МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В. Г. ШУХОВА»
(БГТУ им. В. Г. Шухова)

Кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Лабораторная работа № 3

по дисциплине: Алгоритмы и структуры данных

тема: «Сравнительный анализ методов сортировки С»

Выполнил: ст. группы ПВ-223
Игнатьев Артур Олегович

Проверил:
асс. Солонченко Роман Евгеньевич

Белгород 2023г.

Лабораторная работа №3

«Сравнительный анализ методов сортировки С»

Цель работы: изучение методов сортировки массивов и приобретение навыков в проведении сравнительного анализа различных методов сортировки.

Содержание отчета:

- Тема лабораторной работы;
- Цель лабораторной работы;
- Условия задач и их решение;
- Вывод.

Задание к лабораторной работе :

1. Изучить временные характеристики алгоритмов.
2. Изучить методы сортировки:
   1) включением;
   2) выбором;
   3) обменом:
      3.1) улучшенная обменом 1;
      3.2) улучшенная обменом 2;
   4) Шелла;
   5) Хоара;
   6) пирамидальная.
3. Программно реализовать методы сортировки массивов.
4. Разработать и программно реализовать средство для проведения экспериментов по определению временных характеристик алгоритмов сортировки.
5. Провести эксперименты по определению временных характеристик алгоритмов сортировки. Результаты экспериментов представить в виде таблицы 9, клетки которой содержат количество операций сравнения при выполнении алгоритма сортировки массива с заданным количеством элементов. Провести эксперимент для упорядоченных, неупорядоченных и

упорядоченных в обратном порядке массивов (для каждого типа массива заполнить отдельную таблицу).

6. Построить график зависимости количества операций сравнения от количества элементов в сортируемом массиве.

7. Определить аналитическое выражение функции зависимости количества операций сравнения от количества элементов в массиве.

8. Определить порядок функций временной сложности алгоритмов сортировки при сортировке упорядоченных, неупорядоченных и упорядоченных в обратном порядке массивов.

Листинг программы:

Файл standard_functions.h

```
// Функция для обмена двух элементов массива
void swap(void *a, void *b, int size);

// Функция генерации рандомного массива размера size
void generateRandomArray(int *array, const size_t size);

// Возвращает 'истину', если массив отсортирован, иначе -- 'ложь'
bool isOrdered(int *array, size_t size);

// Выводит массив array размера size
void outputArray(int *array, size_t size);
```

Файл standard_functions.c

```
#include "standart_functions.h"

void swap(void *a, void *b, int size) {
    char *pa = a;
    char *pb = b;
    for (int i = 0; i < size; i++, pa++, pb++) {
        char t = *pa;
        *pa = *pb;
        *pb = t;
    }
}

void generateRandomArray(int *array, const size_t size) {
    srand(time(0));

    for (size_t i = 0; i < size; i++)
        array[i] = rand() % 10000;
}

bool isOrdered(int *array, size_t size) {
    for (size_t i = 1; i < size; i++)
        if (array[i] < array[i - 1])
            return false;
```

```
    return true;
}


void outputArray(int *array, size_t size) {
    printf("[");

    for (size_t i = 0; i < size; i++) {
        printf("%d", array[i]);

        if (i < size - 1)
            printf(", ");
    }

    printf("]\n");
}
```

Файл sort.h

```
// Сортировка включением
long long insertionSort(int A[], int n);

// Сортировка выбором
long long selectionSort(int A[], int n);

// Сортировка обменом
long long bubbleSort(int A[], int n);

// Улучшенная сортировка обменом 1
long long bubbleSort1(int arr[], int n);

// Улучшенная сортировка обменом 2
long long bubbleSort2(int arr[], int n);

// Сортировка массива методом Шелла
long long shellSort(int arr[], int n);

// Сортировка Хоара (быстрая сортировка)
long long hoarSort(int arr[], int high);

// Пирамидальная сортировка
long long heapSort(int A[], int n);

// Компаратор для qsort
int compareQsort(const void *a, const void *b);
```

