



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № 3
по курсу «Анализ Алгоритмов»
на тему: «Трудоемкость сортировок»

Студент ИУ7-53Б
(Группа)

(Подпись, дата)

Лысцев Н. Д.
(И. О. Фамилия)

Преподаватель

(Подпись, дата)

Волкова Л. Л.
(И. О. Фамилия)

2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Аналитический раздел	5
1.1 Алгоритм блочной сортировки	5
1.2 Алгоритм сортировки слиянием	5
1.3 Алгоритм поразрядной сортировки	5
2 Конструкторский раздел	7
2.1 Разработка алгоритмов	7
2.1.1 Алгоритм блочной сортировки	7
2.1.2 Алгоритм сортировки слиянием	8
2.1.3 Алгоритм поразрядной сортировки	11
2.2 Оценка трудоемкости алгоритмов	13
2.2.1 Модель вычислений для проведения оценки трудоемкости алгоритмов	13
2.2.2 Трудоемкость алгоритма блочной сортировки	14
2.2.3 Трудоемкость алгоритма сортировки слиянием	15
2.2.4 Трудоемкость алгоритма поразрядной сортировки	17
3 Технологический раздел	19
3.1 Требования к программному обеспечению	19
3.2 Средства реализации	19
3.3 Сведения о модулях программы	20
3.4 Реализации алгоритмов	21
3.5 Функциональные тесты	25
4 Исследовательский раздел	26
4.1 Технические характеристики	26
4.2 Время выполнения алгоритмов	26
4.2.1 Массив случайно сгенерированных чисел заданного размера	26

4.2.2	Массив случайно сгенерированных чисел заданного размера, отсортированный по возрастанию элементов	29
4.2.3	Массив случайно сгенерированных чисел заданного размера, отсортированный по убыванию элементов	31
4.3	Использование памяти	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		35
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ		36

ВВЕДЕНИЕ

Сортировка – процесс перегруппировки последовательности объектов в некотором порядке.

Целью данной лабораторной работы является исследование трех алгоритмов сортировки: блочной сортировки, сортировки слиянием и поразрядной сортировки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Изучить и описать три алгоритма сортировки: блочной, слиянием и поразрядной.
- 2) Создать программное обеспечение, реализующее следующие алгоритмы:
 - алгоритм блочной сортировки;
 - алгоритм сортировки слиянием;
 - алгоритм поразрядной сортировки.
- 3) Провести анализ эффективности реализаций алгоритмов по памяти и по времени.
- 4) Провести оценку трудоемкости алгоритмов сортировки.
- 5) Обосновать полученные результаты в отчете к выполненной лабораторной работе.

1 Аналитический раздел

В данном разделе будут рассмотрены алгоритм блочной сортировки, сортировки слиянием и поразрядной сортировки.

1.1 Алгоритм блочной сортировки

Блочная сортировка [1] – алгоритм сортировки, в котором сортируемые элементы распределяются между конечным числом отдельных блоков так, чтобы все элементы в каждом следующем по порядку блоке были всегда больше (или меньше), чем в предыдущем. Каждый блок затем сортируется отдельно, либо рекурсивно тем же методом, либо другим. Затем элементы помещаются обратно в массив.

1.2 Алгоритм сортировки слиянием

Сортировка слиянием – алгоритм сортировки, который упорядочивает списки (или другие структуры данных, доступ к элементам которых можно получать только последовательно, например — потоки) в определённом порядке. Эта сортировка — хороший пример использования принципа «разделяй и властвуй» [2].

Алгоритм действий в сортировке слиянием:

- 1) Сортируемый массив разбивается на две части примерно одинакового размера.
- 2) Каждая из получившихся частей сортируется отдельно, например — тем же самым алгоритмом.
- 3) Два упорядоченных массива половинного размера соединяются в один.

1.3 Алгоритм поразрядной сортировки

Поразрядная сортировка [3] – это алгоритм сортировки, где массив несколько раз перебирается и элементы перегруппировываются в зависимости от того, какая цифра находится в определённом разряде. После обработки разрядов (всех

или почти всех) массив оказывается упорядоченным. При этом разряды могут обрабатываться в противоположных направлениях — от младших к старшим или наоборот.

Вывод

В данном разделе были рассмотрены алгоритм блочной сортировки, сортировки слиянием и поразрядной сортировки.

2 Конструкторский раздел

2.1 Разработка алгоритмов

2.1.1 Алгоритм блочной сортировки

На рисунке 2.1 представлена схема алгоритма блочной сортировки.

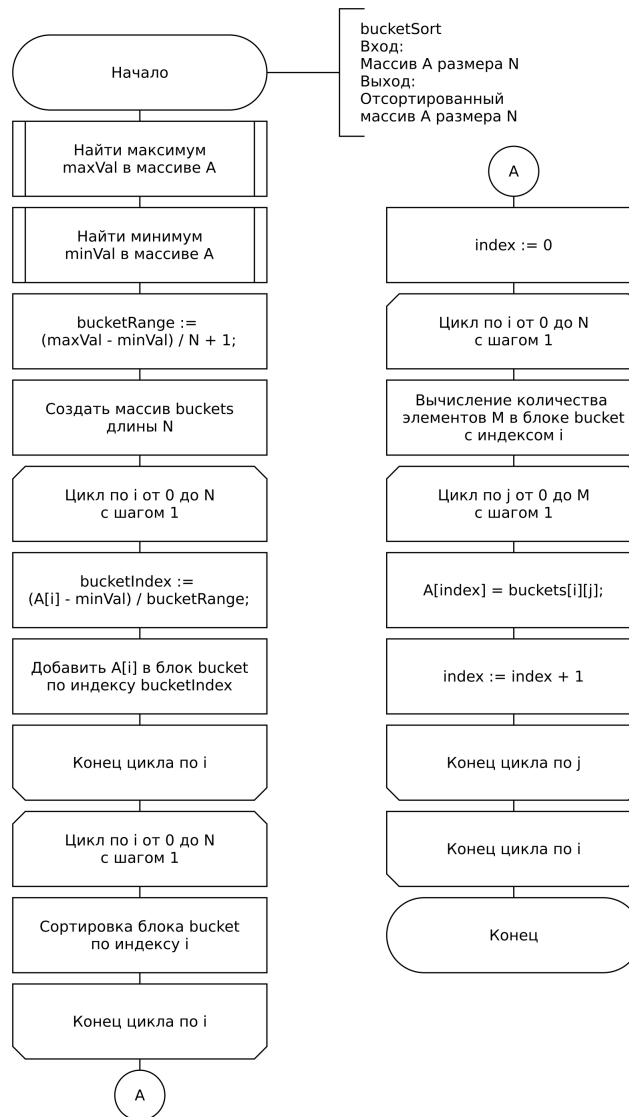


Рисунок 2.1 – Схема алгоритма блочной сортировки

2.1.2 Алгоритм сортировки слиянием

На рисунке 2.2 представлена схема алгоритма сортировки слиянием.

На рисунках 2.3 и 2.4 представлена схема алгоритма функции слияния двух отсортированных подмассивов.

