|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| лого для документов 2022 | ***Федеральное агентство по рыболовству***  ***Федеральное государственное бюджетное образовательное***  ***учреждение высшего образования***  ***«******Астраханский государственный технический университет»***  Система менеджмента качества в области образования, воспитания, науки и инноваций сертифицирована DQS  по международному стандарту ISO 9001:2015 | |
| Институт Информационных технологий и коммуникаций  Направление 09.03.01 Информатика и вычислительная техника  Профиль Автоматизированные системы обработки информации и управления  КафедраАвтоматизированные системы обработки информации и управления | | |
| **КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**  **Исследование метода сортировки Хоара**  по дисциплине «Алгоритмы и структуры данных» | | |
| Допущен к защите  «\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_2023г.  Руководитель  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Оценка, полученная на защите  «\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_» | | Проект выполнил:  обучающийся группы ДИНРБ-21  Самодуров Вячеслав Александрович  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Руководитель  асс. Кравченкова Е.П. | |
| Члены комиссии:  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | |  | |
| Астрахань 2023 | | |

**АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Институт информационных технологий и коммуникаций**

|  |  |
| --- | --- |
| **УТВЕРЖДАЮ** | Кафедра «Автоматизированные системы  обработки информации и управления» |
| Заведующий кафедрой  д.т.н., проф.  Т.В. Хоменко \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г. |

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение курсового проекта**

Обучающийся ***Самодуров Вячеслав Александрович***

Группа ***ДИНРб-21***

Дисциплина ***Алгоритмы и структуры данных***

Тема ***Исследование метода сортировки Хоара***

Дата получения задания «\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023г.  
Срок представления обучающимся КП на кафедру «\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023г.

Руководитель ***ассистент***\_\_\_\_\_\_\_\_\_ ***Кравченкова Е.П.*** «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023г.

должность, степень, званиеподписьФИО

Обучающийся \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ ***Самодуров В.А.*** «\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023г.

подпись ФИО

**Задачи**

Разработка программного продукта, который

* предоставляет пользователю интерфейс управления сортировкой и статистику;
* демонстрирует наглядно метод сортировки Хоара;

**Список рекомендуемой литературы**

1. Кнут Д.Э. Искусство программирования, том 3. Сортировка и поиск, 2-е изд. : Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2018. – 832 с. : ил. – Парал. тит. англ.
2. Дж. Макконелл Анализ алгоритмов. Активный обучающий подход. — 3-е дополненное издание. М: Техносфера, 2009. -416с.

|  |  |
| --- | --- |
| **УТВЕРЖДАЮ** | К заданию на курсовой проектпо дисциплине  «Алгоритмы и структуры данных» |
| Заведующий кафедрой  д.т.н., профессор  Т.В. Хоменко\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023г. |

**КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК**

курсового проектирования

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Разделы, темы и их содержание, графический материал | Дата сдачи | Объем, % |
| 1 | Выбор темы | 04.10.2023 | 1 |
| 2 | Техническое задание | 14.10.2023 | 3 |
| 3 | Разработка модели, проектирование системы   * *введение,* * *технический проект,* * *программа и методика испытаний,* * *литература* | 30.10.2023 | 25 |
| 4 | Программная реализация системы   * *работающая программа,* * *рабочий проект* * *скорректированное техническое задание (при необходимости)* | 30.10.2023 | 40 |
| 5 | Тестирование и отладка системы, эксперименты   * *работающая программа с внесенными изменениями,* * *окончательные тексты всех разделов* | 11.11.2023 | 50 |
| 6 | Компоновка текста  Подготовка презентации и доклада   * *пояснительная записка* * *презентация* * *электронный носитель с текстом пояснительной записки, исходным кодом проекта, презентацией и готовым программным продуктом* | 18.11.2023 | 59 |
| 7 | Защита курсового проекта | 26.12.2023– 29.12.2023 | 60-100 |

С графиком ознакомлен «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2023г.

Самодуров В.А. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_, обучающийся группы ДИНРб-21

фамилия, инициалы, подпись

График курсового проектирования выполнен

без отклонений / с незначительными отклонениями / со значительными отклонениями

нужное подчеркнуть

Руководитель курсового проекта\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ ассистент Кравченкова Е.П.