Файл sort.c

```
#include "sort.h"

long long insertionSort(int A[], int n) {
    long long comparisons = 0;
    int i, j, k;
    for (j = 1; j < n; j++) {
        k = A[j];
        i = j - 1;
        while (k < A[i] && i >= 0) {
            comparisons++;
            A[i + 1] = A[i];
            i -= 1;
```

```
        }
        comparisons++;
        A[i + 1] = k;
    }
    return comparisons + (n - 1);
}

long long selectionSort(int A[], int n) {
    long long comparisons = 0;
    int i, j, x, k;
    for (i = 0; i < n - 1; i++) {
        x = A[i];
        k = i;
        for (j = i + 1; j < n; j++)
            if (A[j] < x) {
                k = j;
                x = A[k];
            }
        comparisons += (n - (i + 1));
        A[k] = A[i];
        A[i] = x;
    }
    return comparisons + (n - 1);
}

long long bubbleSort(int A[], int n) {
    long long comparisons = 0;
    int i, j, k, p;
    for (i = 0; i < n - 1; i++) {
        p = 0;
        for (j = n - 1; j > i; j--) {
            comparisons++;
            if (A[j] < A[j - 1]) {
                k = A[j];
                A[j] = A[j - 1];
                A[j - 1] = k;
                p = 1;
            }
        }
        comparisons += (n - i);
        //Если перестановок не было, то сортировка выполнена
        if (!p)
            break;
    }
    return comparisons + (n - 1);
}

long long bubbleSort1(int arr[], int n) {
    long long comparisons = 0;
    int temp;
    bool swapped;
    for (int i = 0; i < n - 1; i++) {
        swapped = false;
        for (int j = 0; j < n - i - 1; j++) {
            comparisons++;
            if (arr[j] > arr[j + 1]) {
                // меняем элементы местами
                temp = arr[j];
                arr[j] = arr[j + 1];
                arr[j + 1] = temp;
                swapped = true;
            }
        }
        comparisons += (n - i);
```

```
        // если на текущей итерации не было ни одного обмена,
        // то массив уже отсортирован и можно завершить процесс
        if (swapped == false)
            break;
    }
    return comparisons + (n - 1);
}

long long bubbleSort2(int arr[], int n) {
    long long comparisons = 0;
    int i, j, temp;
    int lastSwapIndex = n - 1;
    for (int i = 0; i < n - 1; i++) {
        int currentSwapIndex = -1;
        for (int j = 0; j < lastSwapIndex; j++) {
            comparisons++;
            if (arr[j] > arr[j + 1]) {
                // меняем элементы местами
                temp = arr[j];
                arr[j] = arr[j + 1];
                arr[j + 1] = temp;
                currentSwapIndex = j;
            }
        }
        comparisons += (lastSwapIndex + 1);
        // если на текущей итерации не было ни одного обмена,
        // то массив уже отсортирован и можно завершить процесс
        if (currentSwapIndex == -1)
            break;
        lastSwapIndex = currentSwapIndex;
    }
    return comparisons + (n - 1);
}

long long shellSort(int arr[], int n) {
    long long comparisons = 0;
    // Начинаем с большего шага
    for (int gap = n / 2; gap > 0; gap /= 2) {
        comparisons++;
        // Проходим по элементам массива с шагом gap
        for (int i = gap; i < n; i++) {
            // Сохраняем текущий элемент в переменную temp
            int temp = arr[i];
            // Сдвигаем предыдущие элементы, которые больше текущего, на один
шаг вперед
            int j;
            for (j = i; j >= gap && arr[j - gap] > temp; j -= gap) {
                comparisons++;
                arr[j] = arr[j - gap];
            }
            comparisons++;
            // Вставляем текущий элемент на правильную позицию
            arr[j] = temp;
        }
        comparisons += (n - gap);
    }
    return comparisons + 1;
}

//Эта функция принимает последний элемент в качестве опорного, помещает
//этот элемент в правильное положение в отсортированном массиве и помещает
//все меньшие (меньше опорного) элементы слева от него и все большие
//элементы справа от него
int partition(int arr[], int low, int high) {
```

```
    int support = arr[high]; // опорный элемент
    int i = (low - 1); // индекс меньшего элемента
    for (int j = low; j <= high - 1; j++) {
        // Если текущий элемент меньше или равен опорному
        if (arr[j] <= support) {
            i++; // увеличиваем индекс меньшего элемента
            swap(&arr[i], &arr[j], sizeof(arr[i]));
        }
    }
    swap(&arr[i + 1], &arr[high], sizeof(arr[i + 1]));
    return (i + 1);
}

// Функция для реализации алгоритма быстрой сортировки
//arr[] - Массив для сортировки,
//low - Начальный индекс,
//high - Конечный индекс
long long q_sort(int arr[], int low, int high, long long comparisons) {
    if (low < high) {
        // separative - это разделительный индекс, arr[sep] сейчас на пра-
вильном месте
        int separative = partition(arr, low, high);
        comparisons += (2 * (high - low));
        // Рекурсивно сортируем элементы до разделителя и после разделителя
        q_sort(arr, low, separative - 1, comparisons);
        q_sort(arr, separative + 1, high, comparisons);
    }
    return comparisons + 1;
}

long long hoarSort(int arr[], int high) {
    return q_sort(arr, 0, high, 0);
}

void sift(int A[], int L, int R) {
    int i, j, x, k;
    i = L;
    j = 2 * L + 1;
    x = A[L];
    if ((j < R) && (A[j] < A[j + 1]))
        j++;
    while ((j <= R) && (x < A[j])) {
        k = A[i];
        A[i] = A[j];
        A[j] = k;
        i = j;
        j = 2 * j + 1;
        if ((j < R) && (A[j] < A[j + 1]))
            j++;
    }
}

long long heapSort(int A[], int n) {
    long long comparisons = 0;
    int L, R, x, i;
    L = n / 2;
    R = n - 1;
    //  Построение пирамиды из исходного массива
    while (L > 0) {
        comparisons++;
        L = L - 1;
        sift(A, L, R);
    }
    comparisons++;
```

```
    // Сортировка: пирамида в отсортированный массив
    while (R > 0) {
        comparisons++;
        x = A[0];
        A[0] = A[R];
        A[R] = x;
        R--;
        sift(A, L, R);
    }
    return comparisons + 1;
}

int compareQsort(const void *a, const void *b) {
    int arg1 = *(const int *) a;
    int arg2 = *(const int *) b;
    if (arg1 < arg2)
        return -1;
    if (arg1 > arg2)
        return 1;
    return 0;
}
```

