МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
КАФЕДРА №42 «КРИПТОЛОГИЯ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ»

ОТЧЁТ

по дисциплине «Параллельное программирование»
Лабораторная работа №3
«Реализация алгоритма с использованием технологии OpenMP»

Группа Б21-525

Студент Г.О. Шулындин

Преподаватель М.А. Куприяшин

Москва 2023

Оглавление

1. Описание рабочей среды

- Модель процессора: AMD Ryzen 5 3500U with Radeon Vega Mobile Gfx
- Число ядер: 8
- Архитектура: x86-64
- ОС: Linux, дистрибутив Ubuntu v22.04
- RAM объем: 2x4096 MB
- RAM тип: DDR4
- Используемая среда разработки: Visual Studio Code
- Компилятор: gcc v11.4.0
- Поддерживаемая версия OpenMP: 201511

2. Анализ линейного алгоритма

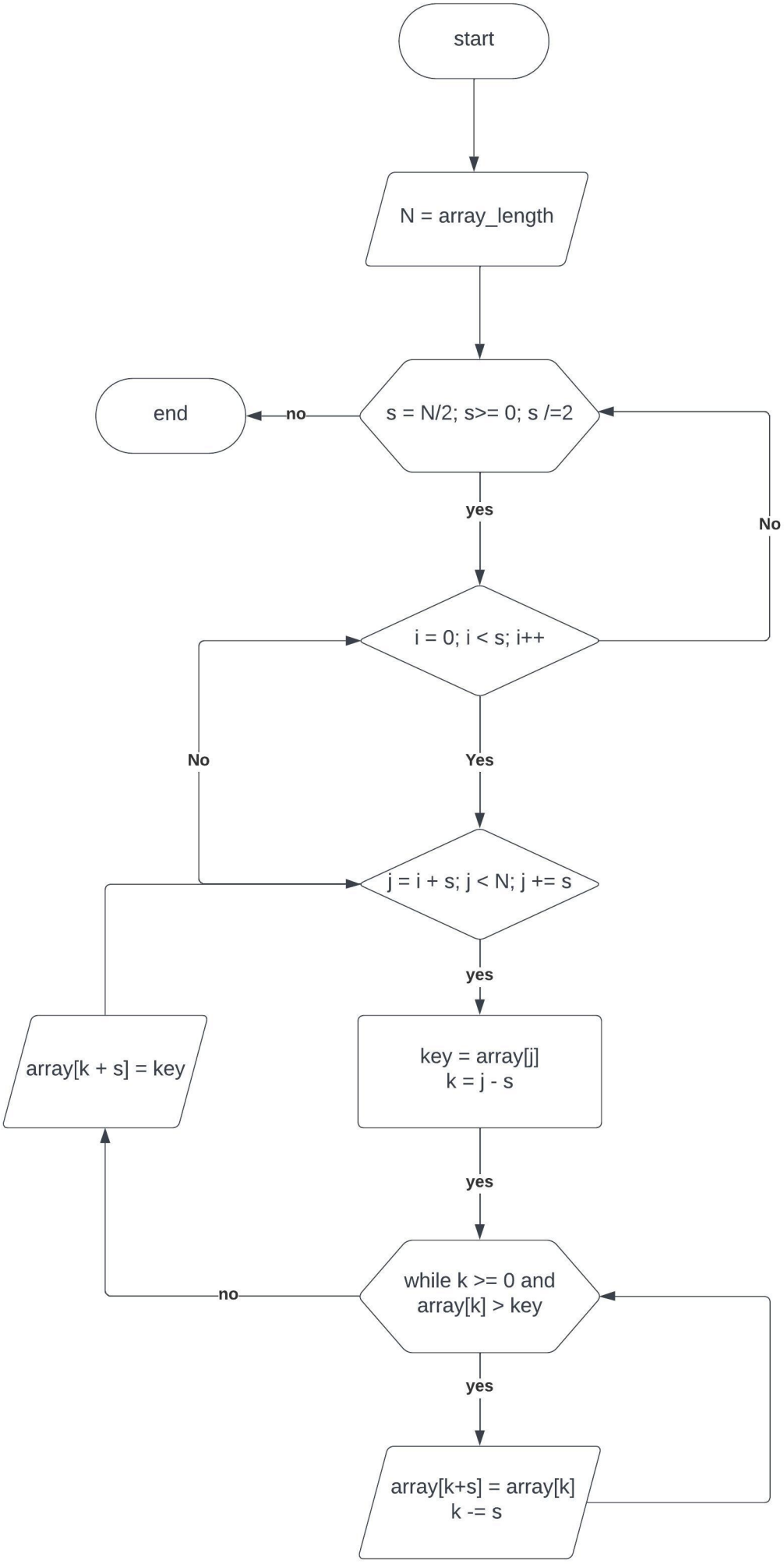
Принцип работы алгоритма

Пусть массив имеет длину N. В данной реализации сортировки Шелла, длина промежутков s_k вычисляется, как $s_k = \frac{N}{2^k}$. То есть сначала происходит сортировка вставками подмассивов элементов, находящихся на расстоянии $N/2$, затем - сортировка вставками подмассивов элементов, находящихся на расстоянии $N/4$ и так далее. В конце сортируется массив целиком. Преимущество сортировки Шелла перед сортировкой вставками состоит в том, что на начальных этапах сравниваются и обмениваются элементы на большом расстоянии. Это позволяет стремительнее уменьшать количество инверсий.

Ниже приведена реализация линейного алгоритма сортировки Шелла, используемая в данной работе:

```
double shell_sort_linear(int *array, int array_length) {
    ....
    for (int s = array_length / 2; s > 0; s /= 2) {
        for (int i = 0; i < s; i++) {
            for (int j = i + s; j < array_length; j += s) {
                int key = array[j];
                int k = j - s;
                while (k >= 0 && array[k] > key) {
                    array[k + s] = array[k];
                    k -= s;
                }
                array[k + s] = key;
            }
        }
    }
    ....
}
```

Блоксхема алгоритма



3. Построение параллельного алгоритма

Выявление области распараллеливания

В вышеприведенном алгоритме имеет смысл распараллеливания вложенного цикла `for`, так как в нем происходит разбиение исходного массива на s_k *не пересекающихся* подмассивов, внутри которых происходит сортировка вставками. Важно, что подмассивы не пересекающиеся, т.к. иначе при обмене элементов в подмассиве, сортируемом одним потоком, может нарушиться сортировка, выполненная на другом подмассиве другим потоком.

Реализация параллельного алгоритма

```
1  double shell_sort_n_threads(int *array, int array_length, int
       num_threads) {
2      int s, i;
3      ....
4      for (s = array_length / 2; s > 0; s /= 2) {
5          #pragma omp parallel num_threads(num_threads) shared(array,s,
       array_length) private (i) default(none)
6          {
7          #pragma omp for
8          for (i = 0; i < s; i++) {
9              for (int j = i + s; j < array_length; j += s) {
10                 int key = array[j];
11                 int k = j - s;
12                 while (k >= 0 && array[k] > key) {
13                     array[k + s] = array[k];
14                     k -= s;
15                 }
16                 array[k + s] = key;
17             }
18         }
19         }
20     }
21     ....
22 }
```

Описание используемых директив OpenMP

`parallel` - определяет параллельную область, которая представляет собой код, который будет выполняться несколькими потоками параллельно. Директива `parallel` была объявлена со следующими атрибутами:

- `num_threads()` - задаёт количество потоков в параллельном блоке;
- `shared()` - объявляет, что одна или несколько переменных должны быть общими между всеми потоками;
- `private()` - объявляет, что одна или несколько переменных должны быть общими между всеми потоками;
- `default()` - указывает поведение по умолчанию переменных в параллельной области;

`for` - приводит к разделу работы, выполняемой в цикле for внутри параллельной области, между потоками.

4. Анализ временных характеристик параллельного алгоритма

Описание эксперимента

Условия эксперимента:

- измеряется время работы алгоритма для одного и того же массива на разном числе потоков: от 1 до 10;
- измерения производятся для 10 различных массивов одного типа;
- размер каждого массива 100 000 элементов.

