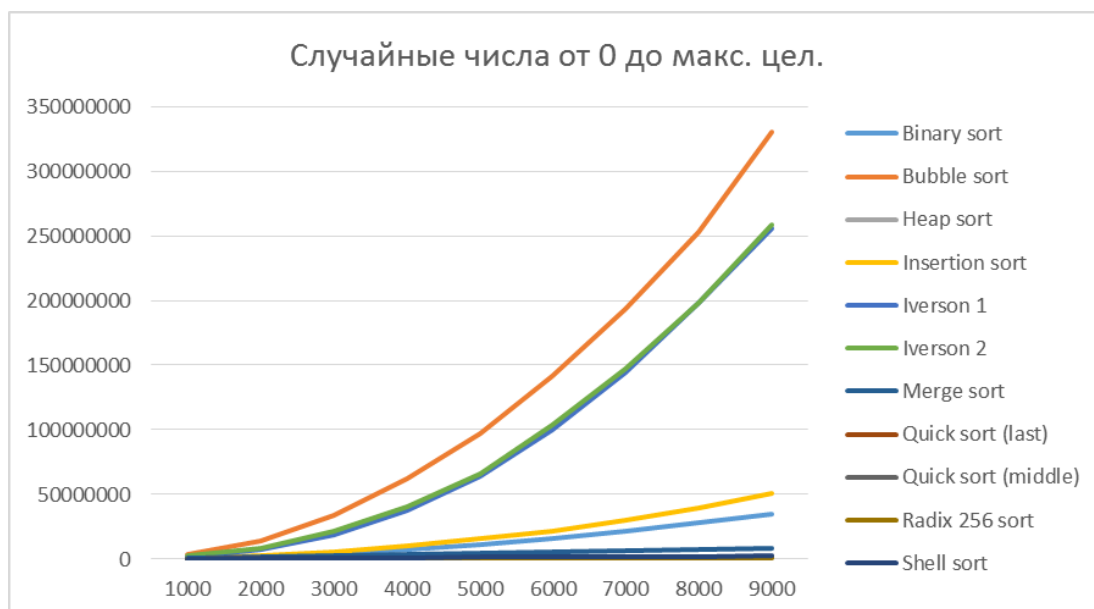


Рис. 5: Случайные числа от 0 до макс. цел.

### 5.2.2 По видам массивов (логарифмическая шкала)

Результаты экспериментов в виде графиков «размер массива – среднее время сортировки» для каждого массива на логарифмической шкале: по оси  $Y$  – не  $t$  (время), а  $\log_2 t$ .