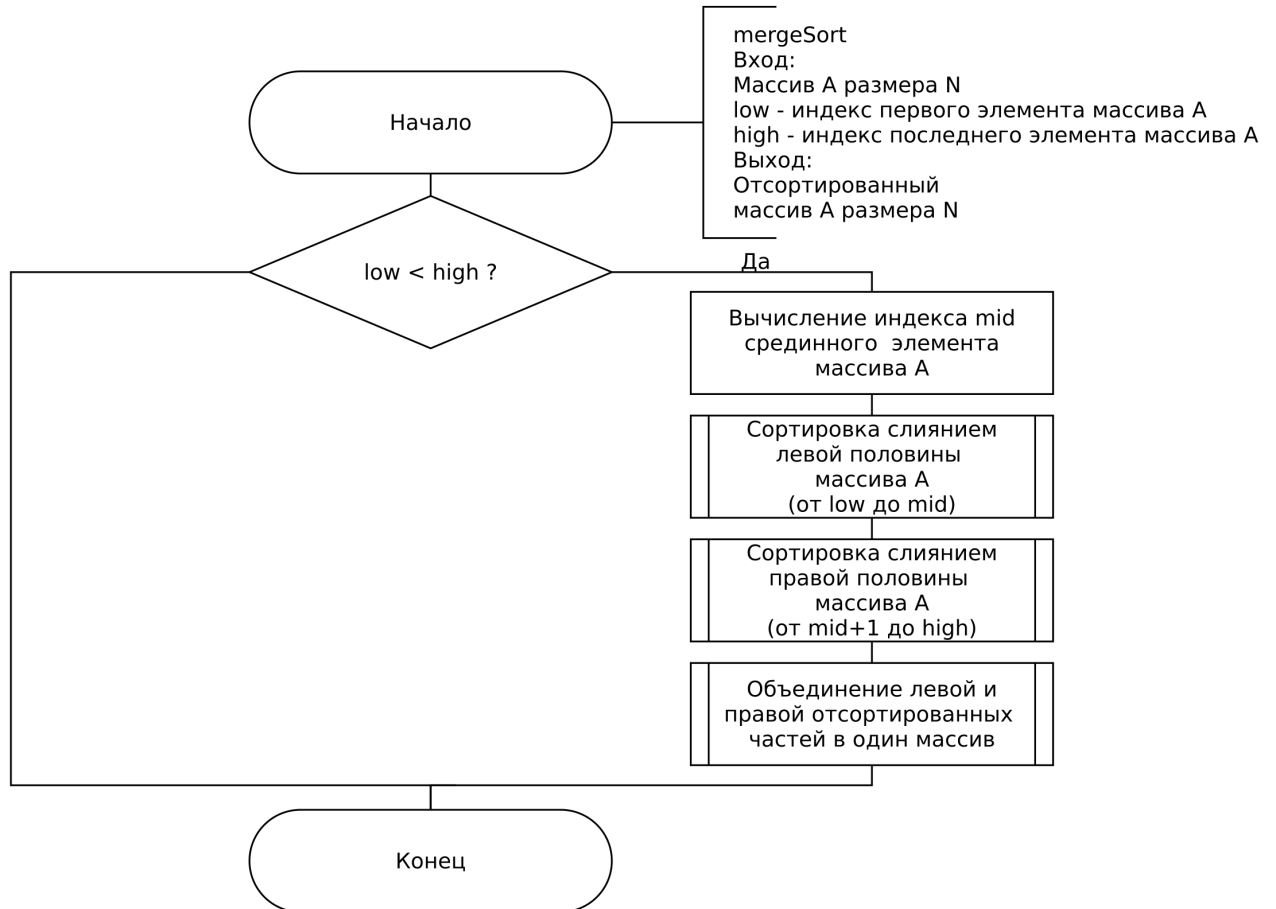


Рисунок 2.2 – Схема алгоритма сортировки слиянием

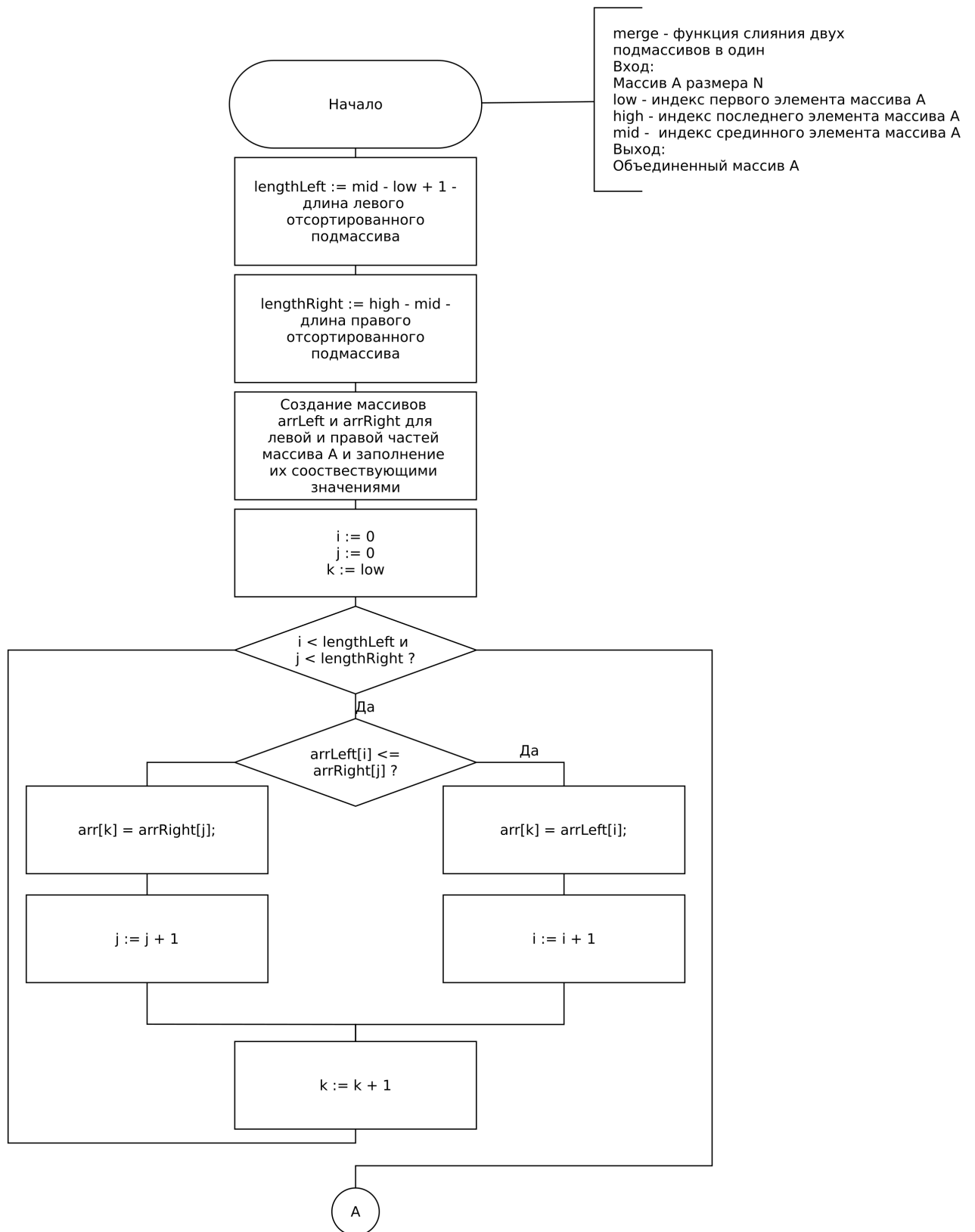


Рисунок 2.3 – Схема алгоритма функции слияния двух отсортированных подмассивов (начало)

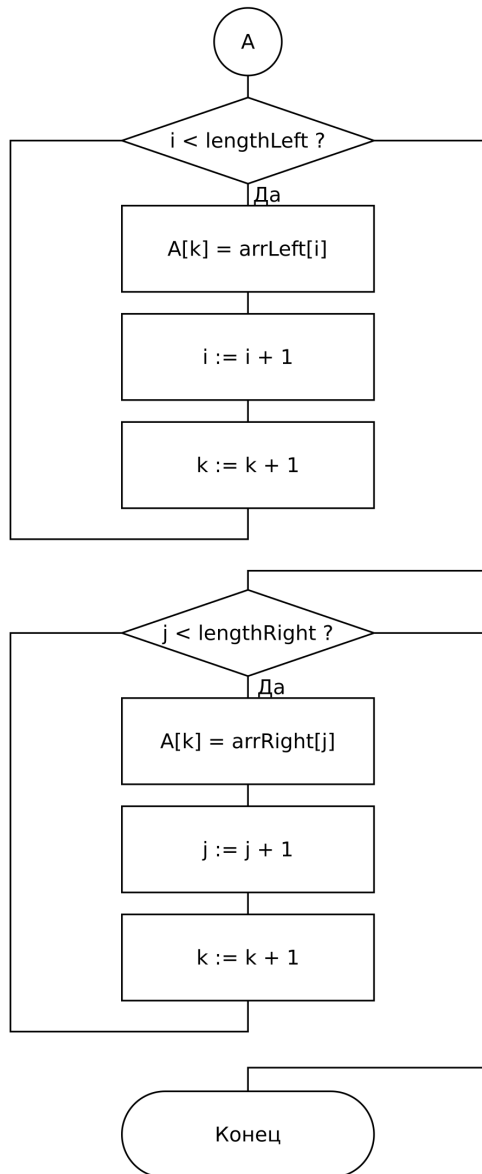


Рисунок 2.4 – Схема алгоритма функции слияния двух отсортированных подмассивов (конец)

2.1.3 Алгоритм поразрядной сортировки

На рисунке 2.5 представлена схема алгоритма сортировки слиянием.

На рисунке 2.6 представлена схема алгоритма функции сортировки по определённому разряду.