Были выделены следующие типы массивов:

- массив упорядочен (Type 0);
- массив обратно упорядочен (Type 1);
- случайный массив (Type 2);
- в массиве много одинаковых чисел (Type 3);
- первая половина массива упорядочена (Type 4);
- первая половина массива обратно упорядочена (Type 5);
- первая четверть массива упорядочена (Type 6);
- первая четверть массива обратно упорядочена (Type 7).

Результаты измерений

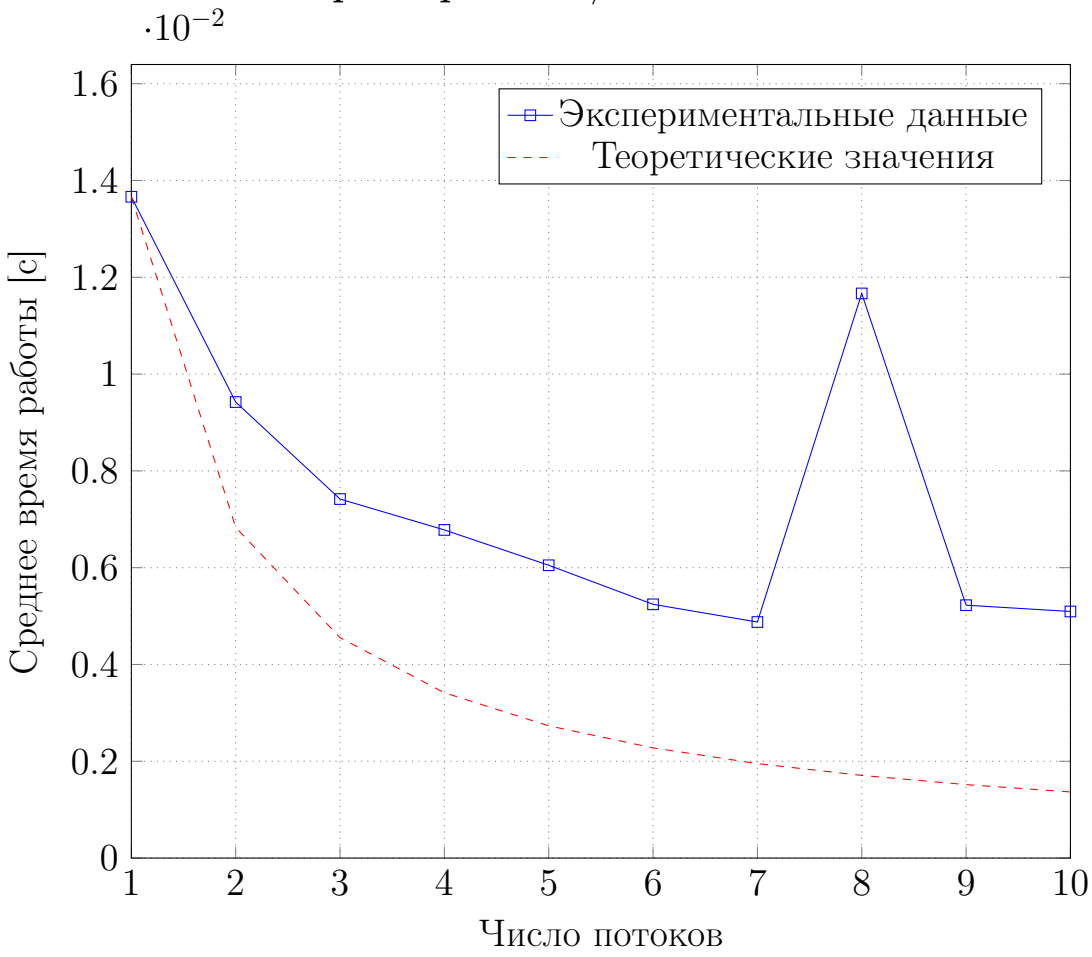
Следующая таблица содержит полученные в результате эксперимента данные: среднее время работы на различном числе потоков для массивов различных типов.

Thds num.	Type 0	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
1	0.013664	0.017902	0.037184	0.025148	0.035134	0.035081	0.036921	0.036119
2	0.009422	0.012437	0.030148	0.019784	0.028548	0.026604	0.031038	0.027465
3	0.007418	0.009598	0.026658	0.014832	0.023917	0.024291	0.025794	0.025742
4	0.00678	0.00811	0.020851	0.013081	0.020278	0.020354	0.020914	0.020819
5	0.00605	0.008717	0.018291	0.011917	0.018264	0.018148	0.017986	0.019367
6	0.005243	0.007698	0.015862	0.009782	0.01585	0.01626	0.015211	0.015396
7	0.004877	0.008372	0.01564	0.008714	0.014859	0.015717	0.014534	0.014913
8	0.011666	0.009116	0.016072	0.010192	0.016186	0.015062	0.014224	0.015142
9	0.005225	0.006996	0.013945	0.008304	0.013366	0.013507	0.013901	0.013758
10	0.005095	0.006784	0.013422	0.008413	0.012856	0.012991	0.014141	0.013667

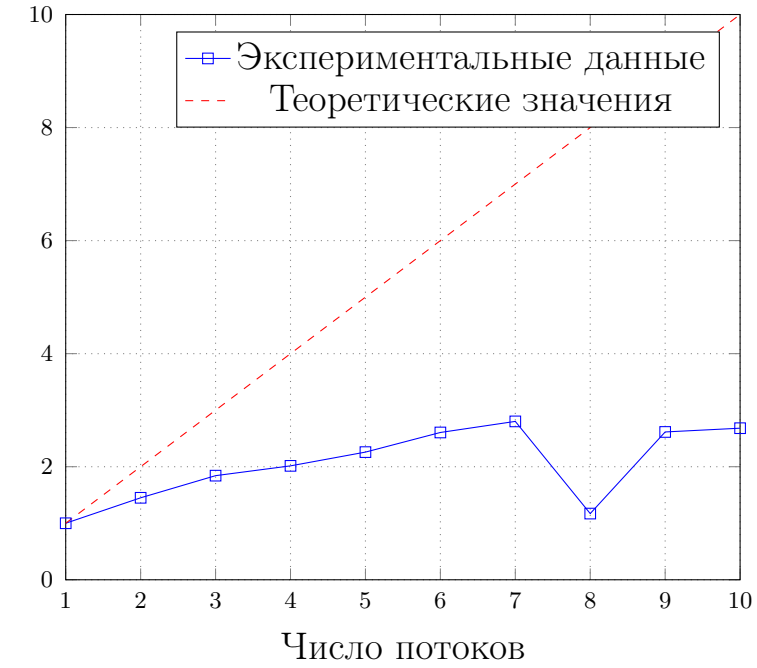
Графики

Массив упорядочен (Type 0)