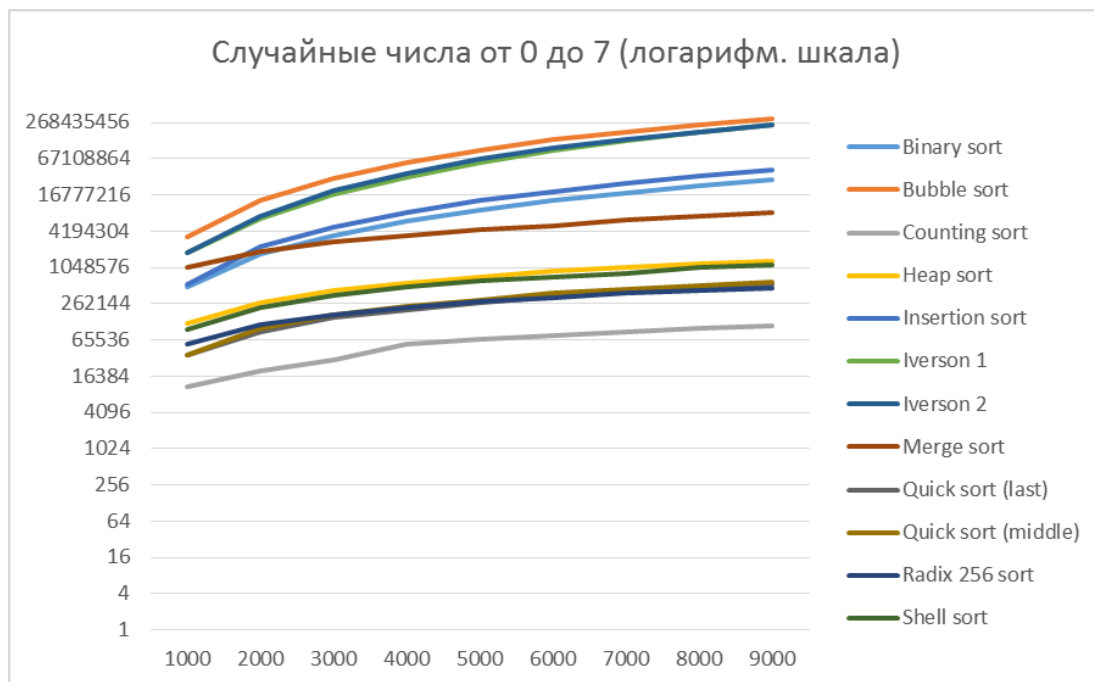


Рис. 6: Случайные числа от 0 до 7

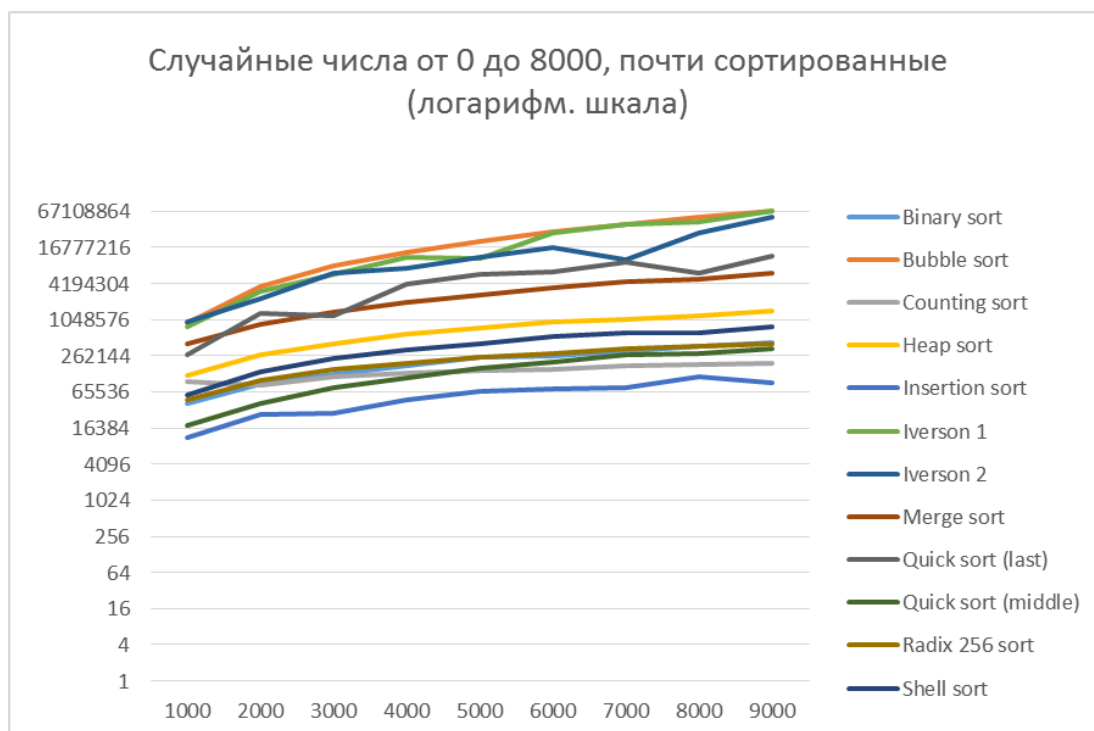


Рис. 7: Случайные числа от 0 до 8000, почти сортированные

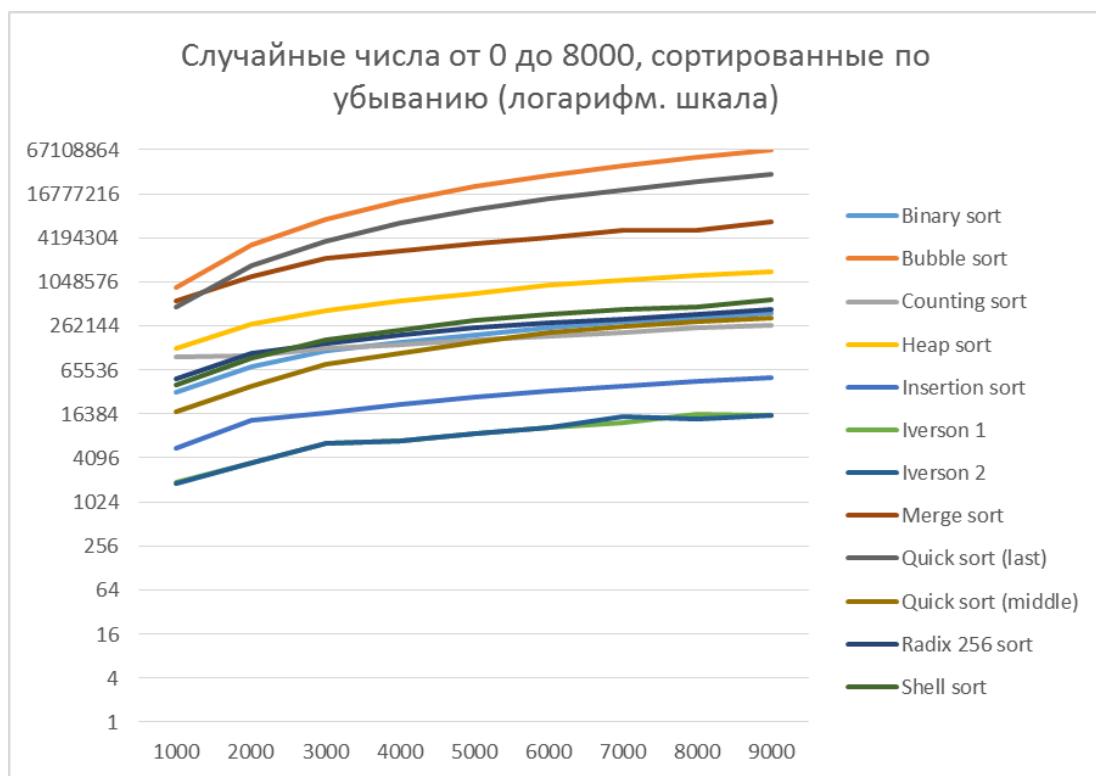


Рис. 8: Случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию

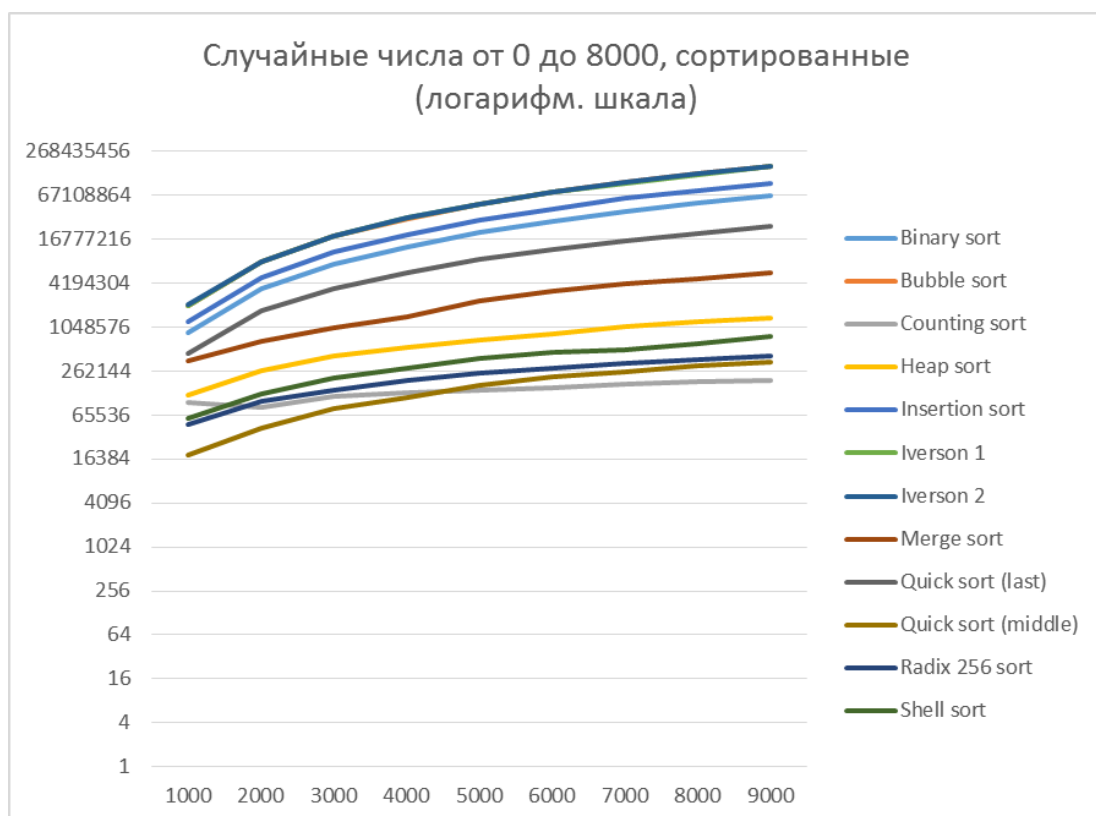