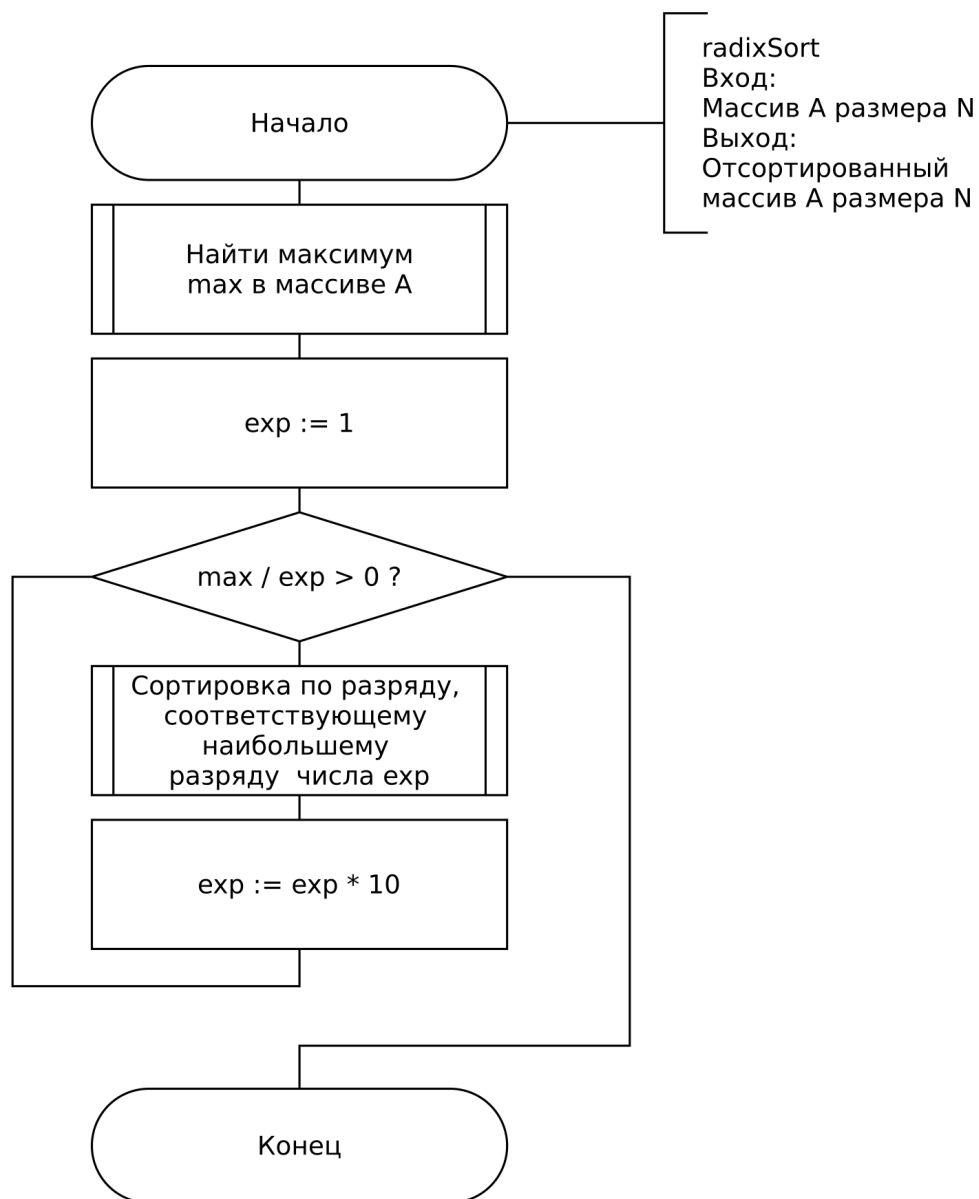


Рисунок 2.5 – Схема алгоритма поразрядной сортировки

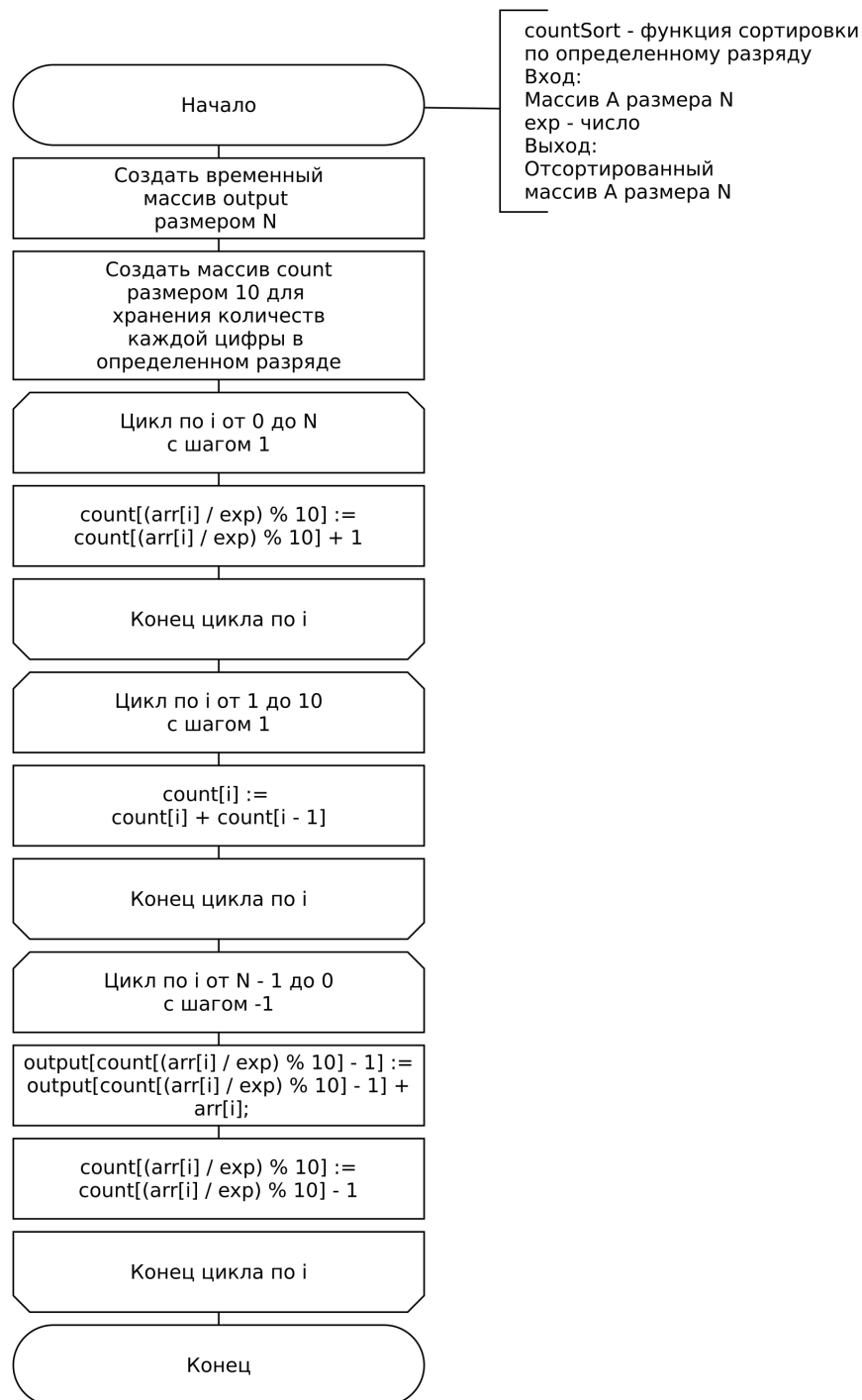


Рисунок 2.6 – Схема алгоритма функции сортировки по определенному разряду

2.2 Оценка трудоемкости алгоритмов

2.2.1 Модель вычислений для проведения оценки трудоемкости алгоритмов

Была введена модель вычислений для определения трудоемкости каждого отдельного взятого алгоритма сортировки.

1) Трудоемкость базовых операций имеет:

— равную 1:

$$+, -, =, + =, - =, ==, !=, <, >, <=, >=, [], ++, --, \&\&, >>, <<, ||, \&, | \quad (2.1)$$

— равную 2:

$$*, /, \%, * =, / =, \% = \quad (2.2)$$

2) Трудоемкость условного оператора:

$$f_{if} = f_{\text{условия}} + \begin{cases} \min(f_1, f_2), & \text{лучший случай} \\ \max(f_1, f_2), & \text{худший случай} \end{cases} \quad (2.3)$$

3) Трудоемкость цикла:

$$f_{for} = f_{\text{инициализация}} + f_{\text{сравнения}} + M_{\text{итераций}} \cdot (f_{\text{тело}} + f_{\text{инкремент}} + f_{\text{сравнения}}) \quad (2.4)$$

4) Трудоемкость передачи параметра в функции и возврат из функции равны 0.