Файл lab3.h

```
#define ARRAY_SIZE(arr) (sizeof(arr) / sizeof((arr)[0]))

typedef struct sortFunction {
    long long (*sort)(int[], int);
    char *name;
} sortFunction;

typedef struct generationFunction {
    void (*generate)(int *, size_t);
    char *name;
} generationFunction;

void timeExperiment();
```

Файл lab3.c

```
#include "lab3.h"

void checkTime(long long (*sortFunc)(int *, int), void (*generateFunc)(int *,
size_t),
               size_t size, char *experimentName) {
    static size_t runNum = 1;
    static int odometer[100000000];

    generateFunc(odometer, size);

    printf("Запуск #%zu | ", runNum++);
    printf("Название: %s\n", experimentName);

    long long comparison = sortFunc(odometer, size);

    printf("Состояние: ");

    if (isOrdered(odometer, size)) {
        printf("OK! Подсчётов %lld\n\n", comparison);

        char filename[256];
```

```
        sprintf(filename, "data/%s.csv", experimentName);

        FILE *f = fopen(filename, "a");

        if (f == NULL) {
            printf("Ошибка открытия файла %s", filename);

            exit(1);
        }

        fprintf(f, "%llu; %lld\n", size, comparison);

        fclose(f);
    } else {
        printf("Неправильно!\n");

        outputArray(odometer, size);
        exit(1);
    }
}


void timeExperiment() {
    sortFunction sorts[] = {
            {insertionSort, "insertionSort"},
            {selectionSort, "selectionSort"},
            {bubbleSort,    "bubbleSort"},
            {bubbleSort1,   "bubbleSort1"},
            {bubbleSort2,   "bubbleSort2"},
            {shellSort,     "shellSort"},
            {hoarSort,      "hoarSort"},
            {heapSort,      "heapSort"},
    };
    const unsigned FUNCS_N = ARRAY_SIZE(sorts);
    generationFunction generation[] = {
            {generateRandomArray, "Random"}
    };
    const unsigned CASES_N = ARRAY_SIZE(generation);

    for (size_t size = 5; size <= 45; size += 5) {
        printf("-----------------------------------------------\n");
        printf("Размер: %llu\n", size);

        for (size_t i = 0; i < FUNCS_N; i++)
            for (size_t j = 0; j < CASES_N; j++) {
                static char filename[128];

                sprintf(filename, "%s%sTime", sorts[i].name, genera-
tion[j].name);

                checkTime(sorts[i].sort, generation[j].generate, size,
                          filename);
            }

        printf("\n");
    }
}
```