Рис. 9: Случайные числа от 0 до 8000, сортированные

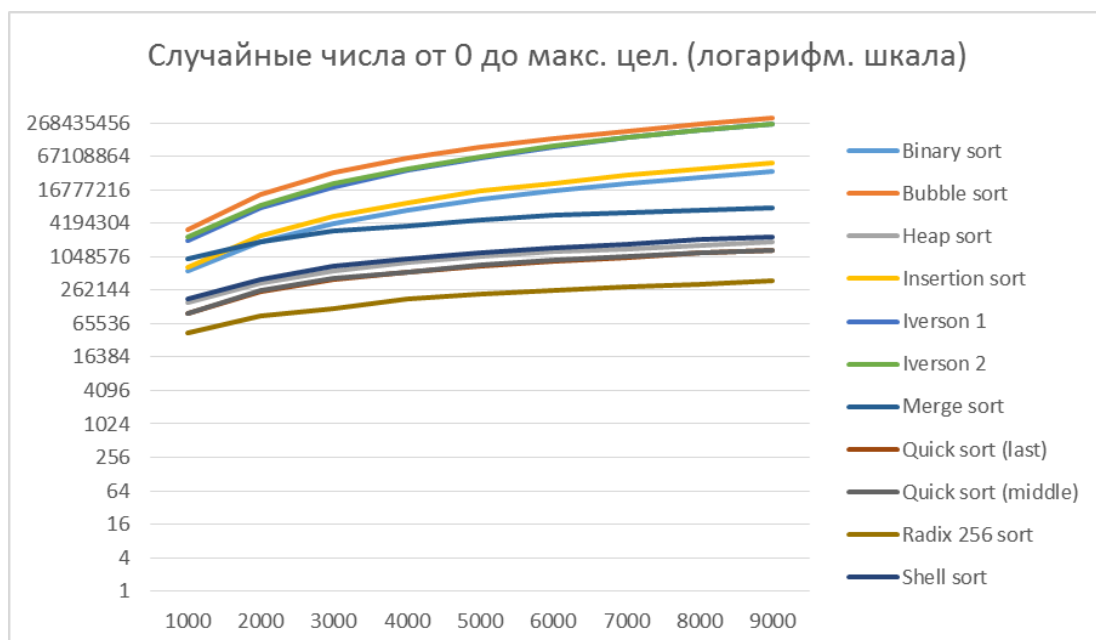


Рис. 10: Случайные числа от 0 до макс. цел.

### 5.2.3 По методам сортировки

Результаты экспериментов в виде графиков «размер массива – среднее время сортировки» для каждого метода сортировки.

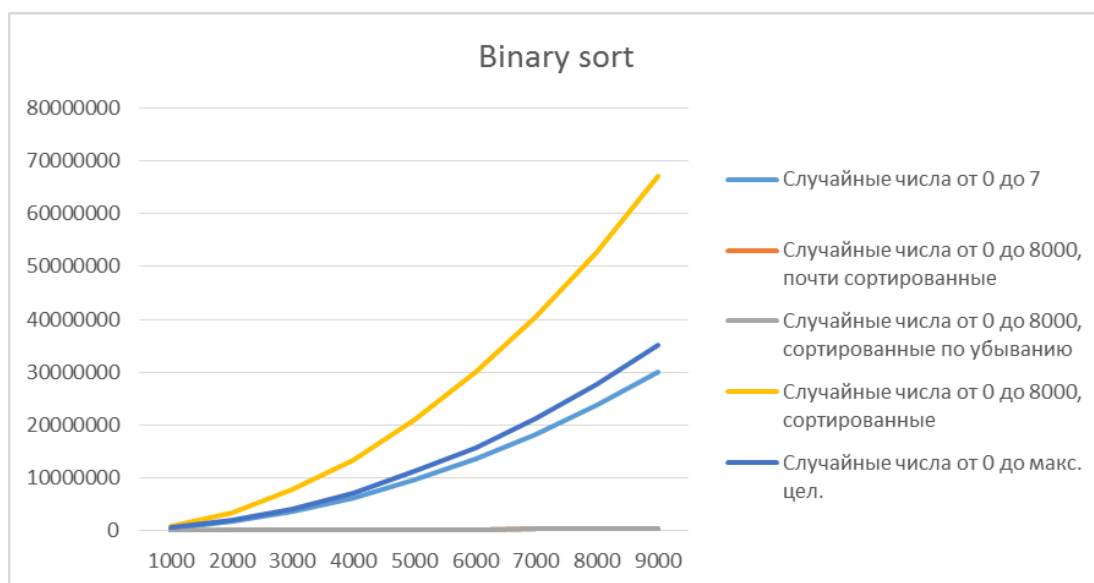


Рис. 11: Binary sort.