2.2.2 Трудоемкость алгоритма блочной сортировки

Обозначим количество блоков за K . Алгоритм состоит из четырех последовательно идущих циклов:

- 1) Поиск минимума и максимума среди всех элементов массива.
- 2) Распределение элементов массива по соответствующим корзинам.
- 3) Сортировка элементов каждой корзины другим алгоритмом сортировки.
- 4) Соединение всех корзин воедино.

Для сортировки корзин на шаге 3) была использована функция *std :: sort* из заголовочного файла «*algorithm*» библиотеки языка $C++$. Сложность данного алгоритма сортировки $O(N \cdot \log(N))$.

Для поиска максимального и минимального элемента в массиве на шаге 1) были использованы функции *std :: max_element* и *std :: min_element* из заголовочного файла «*algorithm*» библиотеки языка $C++$. Сложность данных алгоритмов $O(N)$.

Трудоемкость инициализации пяти переменных:

$$f_1 = 5 \quad (2.5)$$

Цикл распределения элементов массива по соответствующим корзинам имеет следующую трудоемкость:

$$f_2 = 1 + 1 + N \cdot (8 + 1 + 1) = 2 + 10 \cdot N = O(N) \quad (2.6)$$

Цикл сортировки каждой корзины алгоритмом *std :: sort* в лучшем случае (элементы распределены по блокам равномерно, асимптотика их просмотра $O(K)$, входной массив расположен так, что внутренняя сортировка работает за лучшее время – $O(N)$) имеет асимптотику:

$$f_3 = O(N + K) \quad (2.7)$$

В худшем случае (элементы не имеют математической разницы между собой и внутренняя сортировка работает за худшее время – $O(N^2)$) асимптотика данного цикла:

$$f_3 = O(N^2) \quad (2.8)$$

Так как элементы массива равномерно распределены по K корзинам, то цикл соединения всех корзин воедино имеет следующую трудоемкость:

$$\begin{aligned} f_4 &= 1 + 1 + N \cdot (1 + 3 + \frac{N}{K} \cdot (5 + 1 + 3) + 1 + 1) = \\ &= 9 \cdot \frac{N^2}{K} + 6 \cdot N + 2 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Итоговая трудоемкость f_{bucket} равна:

В лучшем случае:

$$\begin{aligned} f_{bucket} &= f_1 + f_2 + f_3 + f_4 = 5 + 2 + 10 \cdot N + O(N + K) + \\ &+ 9 \cdot \frac{N^2}{K} + 6 \cdot N + 2 = \\ &= 9 \cdot \frac{N^2}{K} + 16 \cdot N + 7 + O(N + K) = O(N + K) \end{aligned} \quad (2.10)$$

В худшем случае:

$$\begin{aligned} f_{bucket} &= f_1 + f_2 + f_3 + f_4 = 5 + 2 + 10 \cdot N + O(N^2) + \\ &+ 9 \cdot \frac{N^2}{K} + 6 \cdot N + 2 = \\ &= 9 \cdot \frac{N^2}{K} + 16 \cdot N + 7 + O(N^2) = O(N^2) \end{aligned} \quad (2.11)$$

2.2.3 Трудоемкость алгоритма сортировки слиянием

Пусть

- REC – трудоемкость рекурсивного алгоритма;
- DIR – трудоемкость прямого решения;

- DIV – трудоемкость разбиения ввода (N) на несколько частей;
- COM – трудоемкость объединения решений.

Тогда трудоемкость рекурсивного алгоритма считается по следующей формуле:

$$REC(N) = \begin{cases} DIR(N), & N \leq N_0 \\ DIV(N) + \sum_{i=1}^n REC(F[i]) + COM(N), & N > N_0 \end{cases} \quad (2.12)$$

где N – число входных элементов, N_0 – наибольшее число, определяющее тривиальный случай (прямое решение), n – число рекурсивных вызовов для данного N , $F[i]$ – число входных элементов для данного i .

Трудоемкость алгоритма сортировки слиянием определяется следующим образом:

- 1) Трудоемкость разбиения ввода (N) на части. Каждый следующий вызов берется размерность массива в 2 раза меньше предыдущей путем вычисления индекса срединного элемента массива.

$$DIV(N) = 1 + 2 + 1 = 4 \quad (2.13)$$

- 2) Трудоемкость сортировки левого и правого подмассива (обозначим ее буквой $G = G(N)$):

$$G(N) = 2 \cdot REC\left(\frac{N}{2}\right) \quad (2.14)$$

Число разбиений K массива размером N на подмассивы размера в два раза меньше в алгоритме сортировки слиянием определяется следующей формулой:

$$K = \log_2(N) \quad (2.15)$$

Поскольку выполняется сортировка массива размером N , то

$$REC(\frac{N}{2}) = \frac{N}{2} \cdot \log_2(\frac{N}{2}) = \frac{1}{2} \cdot N \cdot \log_2(N) - \frac{1}{2} \cdot N \quad (2.16)$$

Таким образом, трудоемкость сортировки левого и правого подмассива определяется следующей формулой:

$$G(N) = 2 \cdot (\frac{1}{2} \cdot N \cdot \log_2(N) - \frac{1}{2} \cdot N) = N \cdot \log_2(N) - N \quad (2.17)$$

- 3) Трудоемкость объединения решений, а именно слияние двух отсортированных подмассивов

$$\begin{aligned} COM(N) &= 2 + 1 + \frac{N}{2} \cdot (4 + 1 + 1) + \frac{N}{2} \cdot (4 + 1 + 1) + \\ &3 + 1 + \frac{N}{2} \cdot (1 + 4 + 1 + 1) = \frac{19}{2} \cdot N + 7 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Таким образом, трудоемкость алгоритма сортировки слиянием 2.12 определяется так:

$$\begin{aligned} f_{merge} &= DIV(N) + G(N) + COM(N) = \\ &4 + N \cdot \log_2(N) - N + \frac{19}{2} \cdot N + 7 = \\ &N \cdot \log_2(N) + \frac{17}{2} \cdot N + 11 = O(N \cdot \log_2(N)) \end{aligned} \quad (2.19)$$

2.2.4 Трудоемкость алгоритма поразрядной сортировки

Трудоемкость алгоритма поразрядной сортировки состоит из:

- цикла по всем разрядам наибольшего числа в массиве;
- сортировки массива по каждому из разрядов.

Асимптотика трудоемкости поиска наибольшего элемента массива равна:

$$f_1 = O(N) \quad (2.20)$$

Пусть число разрядов наибольшего числа равно K . Тогда трудоемкость цикла сортировки по всем разрядам наибольшего числа равна:

$$f_2 = 1 + 2 + K \cdot (f_{count} + 1 + 2) \quad (2.21)$$

где f_{count} – трудоемкость сортировки по одному разряду.

Трудоемкость сортировки по одному разряду равна:

$$\begin{aligned} f_{count} = 2 + 9 \cdot N + 47 + 2 + 18 \cdot N + 2 + 5 \cdot N = \\ 32 \cdot N + 53 \end{aligned} \quad (2.22)$$

Итоговая трудоемкость поразрядной сортировки в лучшем и худшем случае равна:

$$\begin{aligned} f_{radix} = 3 + K \cdot (32 \cdot N + 53 + 3) = \\ 32 \cdot K \cdot N + 56 \cdot K + 3 = O(K \cdot N) \end{aligned} \quad (2.23)$$

Вывод

В данном разделе были построены схемы алгоритмов блочной сортировки, сортировки слиянием и поразрядной сортировки, а также были выполнены теоретические расчеты трудоемкости этих алгоритмов.

Согласно расчетам трудоемкости, на равномерно распределенных данных самым эффективным алгоритмом сортировки будет алгоритм блочной сортировки со сложностью $O(N + K)$. Для сортировки же произвольных данных из всех трех алгоритмов лучше всего подошел бы алгоритм сортировки слиянием со сложностью $O(N \cdot \log_2(N))$.

3 Технологический раздел

В данном разделе будут перечислены требования к программному обеспечению, средства реализации, листинги кода и функциональные тесты.

3.1 Требования к программному обеспечению

К программе предъявляется ряд требований:

- на вход подаётся вектор элементов;
- все элементы вектора - целые неотрицательные числа (это необходимо для возможности сравнения сортировок между собой);
- на выходе в том же векторе находятся отсортированные по возрастанию элементы исходного.

3.2 Средства реализации

В качестве языка программирования для этой лабораторной работы был выбран $C++$ [4] по следующим причинам:

- в $C++$ есть встроенный модуль *ctime*, предоставляющий необходимый функционал для замеров процессорного времени;
- в стандартной библиотеке $C++$ есть оператор *sizeof*, позволяющий получить размер переданного объекта в байтах. Следовательно, $C++$ предоставляет возможности для проведения точных оценок по используемой памяти.