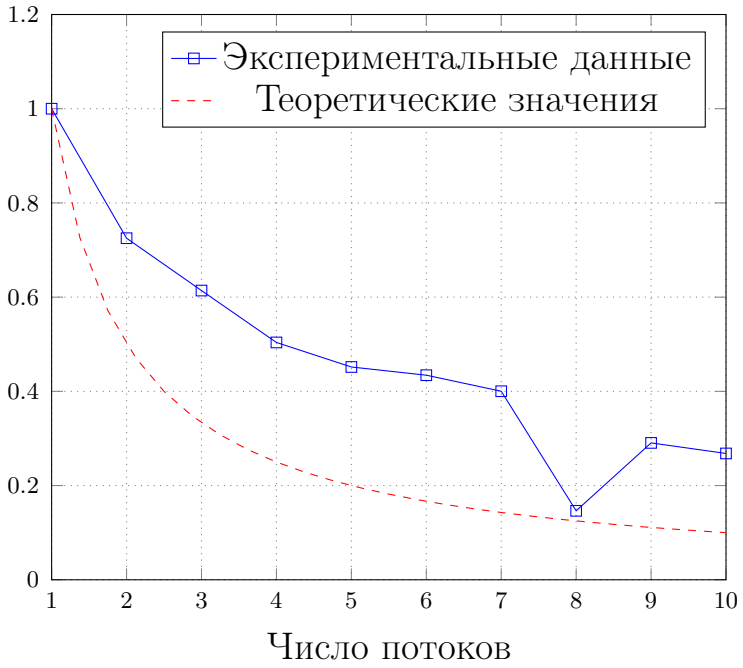
Время работы / число потоков



Ускорение / число потоков

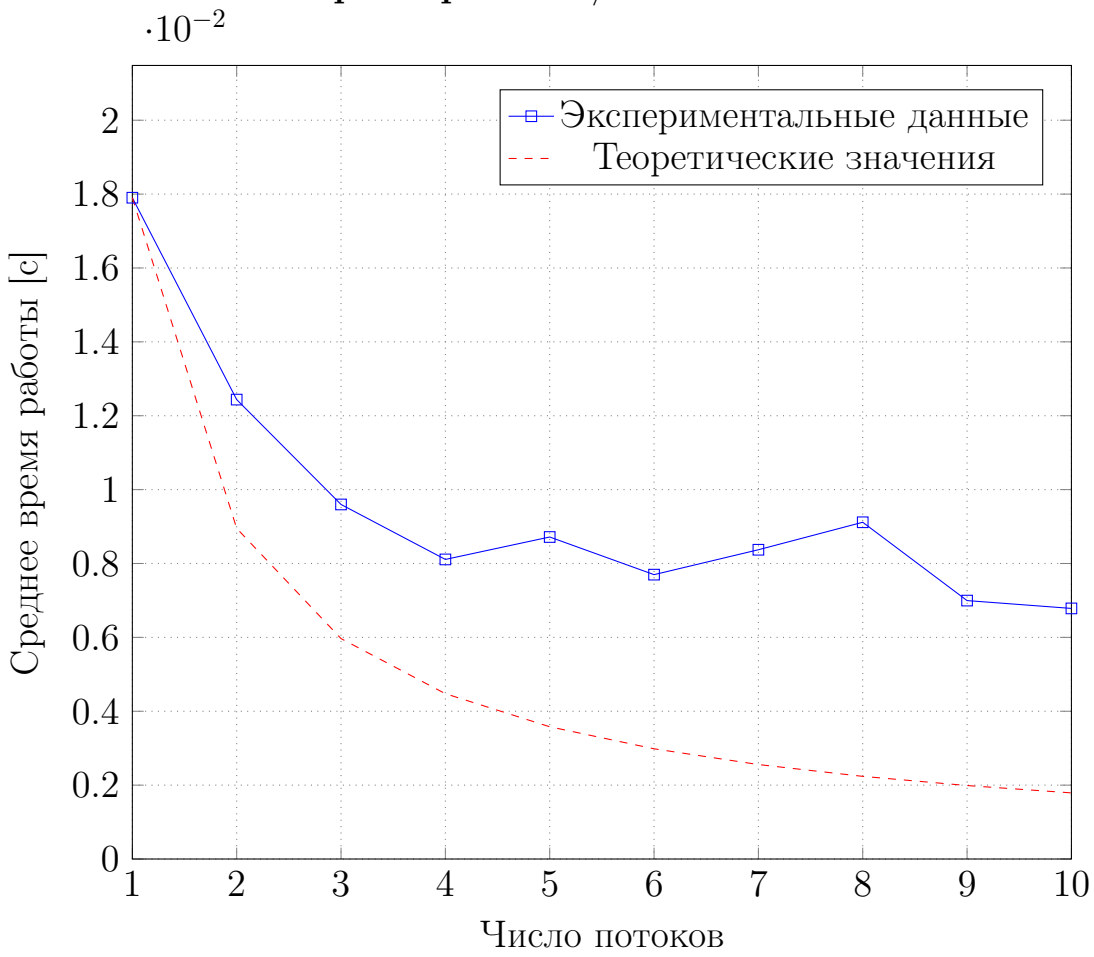


Эффективность / число потоков

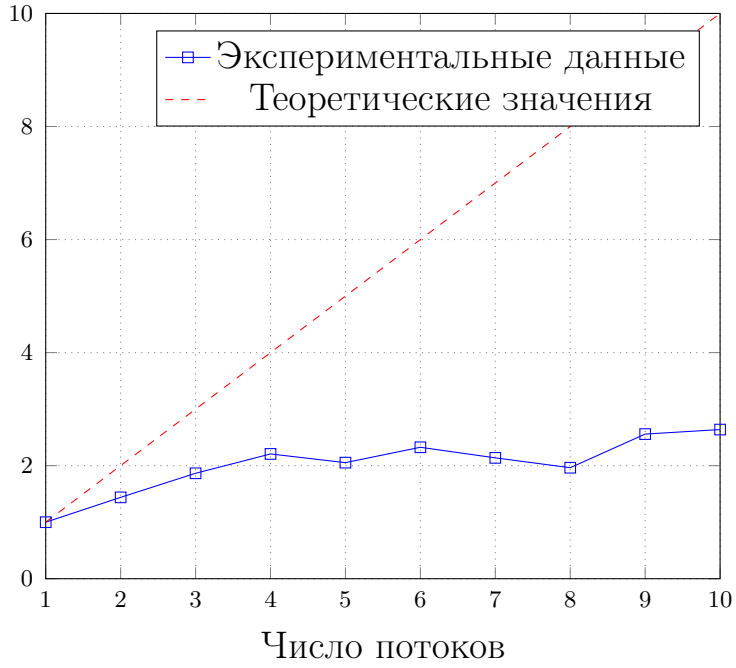


Массив обратно упорядочен (Type 1)