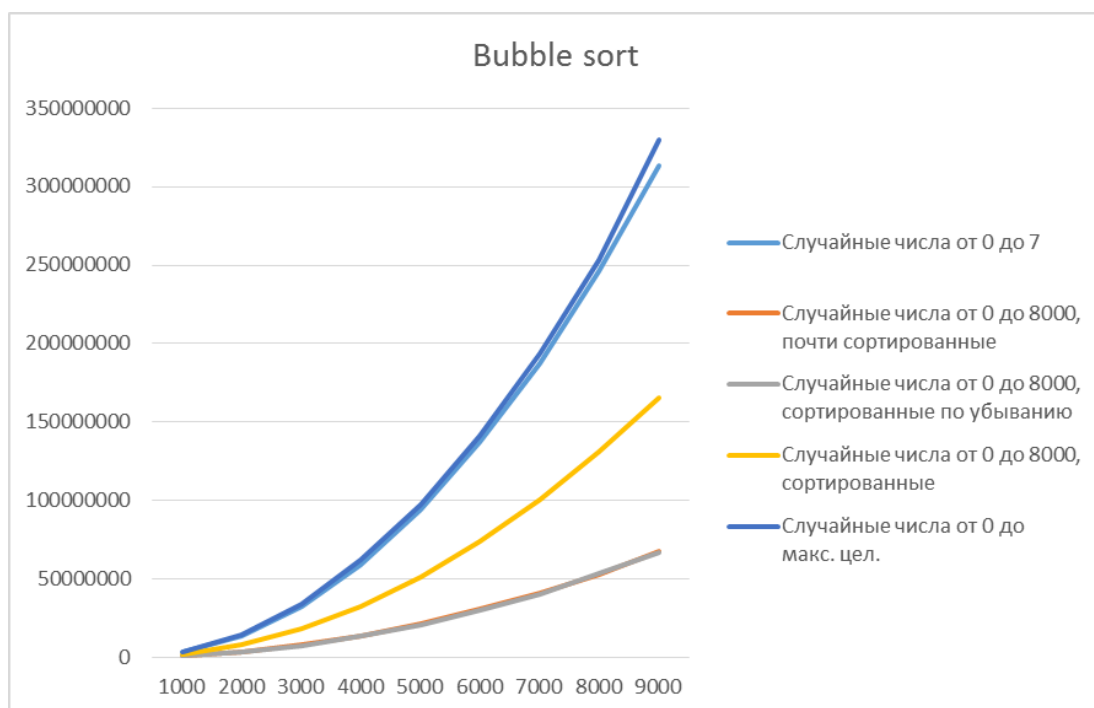


Рис. 12: Bubble sort.

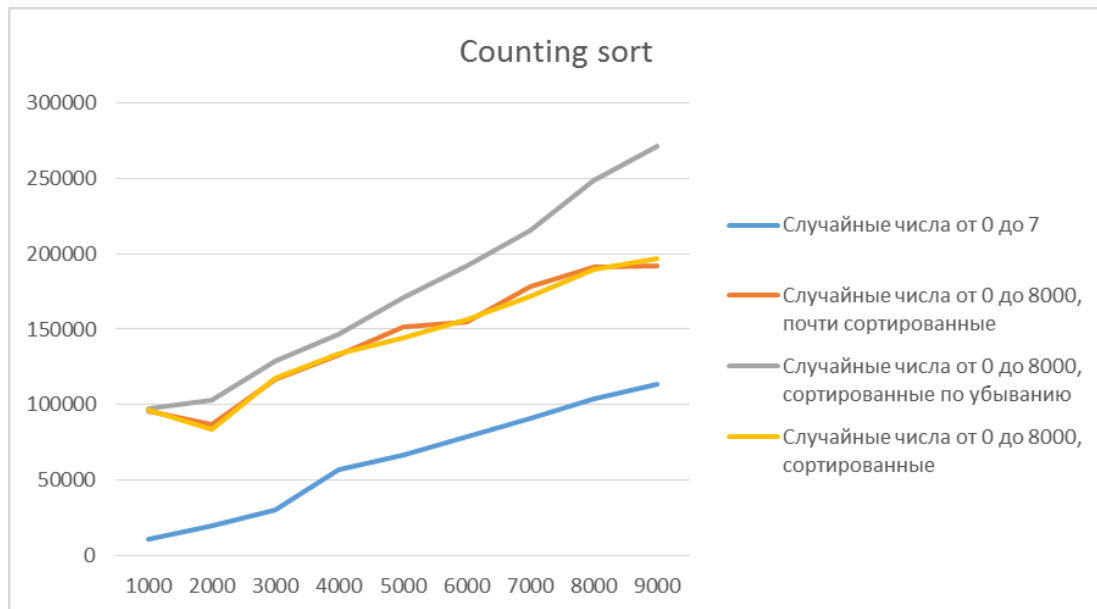


Рис. 13: Counting sort.