В качестве функции, которая будет осуществлять замеры процессорного времени, будет использована функция *clock_gettime* из встроенного модуля *ctime* [5].

3.3 Сведения о модулях программы

Программа состоит из шести модулей:

- 1) `algorithms.cpp` — модуль, хранящий реализации алгоритмов сортировки;
- 2) `processTime.cpp` — модуль, содержащий функцию для замера процессорного времени;
- 3) `memoryMeasurements.cpp` — модуль, содержащий функции, позволяющие провести сравнительный анализ использования памяти в реализациях алгоритмов сортировки;
- 4) `timeMeasurements.cpp` — модуль, содержащий функции, позволяющие провести сравнительный анализ использования времени в реализациях алгоритмов сортировки;
- 5) `main.cpp` — файл, содержащий точку входа в программу;
- 6) `task7` — модуль, содержащий набор скриптов для проведения замеров программы по времени и памяти и построения графиков по полученным данным.

3.4 Реализации алгоритмов

В листингах 3.1 – 3.4 представлены реализации трех алгоритмов сортировки: блочной, сортировки слиянием и поразрядной.

Листинг 3.1 – Реализация алгоритма блочной сортировки

```
void bucketSort(vector<int> &arr)
{
    int n = arr.size();
    int minVal = *min_element(arr.begin(), arr.end());
    int maxVal = *max_element(arr.begin(), arr.end());
    int bucketRange = (maxVal - minVal) / n + 1;
    int bucketIndex, i, j, index = 0;

    vector<vector<int>> buckets(n);

    for (i = 0; i < n; i++)
    {
        bucketIndex = (arr[i] - minVal) / bucketRange;
        buckets[bucketIndex].push_back(arr[i]);
    }

    for (i = 0; i < n; i++)
        sort(buckets[i].begin(), buckets[i].end());

    for (i = 0; i < n; i++)
        for (j = 0; j < buckets[i].size(); j++)
            arr[index++] = buckets[i][j];
}
```

Листинг 3.2 – Реализация алгоритма сортировки слиянием (начало)

```
static void _merge(vector<int> &arr, int low, int high, int mid)
{
    int i, j, k, a;
    int lengthLeft = mid - low + 1;
    int lengthRight = high - mid;

    vector<int> arrLeft(lengthLeft), arrRight(lengthRight);

    for (a = 0; a < lengthLeft; a++)
        arrLeft[a] = arr[low + a];

    for (a = 0; a < lengthRight; a++)
        arrRight[a] = arr[mid + 1 + a];

    i = 0;
    j = 0;
    k = low;

    while (i < lengthLeft && j < lengthRight)
    {
        if (arrLeft[i] <= arrRight[j])
        {
            arr[k] = arrLeft[i];
            i++;
        }
        else
        {
            arr[k] = arrRight[j];
            j++;
        }
        k++;
    }
}
```

Листинг 3.3 – Реализация алгоритма сортировки слиянием (конец)

```
        while (i < lengthLeft)
        {
            arr[k] = arrLeft[i];
            k++;
            i++;
        }

        while (j < lengthRight)
        {
            arr[k] = arrRight[j];
            k++;
            j++;
        }
    }

static void _mergeSort(vector<int> &arr, int low, int high)
{
    if (low < high)
    {
        _mergeSort(arr, low, (low + high) / 2);
        _mergeSort(arr, (low + high) / 2 + 1, high);

        _merge(arr, low, high, (low + high) / 2);
    }
}

void mergeSort(vector<int> &arr)
{
    _mergeSort(arr, 0, arr.size() - 1);
}
```

Листинг 3.4 – Реализация алгоритма поразрядной сортировки (конец)

```
static void countSort(vector<int> &arr, int exp)
{
    int n = arr.size();
    int i;

    vector<int> output(n);
    int count[10] = {0};

    for (i = 0; i < n; i++)
        count[(arr[i] / exp) % 10]++;

    for (i = 1; i < 10; i++)
        count[i] += count[i - 1];

    for (i = n - 1; i >= 0; i--)
    {
        output[count[(arr[i] / exp) % 10] - 1] = arr[i];
        count[(arr[i] / exp) % 10]--;
    }

    for (i = 0; i < n; i++)
        arr[i] = output[i];
}

void radixSort(vector<int> &arr)
{
    int max = *max_element(arr.begin(), arr.end());
    int exp;

    for (exp = 1; max / exp > 0; exp *= 10)
        countSort(arr, exp);
}
```


3.5 Функциональные тесты

В таблице 3.1 приведены тестовые данные, на которых было протестировано разработанное ПО. Все тесты были успешно пройдены.

Таблица 3.1 – Функциональные тесты

Массив	Блочная	Слиянием	Поразрядная
1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6
6 5 4 3 2 1	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6
41 56 67 10 34 2	2 10 34 41 56 67	2 10 34 41 56 67	2 10 34 41 56 67
54 33 0 55 33 7 14	0 7 14 33 33 54 55	0 7 14 33 33 54 55	0 7 14 33 33 54 55
4 4 4 4 4 4	4 4 4 4 4 4	4 4 4 4 4 4	4 4 4 4 4 4
10	10	10	10
{}	Сообщение об ошибке	Сообщение об ошибке	Сообщение об ошибке

Вывод

В данном разделе были реализованы и протестированы 3 алгоритма сортировки: алгоритм блочной сортировки, алгоритм сортировки слиянием и алгоритм поразрядной сортировки.

4 Исследовательский раздел

В данном разделе будут проведены сравнения реализаций алгоритмов сортировки по времени работы и по затрачиваемой памяти.

4.1 Технические характеристики

Технические характеристики устройства, на котором проводились исследования:

- операционная система: Ubuntu 22.04.3 LTS x86_64 [6];
- оперативная память: 16 Гб;
- процессор: 11th Gen Intel® Core™ i7-1185G7 @ 3.00 ГГц × 8.

4.2 Время выполнения алгоритмов

Время работы алгоритмов измерялось с использованием функции *clock_gettime* из встроенного модуля *ctime*.

Замеры времени для каждого размера 1000 раз.

4.2.1 Массив случайно сгенерированных чисел заданного размера

На вход подавались случайно сгенерированные векторы заданного размера.

Исходя из полученных данных, наиболее быстрым алгоритмом сортировки из всех трех является алгоритм блочной сортировки: на больших размерах он работает в 1.5 раза быстрее алгоритма сортировки слиянием, в 1.04 раз быстрее алгоритма поразрядной сортировки. Алгоритм сортировки слиянием оказался самым неэффективным по времени среди всех алгоритмов.

Данные представлены в таблице 4.1. Их графическое отображение представлено на рисунке ??.

Таблица 4.1 – Замер времени для массивов размеров от 100 до 1000 элементов

Линейный размер, штуки	Время, мкс		
	Блочная	Слиянием	Поразрядная
100	21.984	24.079	23.367
200	43.961	52.015	47.727
300	66.580	90.222	69.285
400	92.634	116.973	93.435
500	113.289	148.954	116.621
600	134.604	187.587	141.475
700	157.763	216.882	165.108
800	179.392	250.836	187.108
900	205.149	292.716	211.348
1000	221.511	332.679	231.352