подпись, ученая степень, звание, фамилия, инициалы

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 6](#_Toc151980712)

[1 ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ 7](#_Toc151980713)

[1.1 Анализ предметной области 7](#_Toc151980714)

[1.1.1 Метод сортировки Хоара. Понятие, принцип 7](#_Toc151980715)

[1.1.2 Алгоритм 7](#_Toc151980716)

[1.1.3 Оценка сложности алгоритма 8](#_Toc151980717)

[1.1.4 Достоинства и недостатки 9](#_Toc151980718)

[1.1.5 Исследование метода сортировки Хоара 10](#_Toc151980719)

[1.2 Технология обработки данных 10](#_Toc151980720)

[1.2.1 Форматы данных 10](#_Toc151980721)

[1.2.2 Алгоритм исследования метода сортировки Хоара 11](#_Toc151980722)

[1.3 Входные и выходные данные 12](#_Toc151980723)

[1.4 Системные требования 12](#_Toc151980724)

[2 РАБОЧИЙ ПРОЕКТ 13](#_Toc151980725)

[2.1 Общие сведения о работе системы 13](#_Toc151980726)

[2.2 Функциональное назначение программного продукта 13](#_Toc151980727)

[2.3 Инсталляция и выполнение программного продукта 13](#_Toc151980728)

[2.4 Описание программы 14](#_Toc151980729)

[2.5 Разработанные меню и интерфейсы 16](#_Toc151980730)

[2.6 Сообщение системы 19](#_Toc151980731)

[3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ 20](#_Toc151980732)

[3.1 Постановка задачи 20](#_Toc151980733)

[3.2 Краткая теория 20](#_Toc151980734)

[3.2.1 Метод сортировки Хоара 21](#_Toc151980735)

[3.2.2 Метод сортировки вставками 21](#_Toc151980736)

[3.3 Метод исследования 22](#_Toc151980737)

[3.4 Результаты исследования 22](#_Toc151980738)

[3.5 Итог 25](#_Toc151980739)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 26](#_Toc151980740)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 27](#_Toc151980741)

[ПРИЛОЖЕНИЕ 1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ 28](#_Toc151980742)

# ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, где информация играет ключевую роль в развитии общества и экономики, ее обработка и систематизация становятся неотъемлемой частью жизни. Сортировка данных является одним из ключевых этапов обработки информации, и от эффективности выбранного метода сортировки зависит скорость и точность выполнения многих задач. В данной курсовой работе будет рассмотрен метод сортировки Хоара и проведено его сравнение с другим методом - сортировкой вставками.

Метод сортировки Хоара является одним из самых быстрых и эффективных алгоритмов сортировки и широко используется в различных областях программирования. Основная идея метода заключается в разделении входных данных на две части, сортировке каждой из них отдельно, а затем объединении этих частей в отсортированный массив.

Однако, для того чтобы определить, насколько эффективен метод сортировки Хоара, необходимо провести его тестирование и сравнение с другими методами. В целях объективного исследования выбран дополнительный метод сортировки ­­­­­­­­­­- вставками, который, судя по теоретическим материалам, хорошо справляется с малым количеством данных. Сортировка вставками представляет собой последовательное сравнение каждого элемента с уже упорядоченными элементами и занимает ***O(n2)*** времени.

Для проведения исследования необходимо создать удобную и эффективную программу, которая предоставит необходимые инструменты для тщательного анализа сортировки метода Хоара в самой программе и возможность провести ряд тестирований с последующим выводом результатов в файл в удобном для восприятия и анализа виде.

Целью создания исследовательской программы является наглядное и понятное изучение положительных и отрицательных сторон метода сортировки Хоара и его анализ на основе сортировок массивов от 10 до 1 миллиона элементов и сравнения с методом сортировки вставками.

Назначение программы – получение точной и подробной статистики работы метода сортировки Хоара с нужными пользователю условиями и параметрами сортировки.

# 1 ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ

## Анализ предметной области

### 1.1.1 Метод сортировки Хоара. Понятие, принцип

*Метод сортировки Хоара* - это алгоритм сортировки, разработанный в 1960 году Чарльзом Э. Р. Хоаром. Является существенно улучшенным вариантом алгоритма сортировки с помощью прямого обмена (его варианты известны как «Пузырьковая сортировка» и «Шейкерная сортировка»), известного в том числе своей низкой эффективностью. Принципиальное отличие состоит в том, что в первую очередь производятся перестановки на наибольшем возможном расстоянии и после каждого прохода элементы делятся на две независимые группы (таким образом улучшение самого неэффективного прямого метода сортировки дало в результате один из наиболее эффективных улучшенных методов).