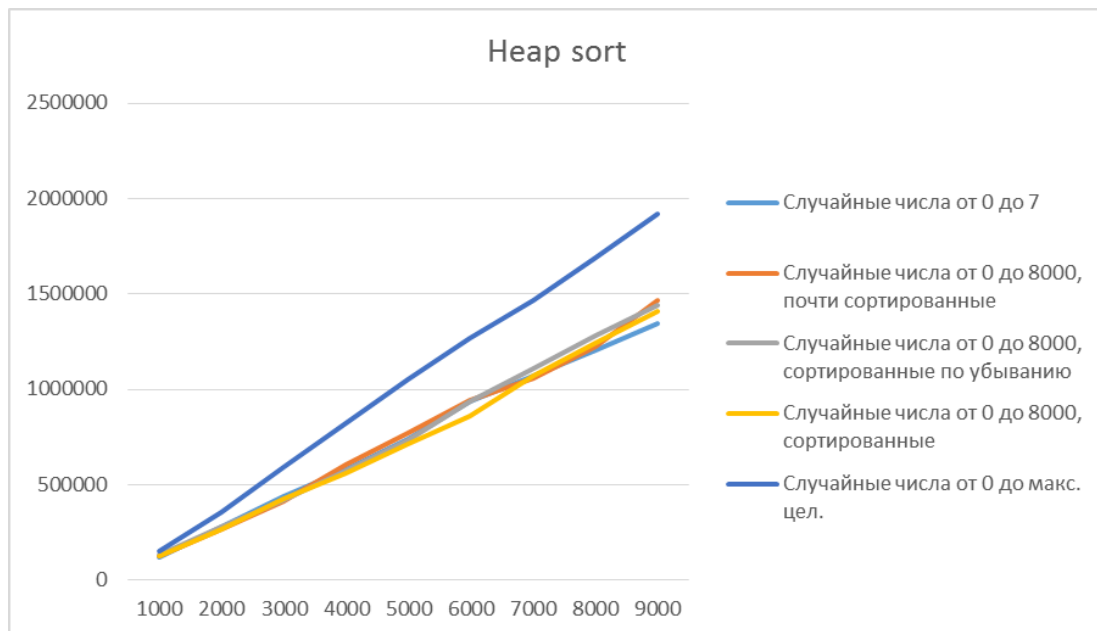


Рис. 14: Heap sort.



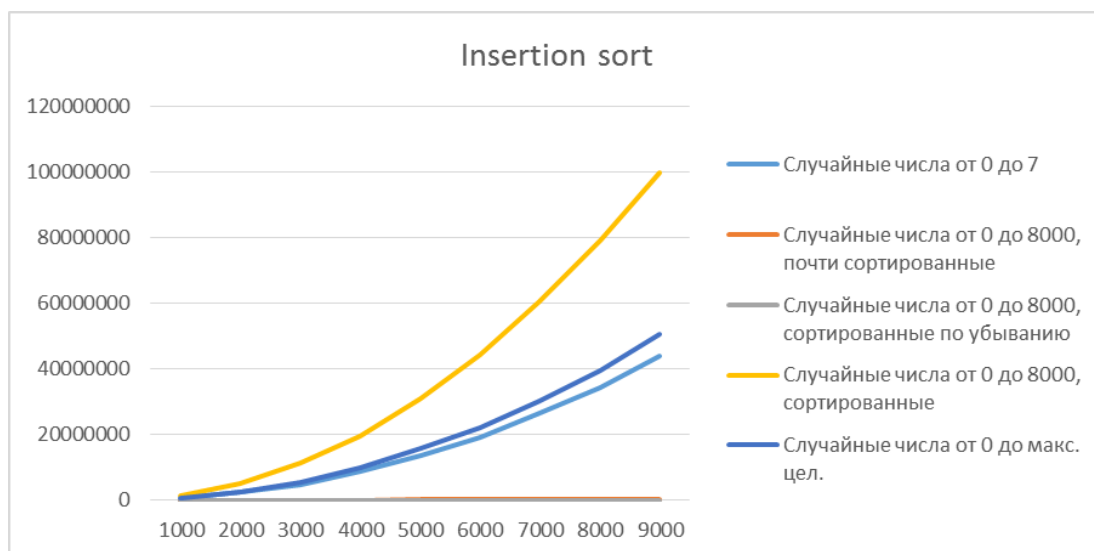


Рис. 15: Insertion sort.

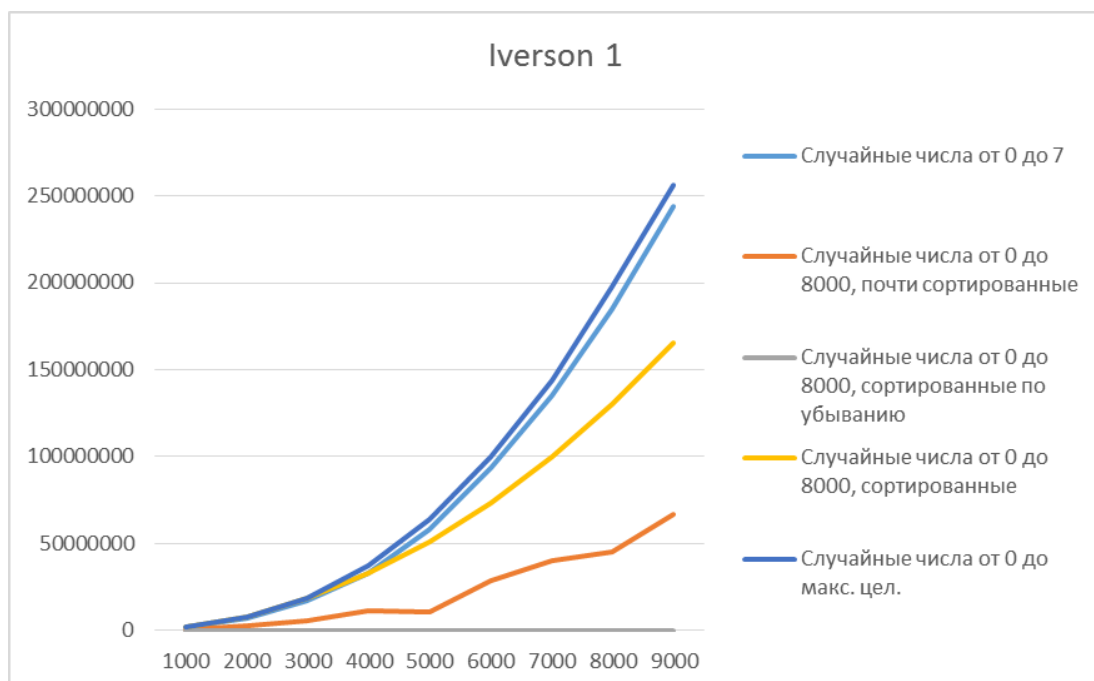


Рис. 16: Iverson 1.