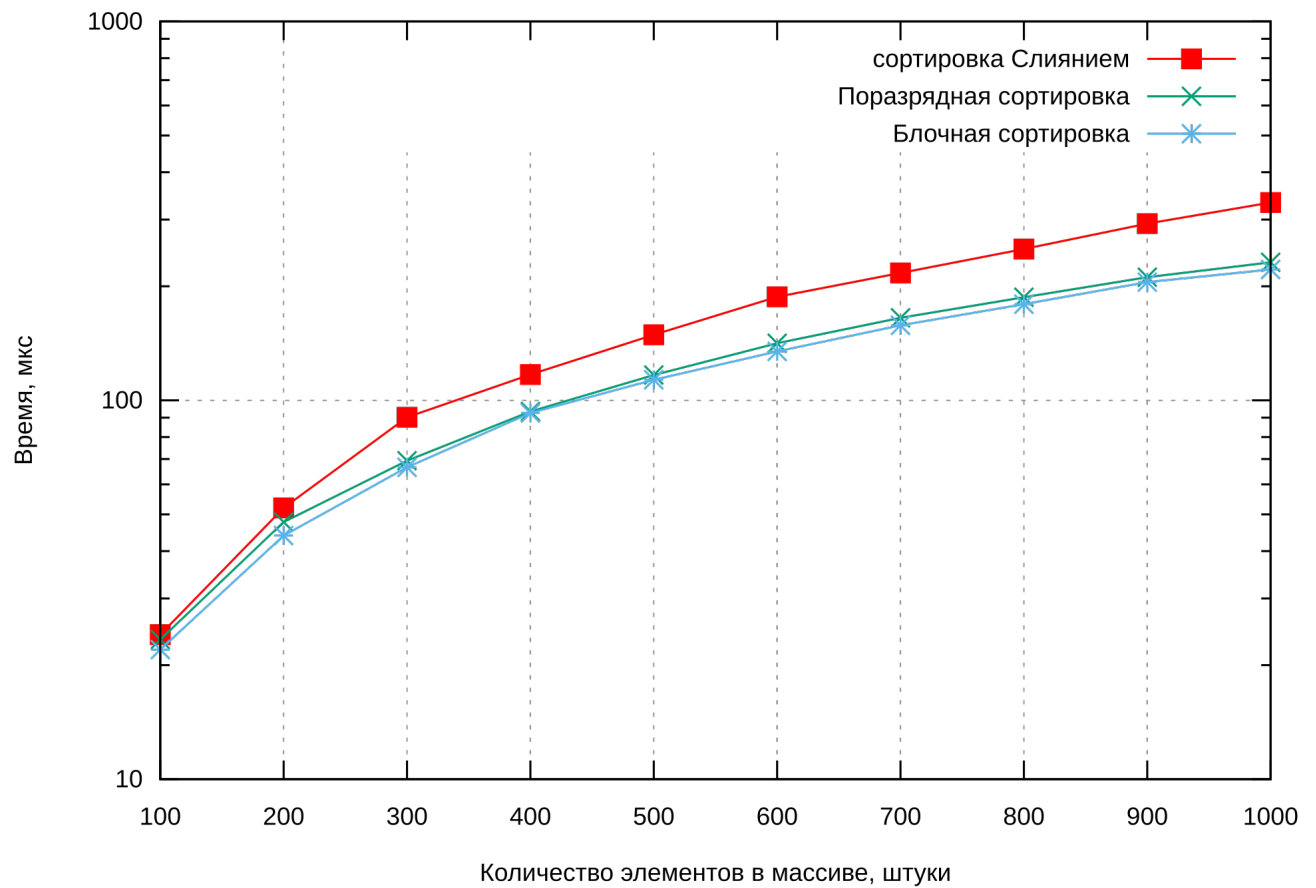


Рисунок 4.1 – Результаты замеров времени работы алгоритмов для массивом размеров от 100 до 1000 элементов

4.2.2 Массив случайно сгенерированных чисел заданного размера, отсортированный по возрастанию элементов

На вход подавались случайно сгенерированные векторы заданного размера, отсортированные по возрастанию элементов.

Результаты, полученные в ходе проведения исследования схожи с теми, что были получены в предыдущем исследовании (массивы случайно сгенерированных чисел): самым быстрым алгоритмом сортировки из всех трех является алгоритм блочной сортировки: на больших размерах он работает в 1.11 раза быстрее алгоритма сортировки слиянием, в 1.17 раз быстрее алгоритма поразрядной сортировки. Алгоритм сортировки слиянием оказался самым неэффективным по времени среди всех алгоритмов.

Данные представлены в таблице 4.2. Их графическое отображение представлено на рисунке 4.2.

Таблица 4.2 – Замер времени для массивов размеров от 100 до 1000 элементов

Линейный размер, штуки	Время, мкс		
	Блочная	Слиянием	Поразрядная
100	19.832	23.563	23.260
200	41.262	45.639	42.986
300	63.699	74.699	68.882
400	87.607	97.468	89.266
500	107.321	127.417	112.047
600	127.122	153.520	136.934
700	148.464	185.725	159.342
800	180.293	215.6526	187.752
900	200.511	243.148	205.076
1000	213.622	261.329	221.634

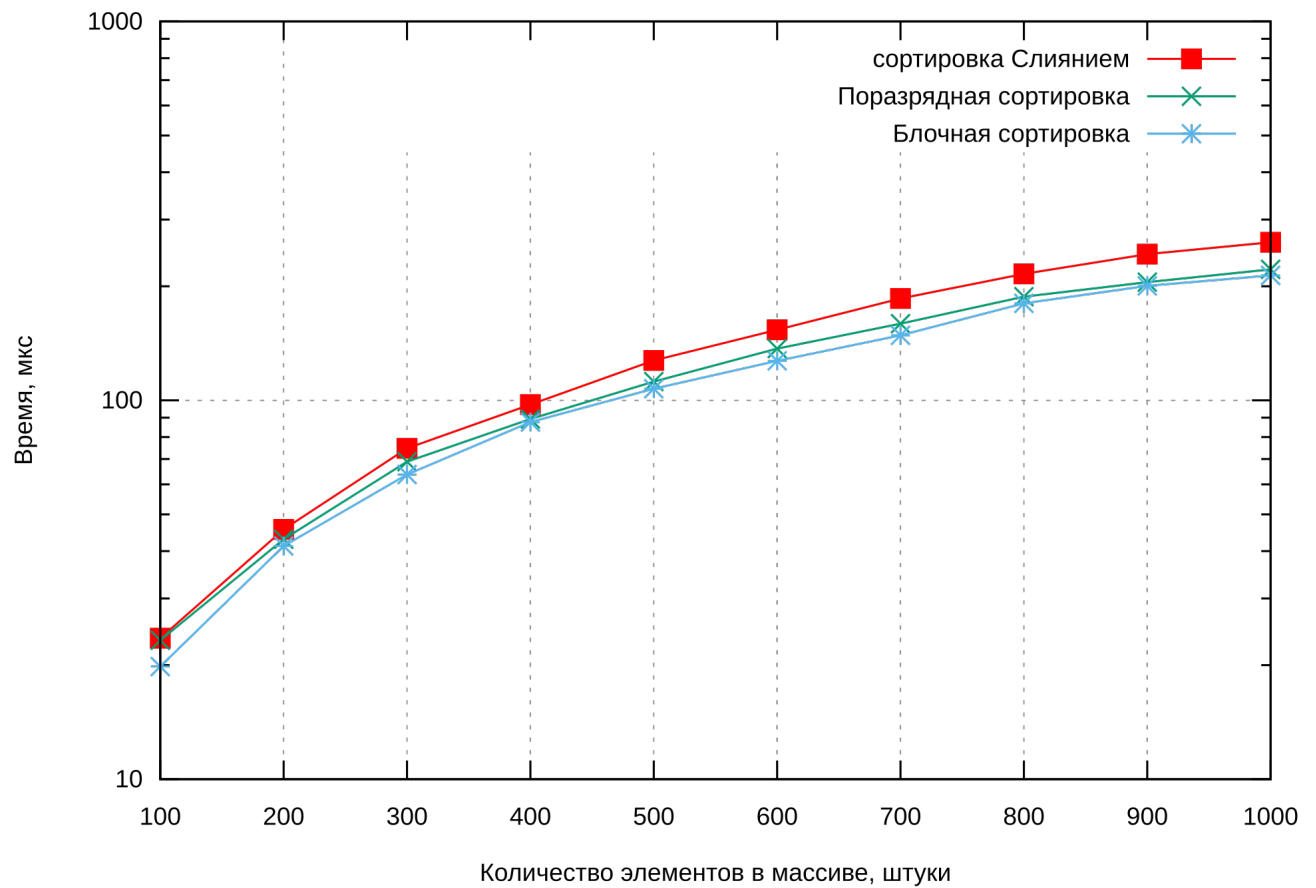


Рисунок 4.2 – Результаты замеров времени работы алгоритмов для массивом размеров от 100 до 1000 элементов

4.2.3 Массив случайно сгенерированных чисел заданного размера, отсортированный по убыванию элементов

На вход подавались случайно сгенерированные векторы заданного размера, отсортированные по убыванию элементов.

Результаты, полученные в ходе проведения исследования схожи с теми, что были получены в предыдущем исследовании (массивы случайно сгенерированных чисел): самым быстрым алгоритмом сортировки из всех трех является алгоритм блочной сортировки: на больших размерах он работает в 1.11 раза быстрее алгоритма сортировки слиянием, в 1.17 раз быстрее алгоритма поразрядной сортировки. Алгоритм сортировки слиянием оказался самым неэффективным по времени среди всех алгоритмов.

Данные представлены в таблице 4.3. Их графическое отображение представлено на рисунке 4.2.