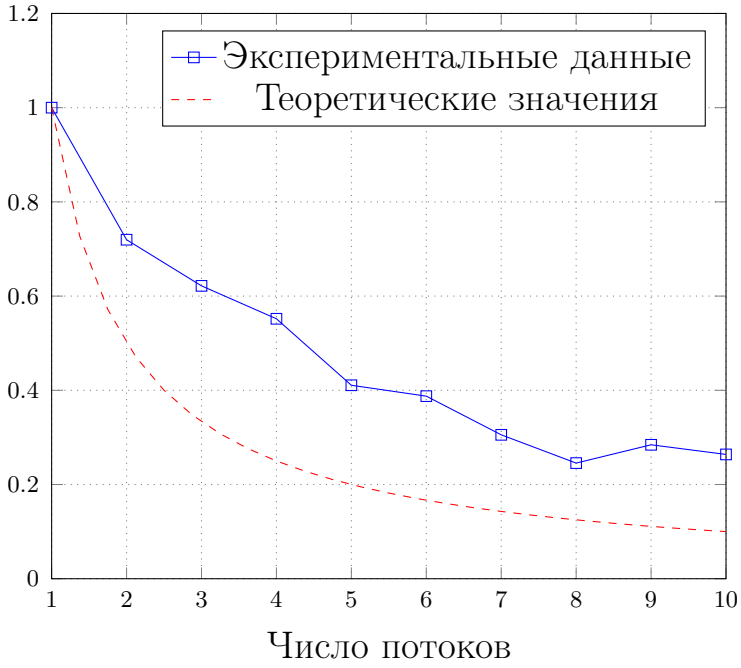
Время работы / число потоков



Ускорение / число потоков

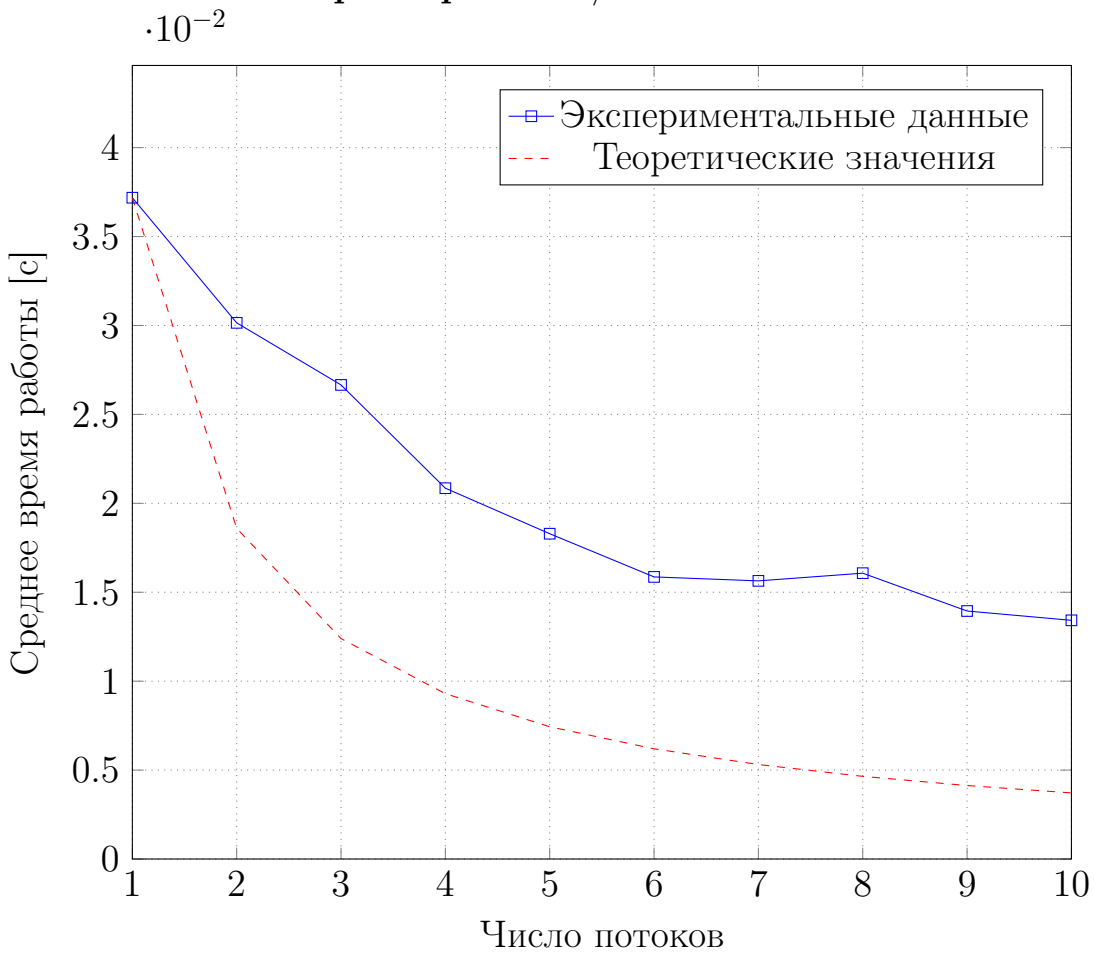


Эффективность / число потоков

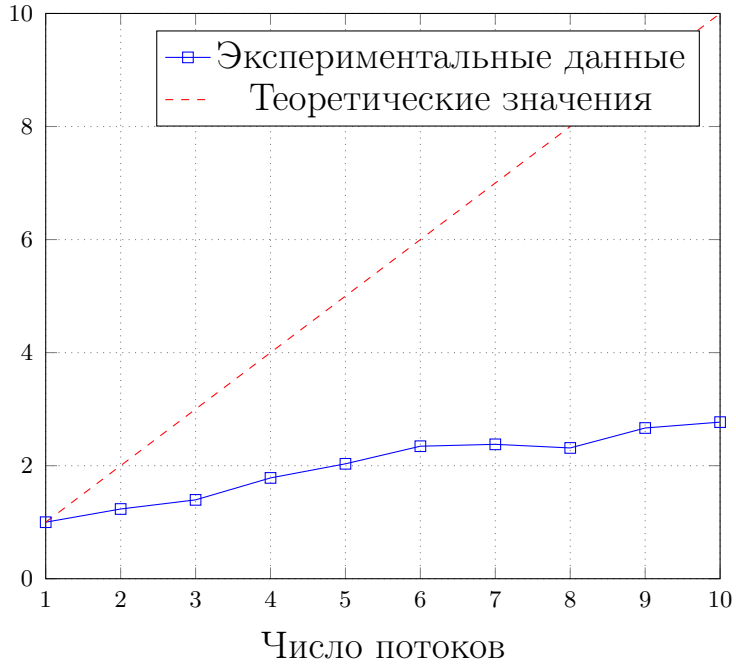


Случайный массив (Type 2)