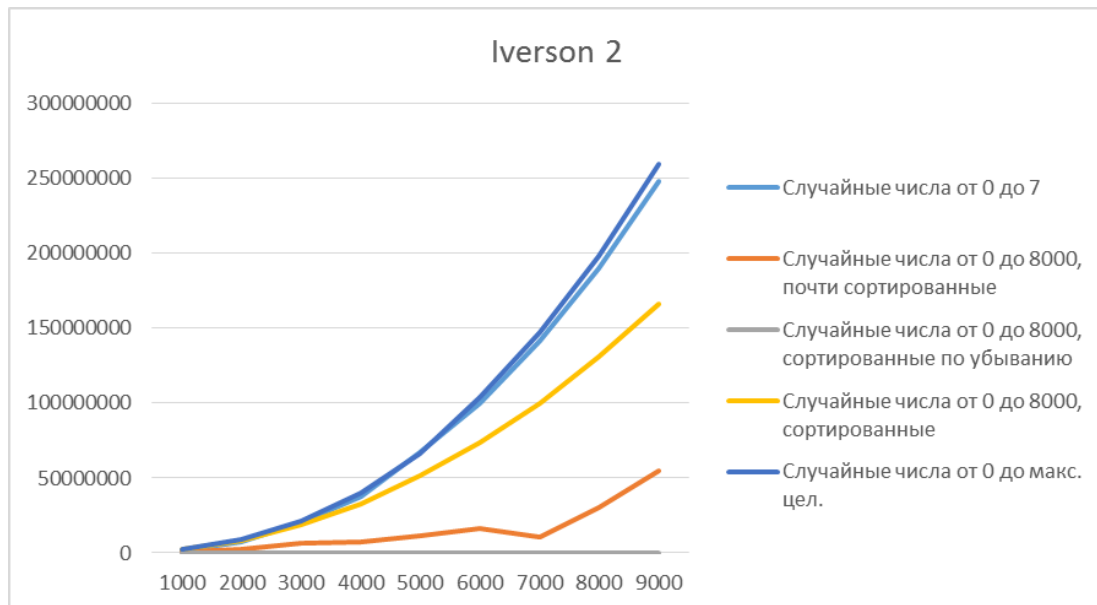


Рис. 17: Iverson 2.

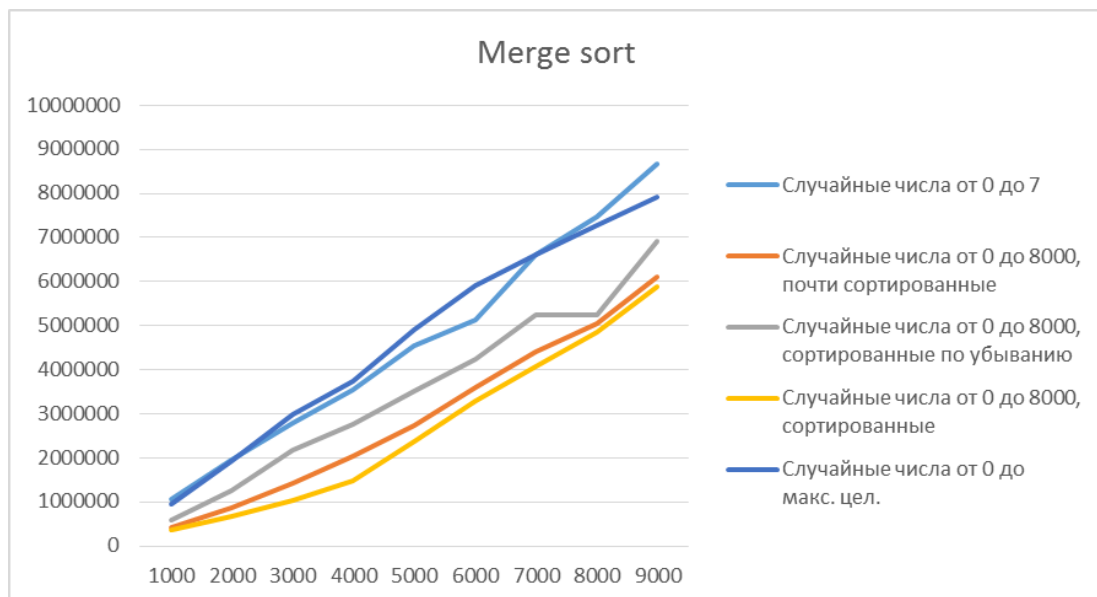


Рис. 18: Merge sort.

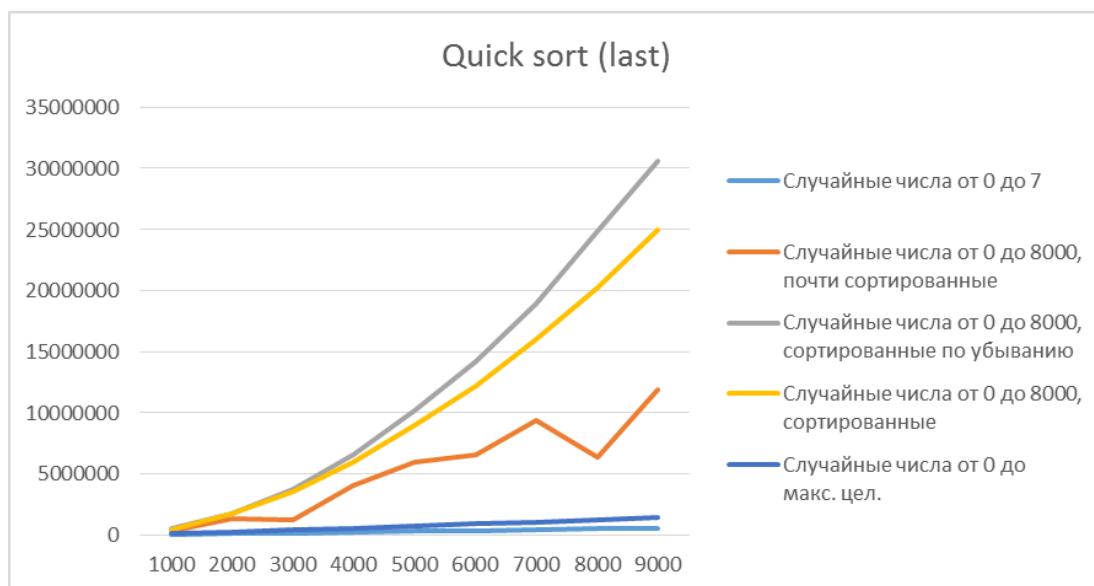


Рис. 19: Quick sort (last).