Файл main.c

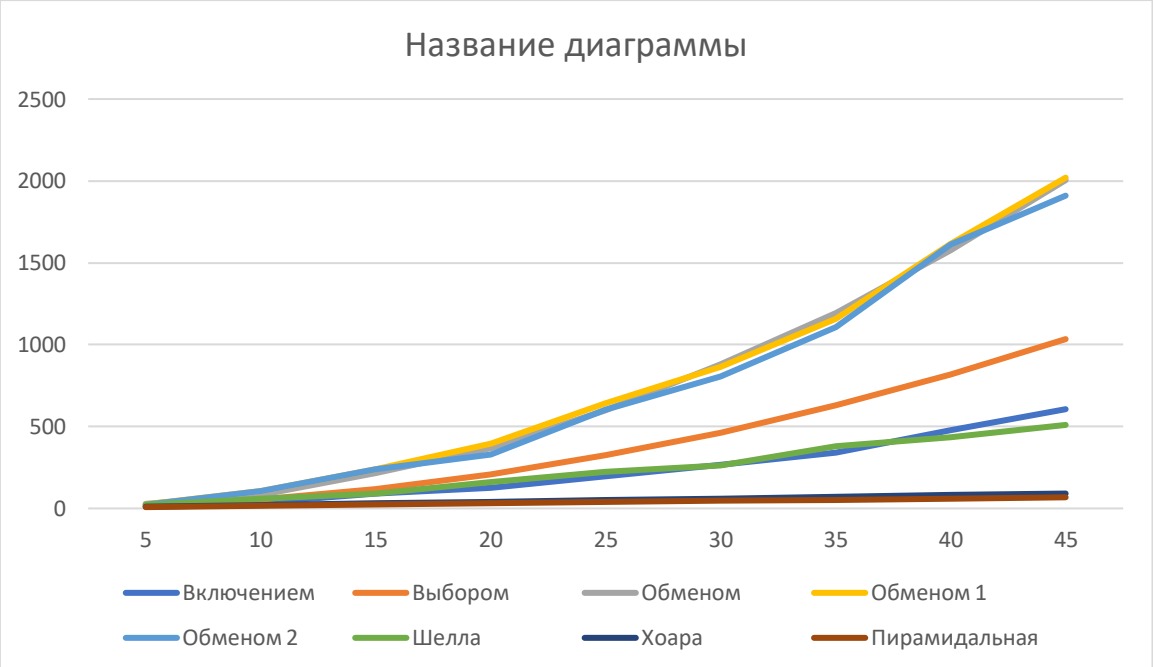
```
int main() {
    SetConsoleOutputCP(CP_UTF8);
```

```
    timeExperiment();
    return 0;
}
```

Временные характеристики алгоритмов:

Сортировка	Количество элементов в массиве								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Включением	13	35	90	125	195	267	340	477	606
Выбором	14	54	119	209	324	464	629	819	1034
Обменом	28	84	214	370	600	880	1195	1575	2005
Обменом 1	25	105	238	394	640	865	1159	1614	2020
Обменом 2	23	105	238	328	604	805	1107	1612	1910
Шелла	22	61	90	162	222	262	380	435	510
Хоара	11	21	31	41	51	61	71	81	91
Пирамидальная	8	16	23	31	38	46	53	61	68

График зависимости функций временной сложности:



Порядок функций временной сложности:

Сортировки	Порядок функций временной сложности
Включением	$O(N^2)$
Выбором	$O(N^2)$
Обменом	$O(N^2)$
Обменом 1	$O(N^2)$
Обменом 2	$O(N^2)$
Шелла	$O(N * log^2 N)$
Хоара	$O(N * \log N)$
Пирамидальная	$O(N * \log N)$

Вывод: в ходе выполнения лабораторной работы были изучены методы сортировки массивов и приобретены навыки в проведении сравнительного анализа различных методов сортировки.