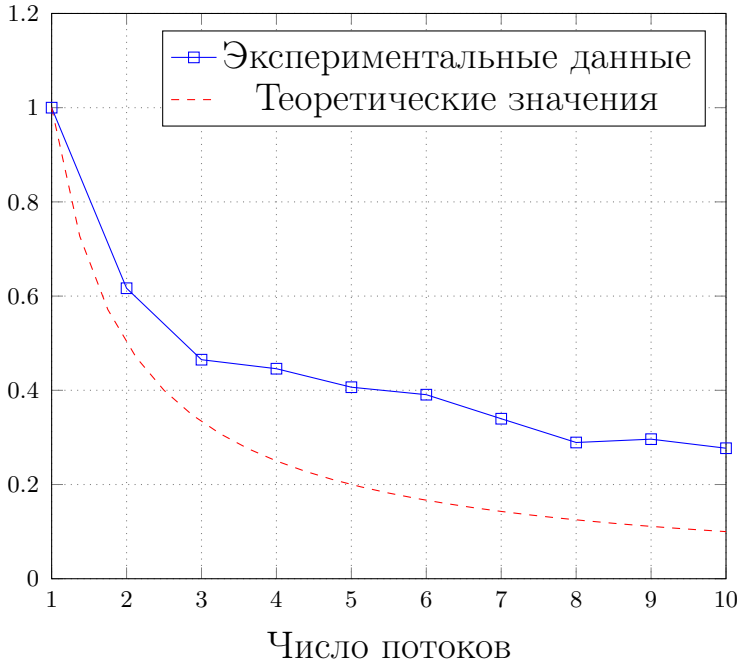
Время работы / число потоков



Ускорение / число потоков

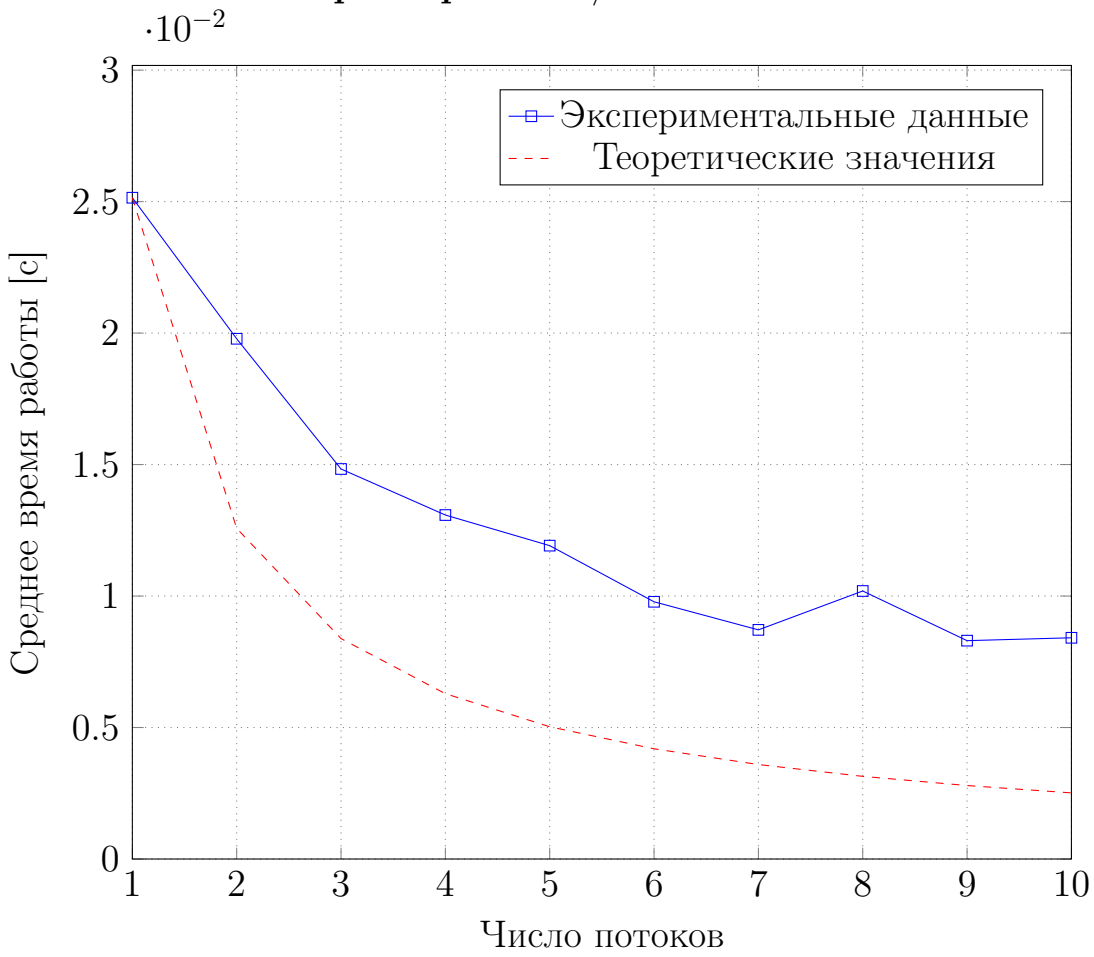


Эффективность / число потоков

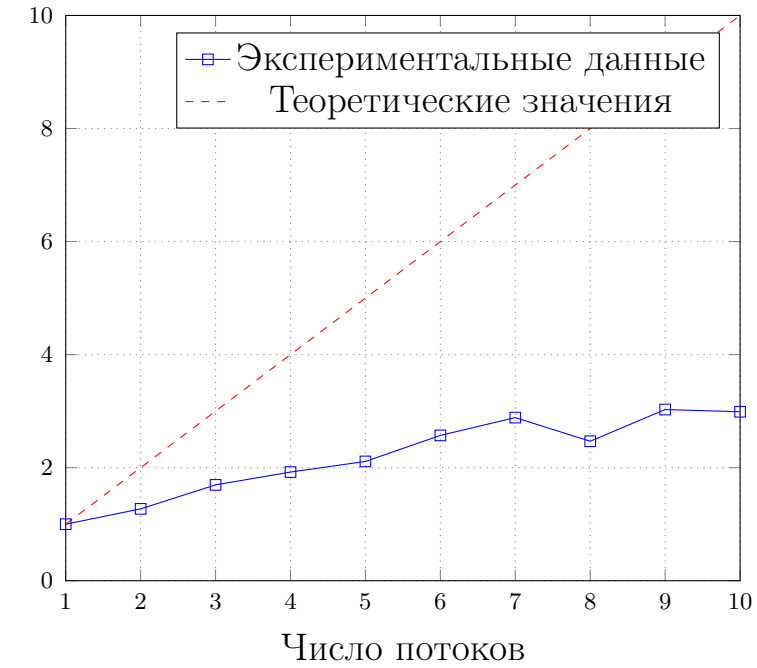


В массиве много одинаковых чисел (Type 3)

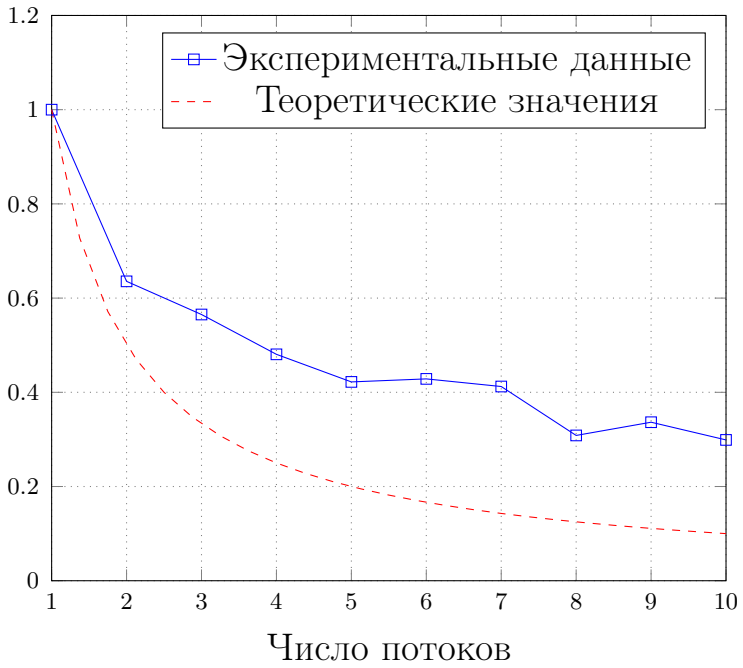
Время работы / число потоков



Ускорение / число потоков

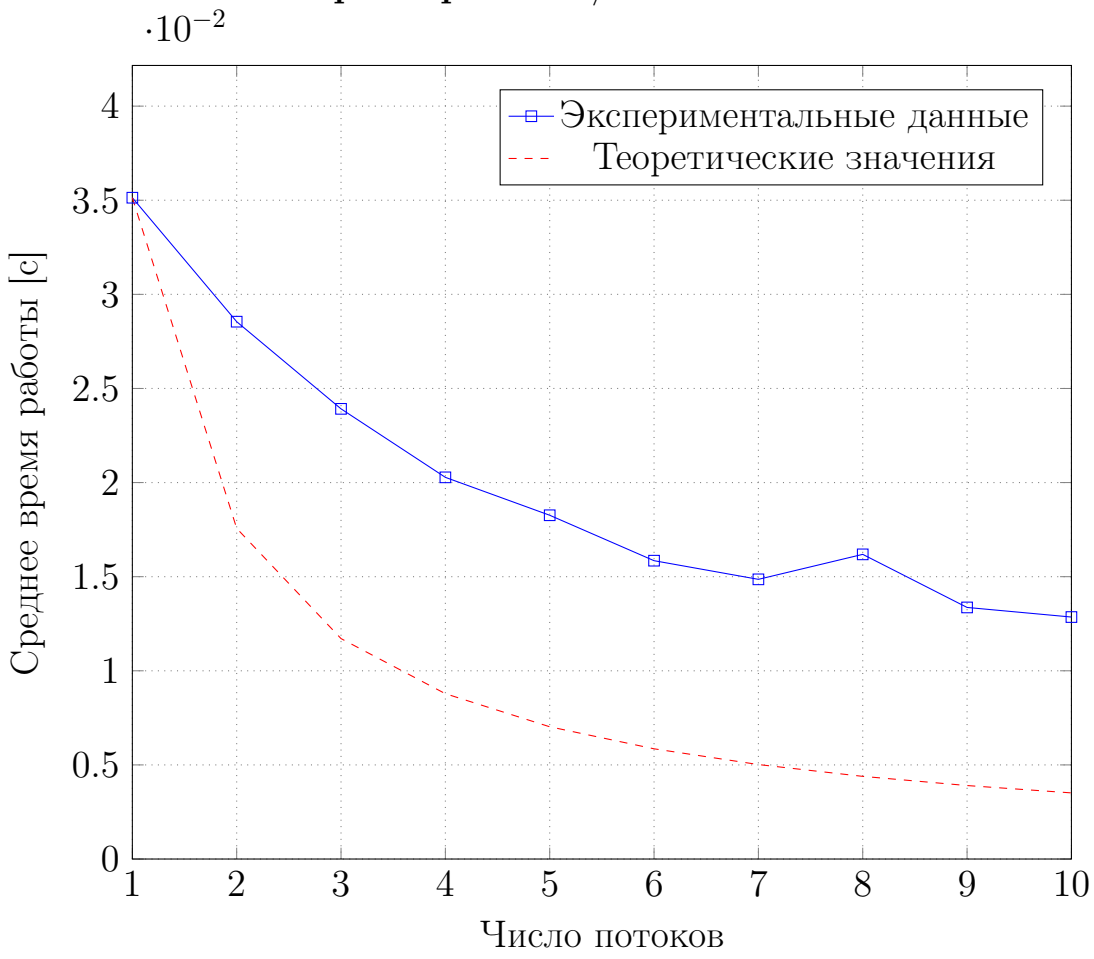


Эффективность / число потоков

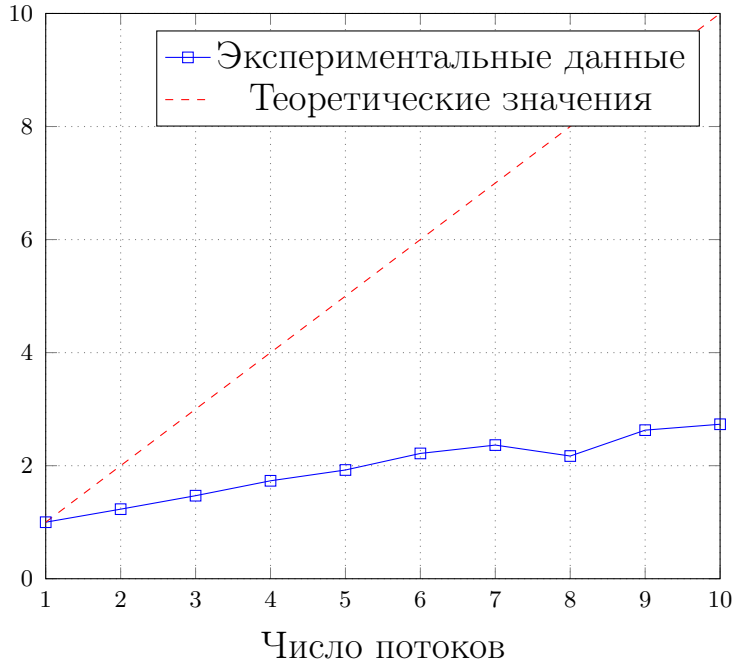


Первая половина массива упорядочена (Type 4)