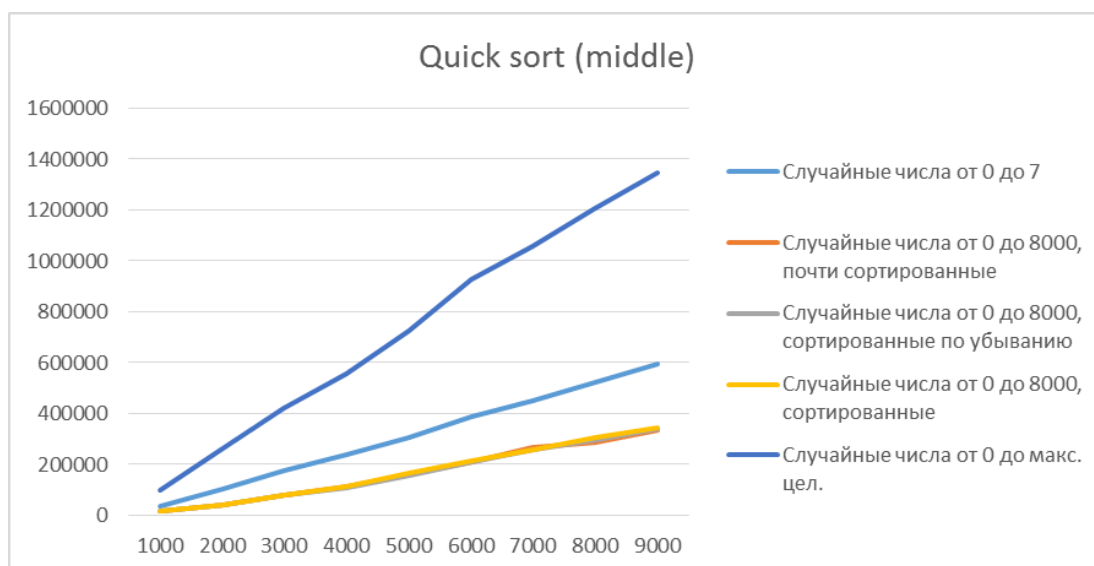


Рис. 20: Quick sort (middle).

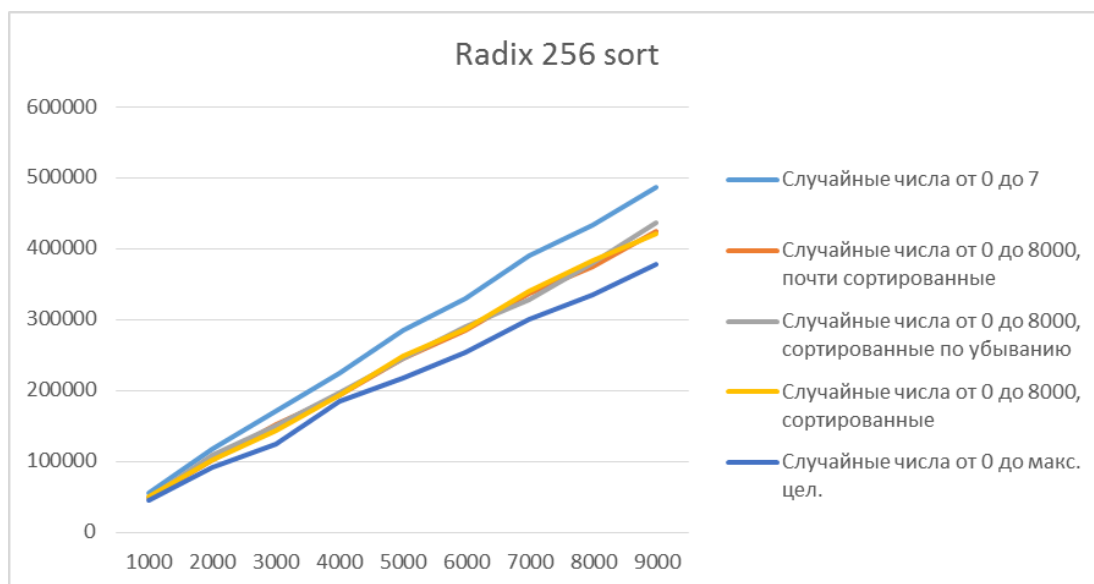


Рис. 21: Radix 256 sort.