Таблица 4.3 – Замер времени для массивов размеров от 100 до 1000 элементов

Линейный размер, штуки	Время, мкс		
	Блочная	Слиянием	Поразрядная
100	19.832	23.563	23.260
200	41.262	45.639	42.986
300	63.699	74.699	68.882
400	87.607	97.468	89.266
500	107.321	127.417	112.047
600	127.122	153.520	136.934
700	148.464	185.725	159.342
800	180.293	215.6526	187.752
900	200.511	243.148	205.076
1000	213.622	261.329	221.634

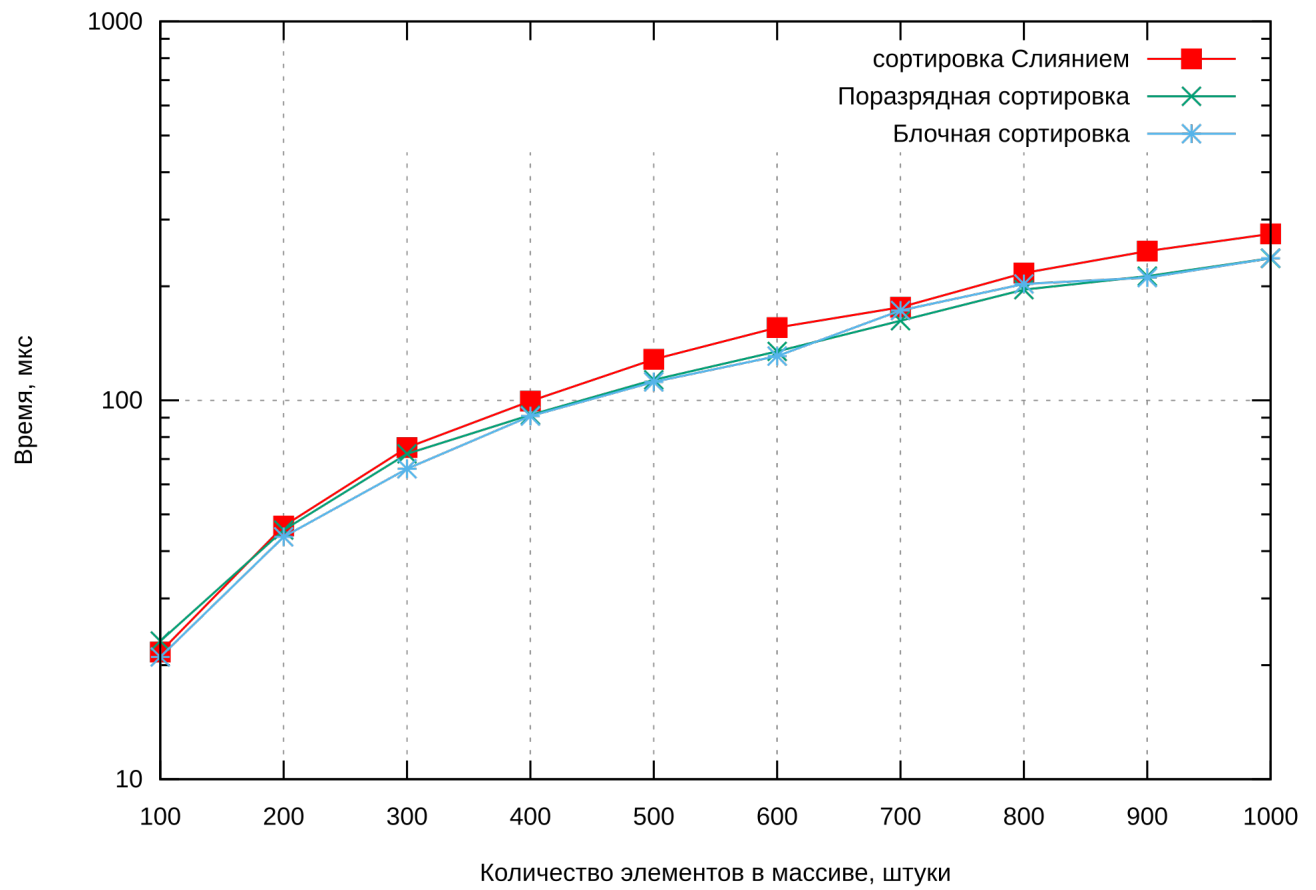


Рисунок 4.3 – Результаты замеров времени работы алгоритмов для массивом размеров от 100 до 1000 элементов

4.2.4 Массив, состоящий из одинаковых элементов

На вход подавались массивы заданного размера, состоящие из одинаковых элементов.

Результаты, полученные в ходе проведения исследования схожи с теми, что были получены в предыдущем исследовании (массивы случайно сгенерированных чисел): самым быстрым алгоритмом сортировки из всех трех является алгоритм блочной сортировки: на больших размерах он работает в 1.11 раза быстрее алгоритма сортировки слиянием, в 1.17 раз быстрее алгоритма поразрядной сортировки. Алгоритм сортировки слиянием оказался самым неэффективным по времени среди всех алгоритмов.

Данные представлены в таблице ???. Их графическое отображение представлено на рисунке 4.2.

Таблица 4.4 – Замер времени для массивов размеров от 100 до 1000 элементов

Линейный размер, штуки	Время, мкс		
	Блочная	Слиянием	Поразрядная
100	19.832	23.563	23.260
200	41.262	45.639	42.986
300	63.699	74.699	68.882
400	87.607	97.468	89.266
500	107.321	127.417	112.047
600	127.122	153.520	136.934
700	148.464	185.725	159.342
800	180.293	215.6526	187.752
900	200.511	243.148	205.076
1000	213.622	261.329	221.634

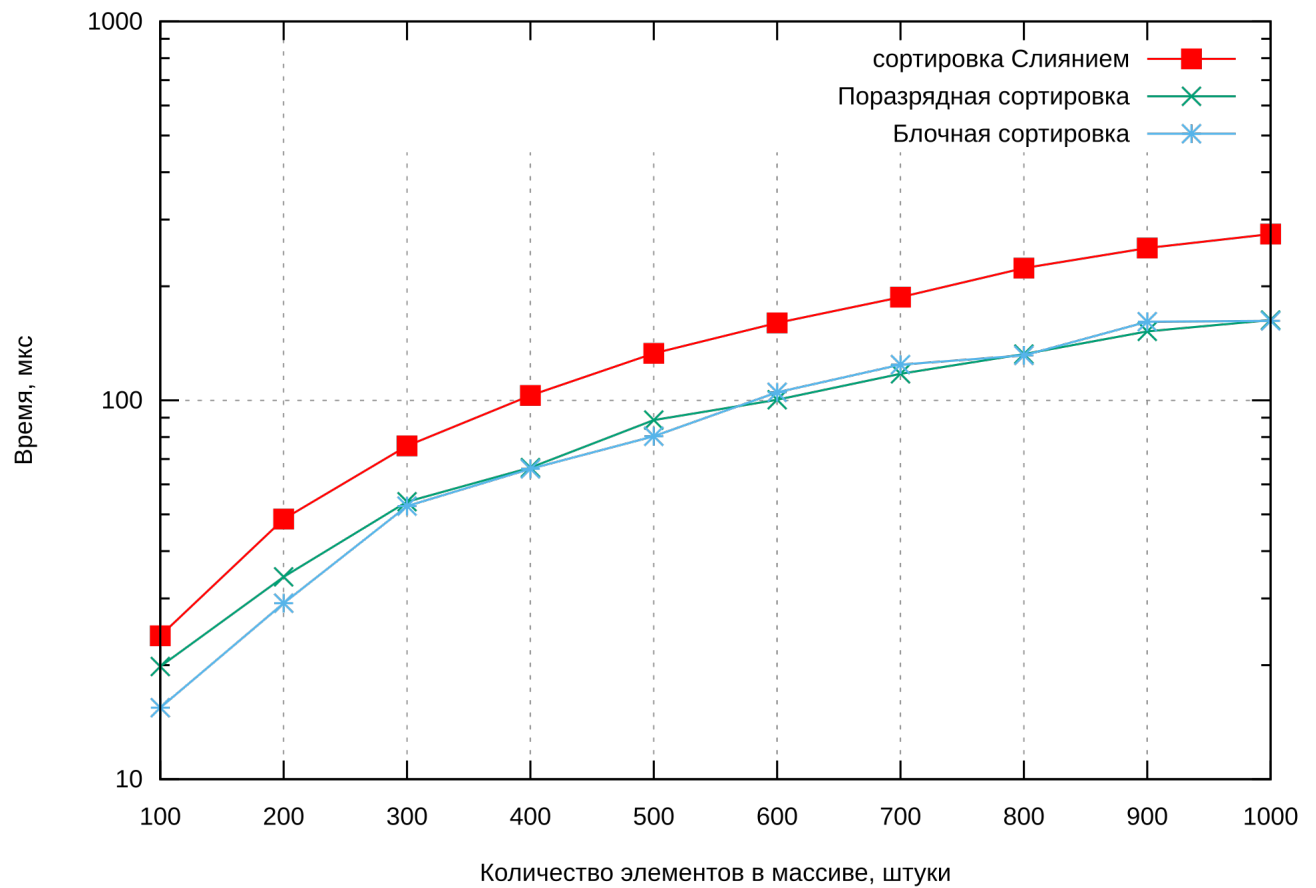


Рисунок 4.4 – Результаты замеров времени работы алгоритмов для массивом размеров от 100 до 1000 элементов

4.3 Использование памяти

Анализируя полученные данные можно увидеть, что самым эффективным по памяти является алгоритм блочной сортировки. Это обусловлено тем, что в этом алгоритме создается всего один дополнительный массив блоков, в который по которым равномерно распределяются элементы массива, в то время как для работы других алгоритмов сортировки необходимо минимум два дополнительных массива данных.