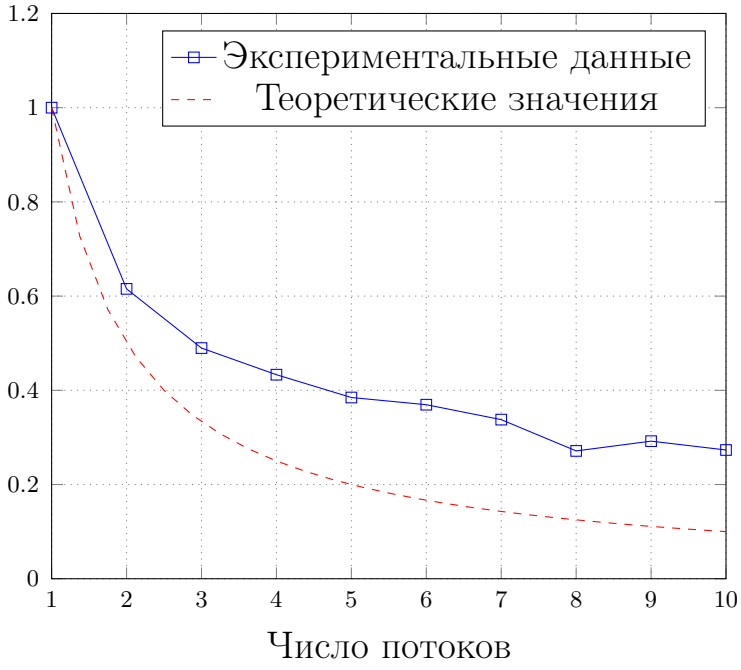
Время работы / число потоков



Ускорение / число потоков

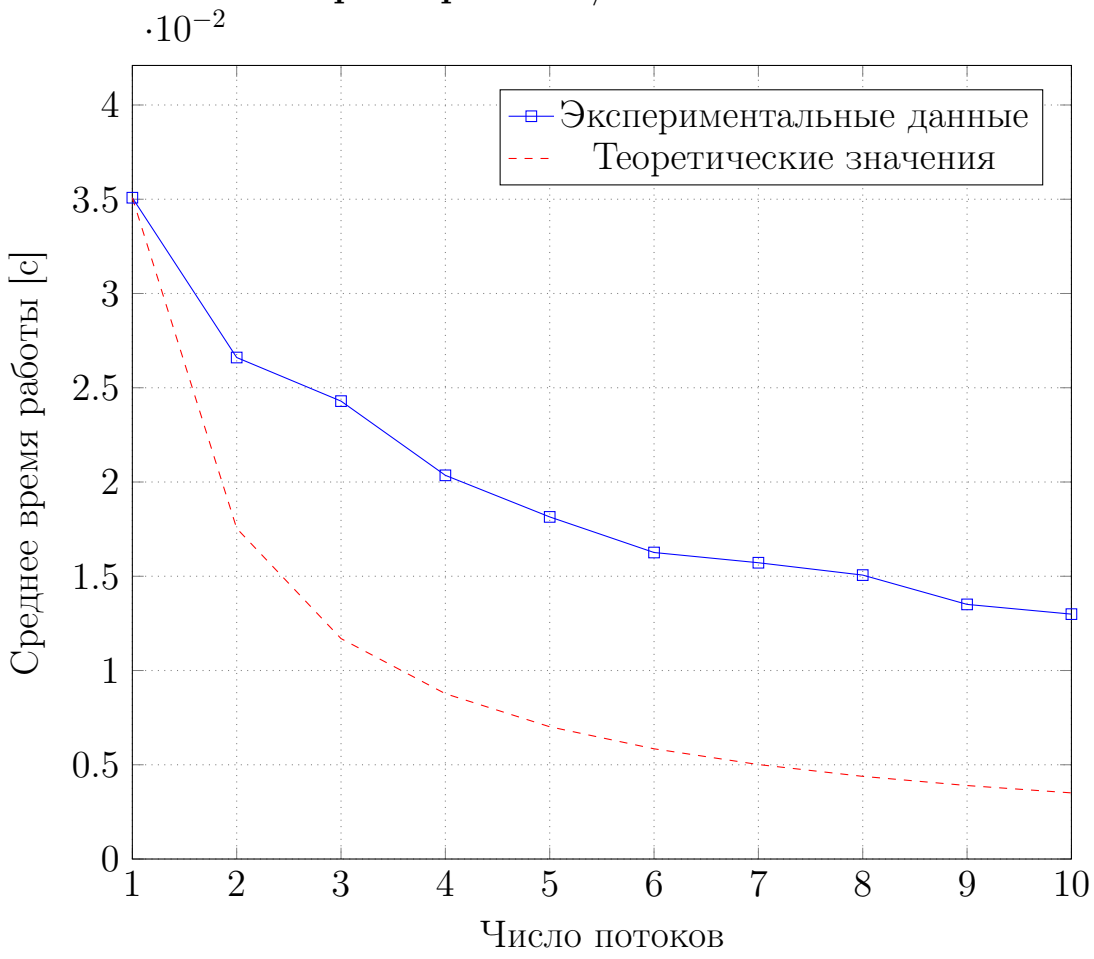


Эффективность / число потоков

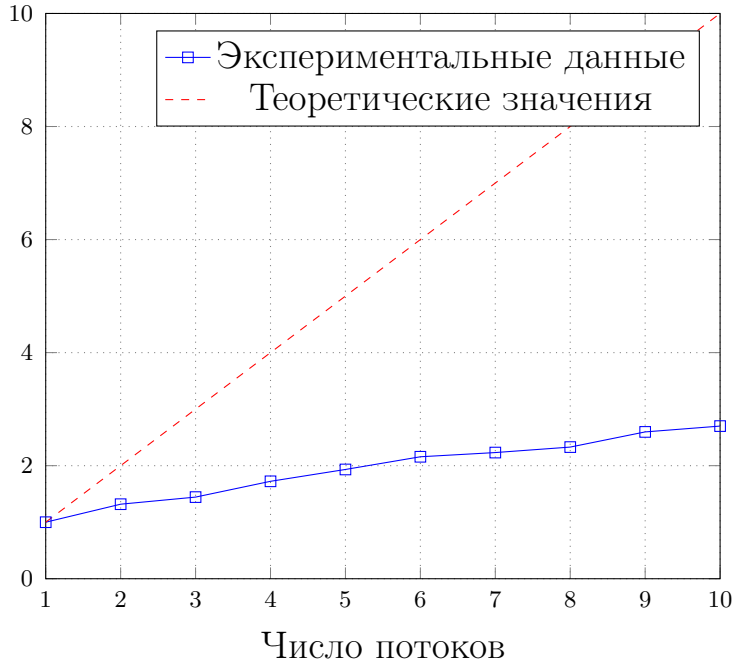


Первая половина массива обратно упорядочена (Type 5)