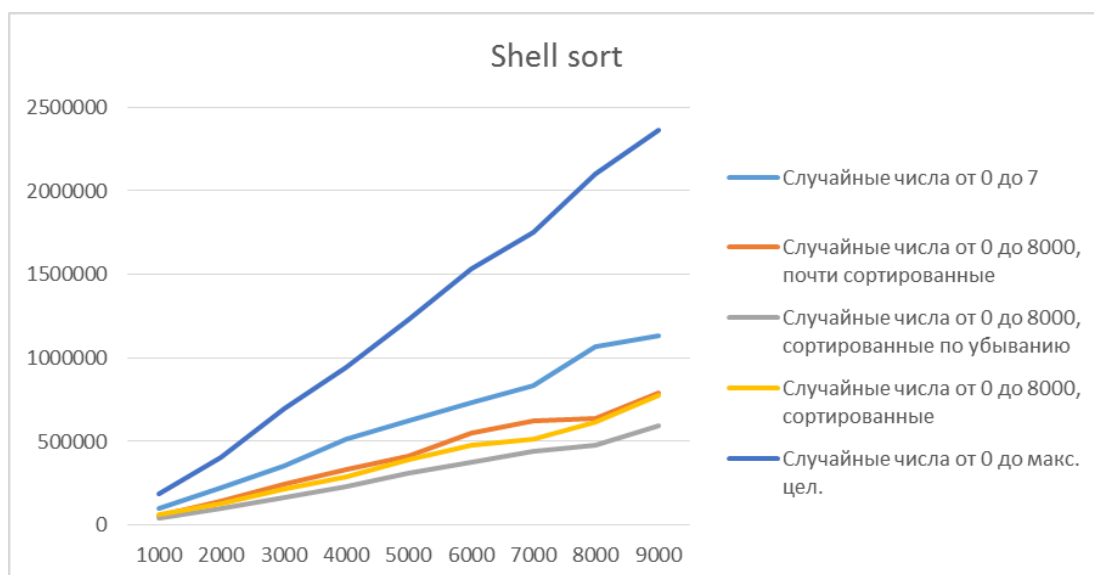


Рис. 22: Shell sort.

### 5.3 Таблица асимптотических оценок сложности алгоритмов

Название сортировки	В среднем случае	В худшем случае
Сортировка пузырьком	$O(n^2)$	$O(n^2)$
Сортировка пузырьком с условием Айверсона 1	$O(n^2)$	$O(n^2)$
Сортировка пузырьком с условием Айверсона 2	$O(n^2)$	$O(n^2)$
Сортировка простыми вставками	$O(n^2)$	$O(n^2)$
Сортировка бинарными вставками	$O(n \times \log(n))$	$O(n^2)$
Сортировка подсчетом	$O(n + k)$	$O(n + k)$
Цифровая сортировка (256-ричная СС)	$O(n \times 256)$	$O(n \times 256)$
Сортировка слиянием	$O(n \times \log(n))$	$O(n \times \log(n))$
Сортировка кучей	$O(n \times \log(n))$	$O(n \times \log(n))$
Быстрая сортировка для барьерного элемента в середине	$O(n \times \log(n))$	$O(n^2)$
Быстрая сортировка для барьерного элемента в конце	$O(n \times \log(n))$	$O(n^2)$
Сортировка шелла	$O(n \times (\log(n))^2)$	$O(n^2)$

## 6 Выводы

Рассмотрим результаты исследований на основе различных видов массивов:

На случайных числах от 0 до 7 быстрее всего работает сортировка подсчетом, а медленнее всего работает сортировка пузырьком.

На почти сортированных массивах с числами от 0 до 8000 наибольшую скорость демонстрирует сортировка вставками. Также хорошие результаты у сортировки подсчетом и быстрой сортировки при среднем барьерном элементе. Напротив, худшие результаты демонстрирует опять же сортировка пузырьком. Сортировки пузырьком с условием Айверсона 1 и 2 показывают результаты не намного лучше.

На случайных числах от 0 до максимального целого лучшую скорость показывает цифровая сортировка по основанию 256, наихудшую - сортировка пузырьком.

На массивах, сортированных по убыванию, с числами от 0 до 8000 наилучшую скорость показывают сортировки пузырьком с условием Айверсона 1 и 2, а так же хороший результат прослеживается у сортировки вставками. Худший результат демонстрирует сортировка пузырьком.

На сортированных массивах по возрастанию (в правильном порядке) с числами от 0 до 8000 сортировки пузырьком, пузырьком с условием Айверсона 1 и с условием Айверсона 2 демонстрирует одинаково плохой результат. Лучший результат демонстрируют быстрая сортировка (на массивах с размерами от 1000 до 4000) и сортировка подсчетом (на массивах с размером от 5000 до 9000).

Теперь рассмотрим лучшие и худшие случаи для разных сортировок:

Для сортировки бинарными вставками лучший случай - случайные числа отсортированные по убыванию, худший - случайные числа.

Для сортировки пузырьком лучший случай - почти отсортированный массив, худший - случайные числа от 0 до максимального целого.

Для сортировки подсчетом лучший случай - массив случайных чисел от 0 до 7, худший - массив, отсортированный по убыванию с числами от 0 до 8000.

Сортировка кучей показывает примерно одинаковые результаты для почти отсортированного массива, сортированного по убыванию, по возрастанию, и для массива случайных чисел от 0 до 7. Это и будет лучшим случаем. Худший случай - массив целых чисел от 0 до максимального целого. Сортировки пузырьком с условиями Айверсона 1 и 2 показывают примерно одинаковые результаты, где массив со случайными числами от 0 до максимального целого худший случай, а сортированные по убыванию числа лучший случай.

У сортировки слиянием худший случай - массив со случайными числами от 0 до 7, лучший случай - отсортированный массив со случайными числами от 0 до 8000.

У быстрой сортировки с барьерным элементом в середине, лучший случай - почти отсортированный массив, худший - случайные числа от 0 до макс. целого, а у быстрой сортировки с барьерным элементом в конце лучший случай - массив с числами от 0 до 7, худший случай - случайные числа от 0 до 8000, сортированные по убыванию.

У цифровой сортировки по основанию 256 лучший случай - массив случайных чисел от 0 до макс. целого, худший - массив случайных чисел от 0 до 7. У сортировки Шелла худший случай - случайные числа от 0 до макс. целого, лучший случай - массив случайных чисел от 0 до 8000, сортированных по убыванию.

## 7 Список использованной литературы

1. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных: Пер с англ. -М.: Мир,1989. - 360 с., ил.
2. Дональд Кнут Искусство программирования, том 3. Сортировка и поиск . — 2-е изд. — М.: «Вильямс», 2007. — С. 824.
3. Бьярн Страуструп. Язык программирования C++. в двух частях.  
Пер. с англ. Киев:"ДиаСофт 1993.-296 с. ил.