Алгоритм сортировки слиянием, как и в случае с оценкой алгоритмов по времени, является самым не эффективным: при размере массива в 100 элементов он расходует памяти в среднем в 1.4 раза больше, чем любой другой алгоритм. Это связано тем, что при каждом рекурсивном вызове при слиянии двух отсортированных подмассивов выделяется память под их хранение.

Данные представлены в таблице 4.4. Их графическое отображение представлено на рисунке ??.

Таблица 4.5 – Замер используемой памяти для массивов размеров от 100 до 1000 элементов

Линейный размер, штуки	Память, байты		
	Блочная	Слиянием	Поразрядная
100	880	1 280	932
200	1 680	2 164	1 732
300	2 480	3 040	2 532
400	3 280	3 848	3 332
500	4 080	4 624	4 132
600	4 880	5 524	4 932
700	5 680	6 308	5 732
800	6 480	7 132	6 532
900	7 280	7 924	7 332
1000	8 080	8 708	8 132

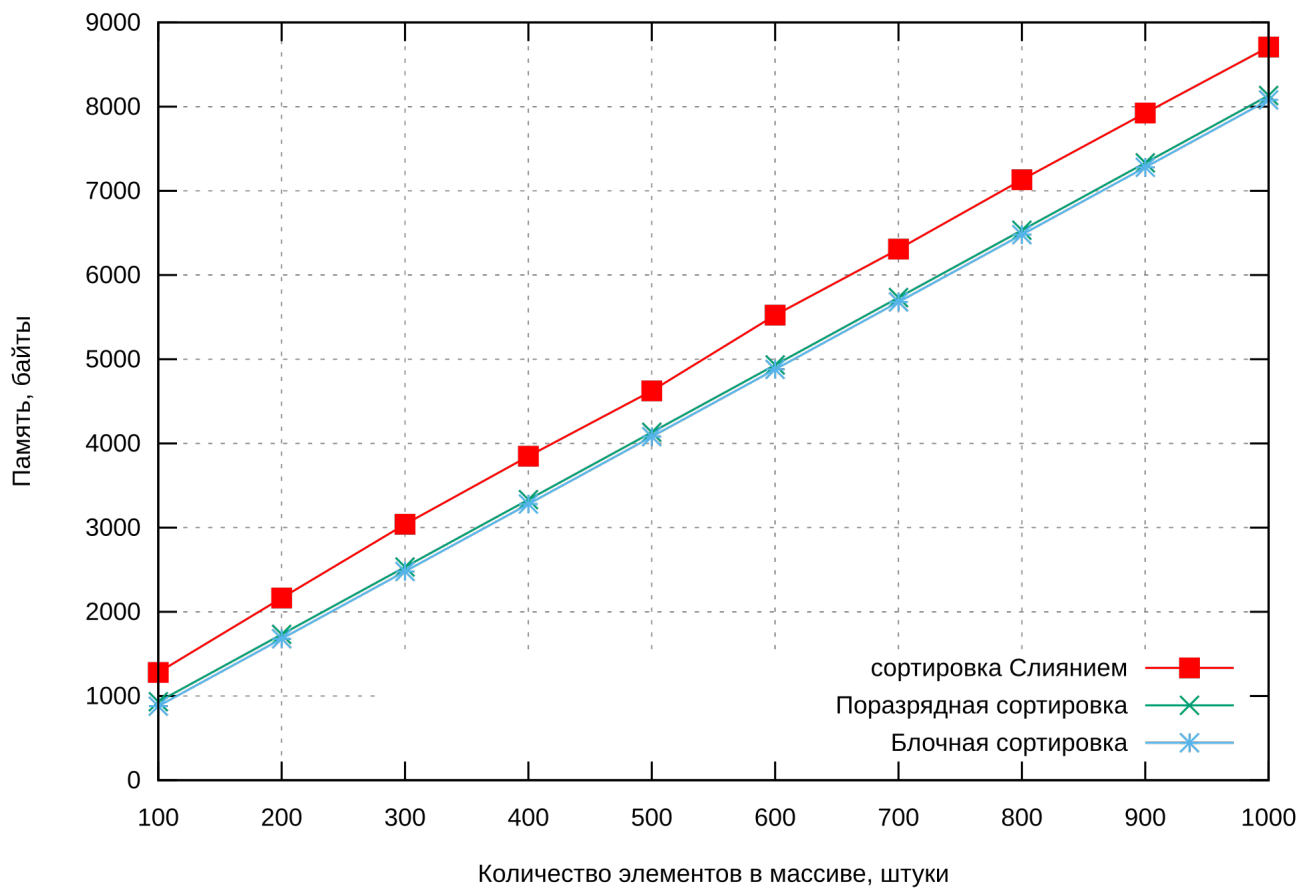


Рисунок 4.5 – Результаты замеров работы используемой памяти алгоритмов для массивом размеров от 100 до 1000 элементов

Вывод

В данном разделе были проведены замеры времени работы, а также расчеты используемой памяти реализаций алгоритмов сортировки.

Самым эффективным по обоим параметрам оказался алгоритм блочной сортировки, самым неэффективным по обоим параметрам оказался алгоритм сортировки слиянием. Полученные результаты для алгоритма поразрядной сортировки показали, что он выполняет сортировку почти также быстро, как алгоритм блочной сортировки. Алгоритм поразрядной сортировки немного проигрывает по расходу памяти алгоритму блочной сортировки, но выигрывает у алгоритма сортировки слиянием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения лабораторной работы были решены следующие задачи:

- 1) Изучены и описаны три алгоритма сортировки: блочной, слиянием и поразрядной.
- 2) Создано программное обеспечение, реализующее следующие алгоритмы:
 - алгоритм блочной сортировки;
 - алгоритм сортировки слиянием;
 - алгоритм поразрядной сортировки.
- 3) Проведен анализ эффективности реализаций алгоритмов по памяти и по времени.
- 4) Проведена оценка трудоемкости алгоритмов сортировки.
- 5) Подготовлен отчет по лабораторной работе.

Цель данной лабораторной работы, а именно исследование трех алгоритмов сортировки: блочной сортировки, сортировки слиянием и поразрядной сортировки, также была достигнута.

Согласно теоретическим расчетам трудоемкости алгоритмов сортировки наименее трудоемким на равномерно распределенных данных оказался алгоритм блочной сортировки, наиболее трудоемким – алгоритм поразрядной сортировки.

Результаты проведенного исследования практически подтвердили теоретические расчеты трудоемкости: наиболее эффективным по времени работы и по используемой памяти является алгоритм блочной сортировки, но наиболее трудоемким оказался алгоритм сортировки слиянием.

На равномерно распределенных данных лучше всего использовать алгоритм блочной сортировки, а для сортировки любых элементов, которые можно поделить на разряды, подошел бы алгоритм поразрядной сортировки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. The detailed experimental analysis of bucket sort [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7943114> (дата обращения: 04.12.2023).
2. Параллельный алгоритм сортировки слиянием [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_28387636_36752755.pdf (дата обращения: 04.12.2023).
3. Сортировка по разрядам [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [:http://algotab.valemak.com/radix](http://algotab.valemak.com/radix) (дата обращения: 04.12.2023).
4. Справочник по языку C++ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/cpp/cpp/cpp-language-reference?view=msvc-170> (дата обращения: 28.09.2022).
5. clock_getres [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://pubs.opengroup.org/onlinepubs/9699919799/functions/clock_getres.html (дата обращения: 28.09.2022).
6. Ubuntu 22.04.3 LTS (Jammy Jellyfish) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://releases.ubuntu.com/22.04/> (дата обращения: 28.09.2022).