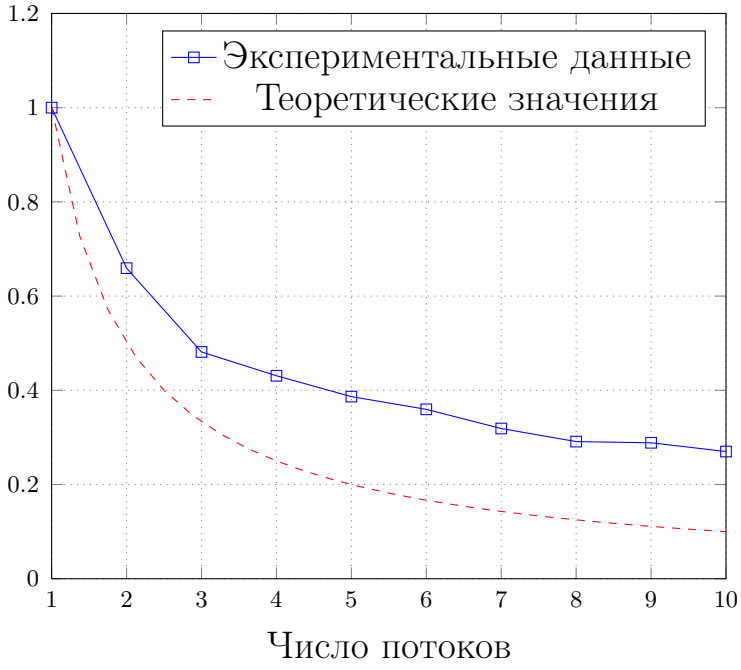
Время работы / число потоков



Ускорение / число потоков

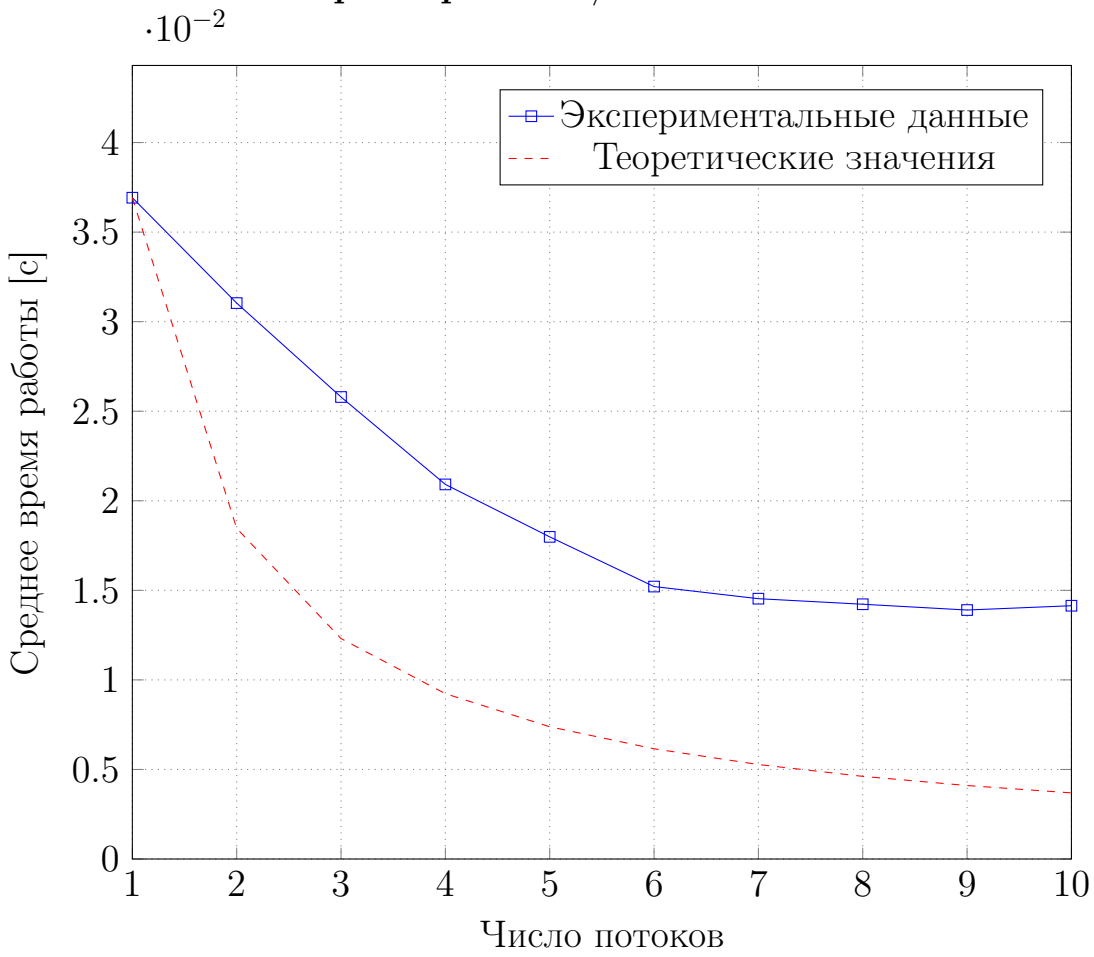


Эффективность / число потоков

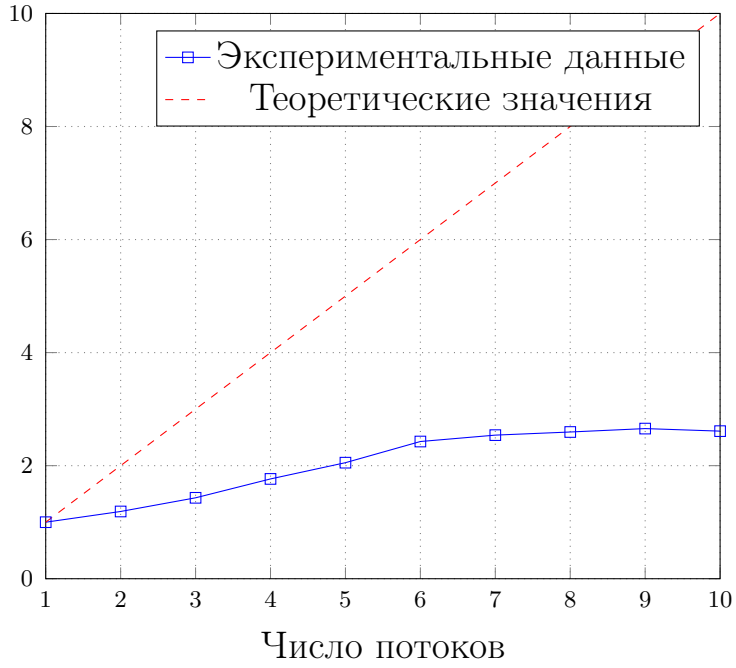


Первая четверть массива упорядочена (Type 6)

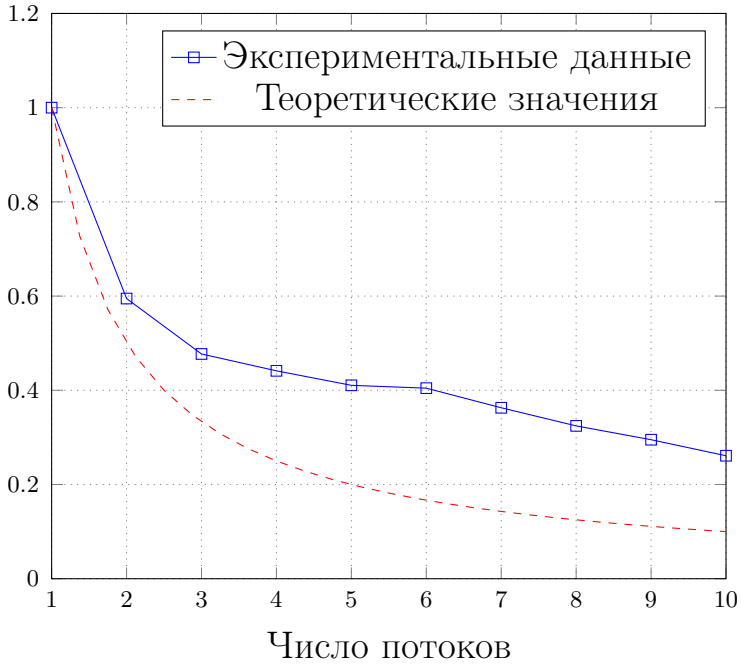
Время работы / число потоков



Ускорение / число потоков

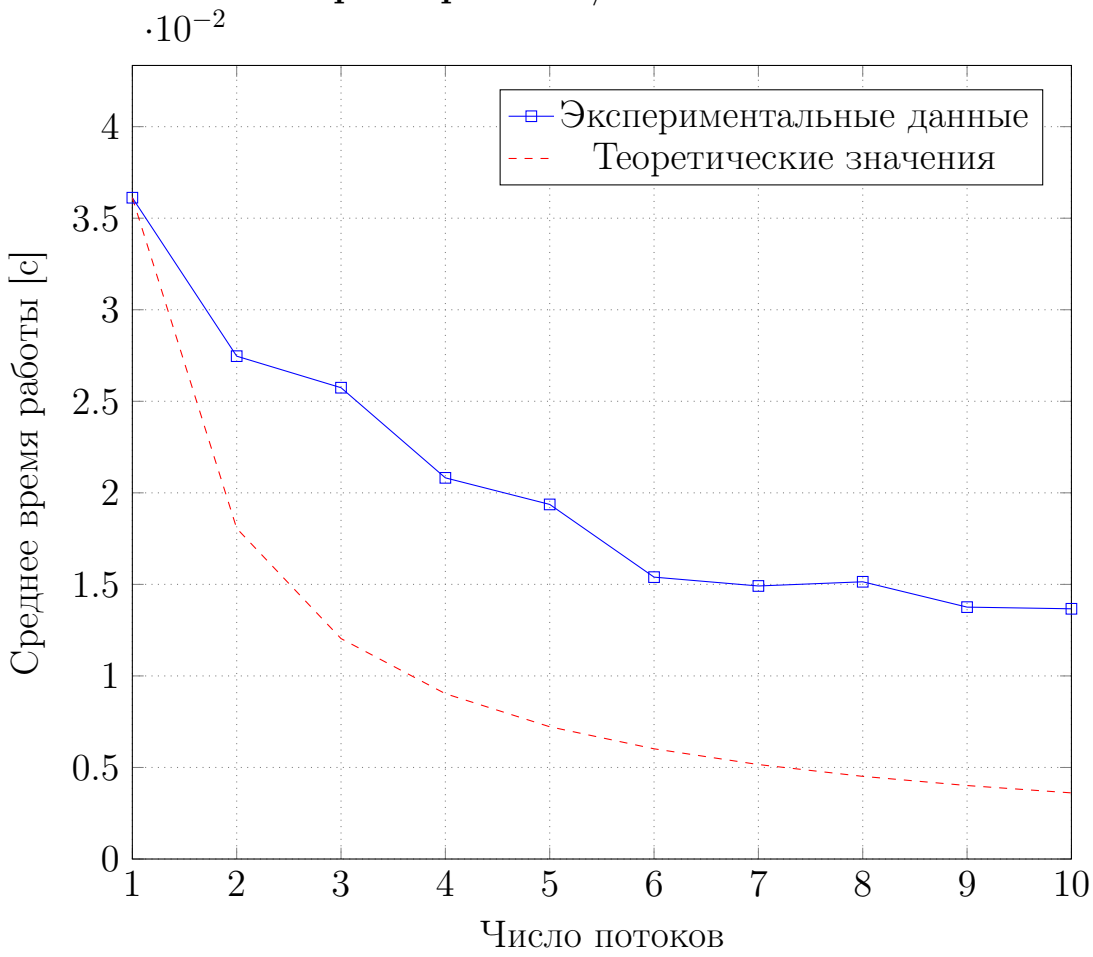


Эффективность / число потоков

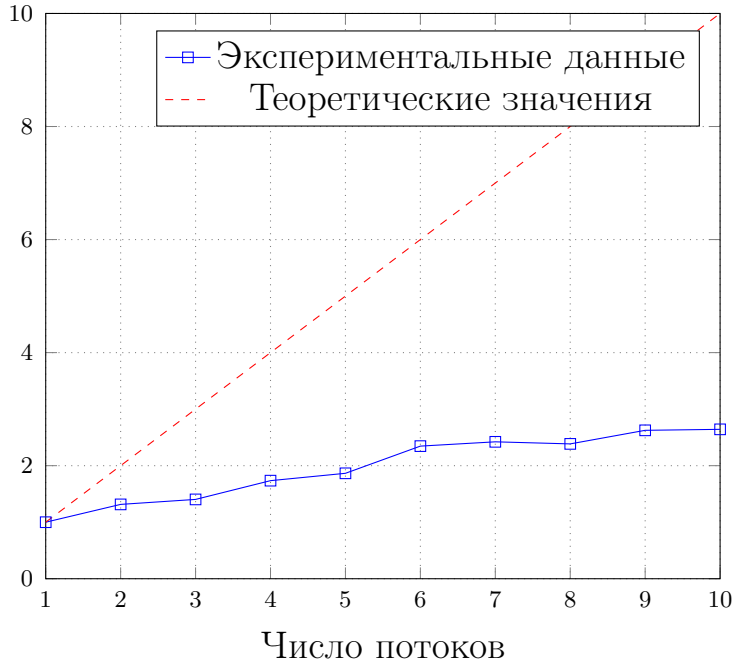


Первая четверть массива обратно упорядочена (Type 7)

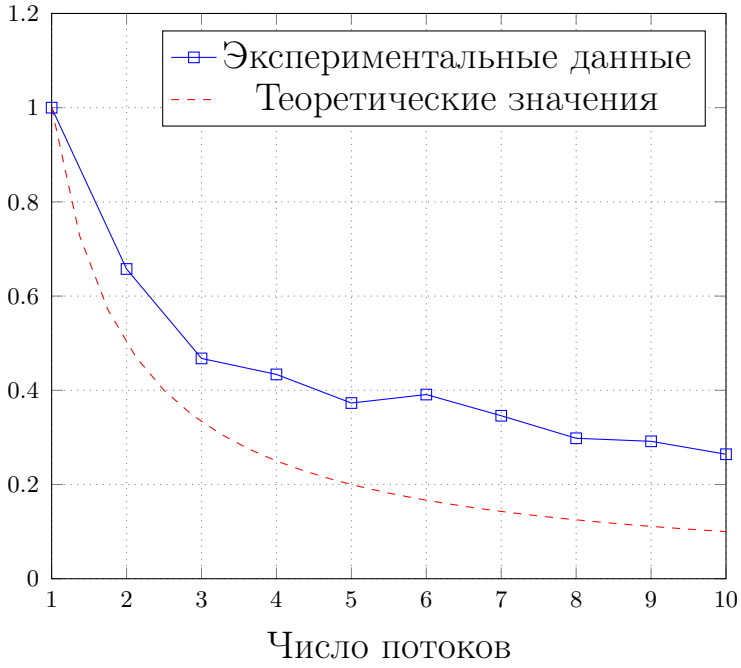
Время работы / число потоков



Ускорение / число потоков



Эффективность / число потоков



5. Заключение

В ходе лабораторной работы была реализована сортировка Шелла на языке Си, выявлена область, допускающая распараллеливание, реализован параллельный алгоритм сортировки Шелла.
Было измерено среднее время работы алгоритма для различного числа потоков и для различных типов массивов. По полученным данным были вычислены значения ускорения и эффективности. Построены соответствующие графики.
Анализируя результаты, можно сделать следующие выводы:

- Распараллеливание целесообразно для всех рассмотренных типов массивов.
- Быстрее всего программа исполняется на упорядоченном массиве (скорость выполнения линейного алгоритма составляет 0.013664 с).
- На обратно упорядоченном массиве время работы не намного больше (скорость выполнения линейного алгоритма составляет 0.017902 с), хотя для сортировки вставками данный сценарий является наихудщим. Это достигается благодаря обмену элементов, находящихся на больших расстояниях на начальных этапах сортировки ("грубая сортировка"). Максимальное ускорение в этом случае составляет 2.638684 и достигается на 10 потоках.
- Характер зависимости ускорения и эффективности от числа потоков не меняется существенно на разных типах массивов (в отличие от предыдущей лабораторной работы).
- Наибольшее ускорение составляет 3.028589 и достигается в случае массива, содержащего много одинаковых чисел, на 9 потоках.

6. Приложение

Код программы, таблицы расположены на github
Запуск программы: `make all`