### 1.1.2 Алгоритм

Общая идея алгоритма состоит в следующем:

* + Выбрать из массива элемент, называемый *опорным*. Это может быть любой из элементов массива. От выбора опорного элемента не зависит корректность алгоритма, но в отдельных случаях может сильно зависеть его эффективность (см. ниже).
  + Сравнить все остальные элементы с опорным и переставить их в массиве так, чтобы разбить массив *на три непрерывных отрезка*, следующих друг за другом: «элементы меньшие опорного», «равные» и «большие».
  + Для отрезков «меньших» и «больших» значений выполнить *рекурсивно* ту же *последовательность операций*, если длина отрезка больше единицы.

На практике массив обычно делят не на три, а на *две части*: например, «меньшие опорного» и «равные и большие»; такой подход в общем случае эффективнее, так как упрощает алгоритм разделения. На рисунке 1.1 показан пример сортировки (см. на следующей странице).

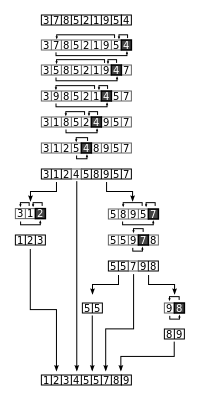


Рисунок 1.3 - Пример быстрой сортировки. Здесь опорным является последний элемент массива (ячейка черного цвета), что в отсортированных массивах может приводить к ухудшению производительности.

### 1.1.3 Оценка сложности алгоритма

Операция разделения массива на две части относительно опорного элемента занимает время ***O*(*n*)**�(�). Поскольку все операции разделения, проделываемые на одной глубине рекурсии, обрабатывают разные части исходного массива, размер которого постоянен, суммарно на каждом уровне рекурсии потребуется также �(�)***O*(*n*)** операций. Следовательно, общая сложность алгоритма определяется лишь количеством разделений, то есть глубиной рекурсии. Глубина рекурсии, в свою очередь, зависит от сочетания входных данных и способа определения опорного элемента.

* + Лучший случай.

В наиболее сбалансированном варианте при каждой операции разделения массив делится на две одинаковые (плюс-минус один элемент) части, следовательно, максимальная глубина рекурсии, при которой размеры обрабатываемых подмассивов достигнут ***1***, составит ***log­2 n***log2⁡�. В результате количество сравнений, совершаемых быстрой сортировкой, было бы равно значению рекурсивного выражения ***Cn = 2 \* Cn/2 + n***��=2⋅��/2+�, что дает общую сложность алгоритма ***O*(*n \* log­2 n*)**�(�⋅log2⁡�).

* + Средний случай.

Среднюю сложность при случайном распределении входных данных можно оценить лишь вероятностно. Прежде всего необходимо заметить, что в действительности необязательно, чтобы опорный элемент всякий раз делил массив на две *одинаковых* части. Например, если на каждом этапе будет происходить разделение на массивы длиной 75 % и 25 % от исходного, глубина рекурсии будет равна log4/3⁡� ***O*(*n \* log­4/3 n*)**, а это по-прежнему дает сложность �(�log⁡�) ***O*(*n \* log­n*)**.

* + Худший случай.

В самом несбалансированном варианте каждое разделение дает два подмассива размерами ***1*** и ***�−1n - 1***, то есть при каждом рекурсивном вызове больший массив будет на ***1*** короче, чем в предыдущий раз. При простейшем выборе опорного элемента — первого или последнего в массиве, — такой эффект даст отсортированный (в прямом или обратном порядке) массив, для среднего или любого другого фиксированного элемента «массив худшего случая» также может быть специально подобран. В этом случае потребуется ***�−1n - 1*** операций разделения, а общее время работы составит ***O*(*n*2)**∑�=0�(�−�)=�(�2) операций, то есть сортировка будет выполняться за квадратичное время. Для больших значений ***n*** худший случай может привести к исчерпанию памяти (переполнению стека) во время работы программы.

### 1.1.4 Достоинства и недостатки

**Достоинства**:

* Один из самых *быстродействующих* (на практике) из алгоритмов внутренней сортировки общего назначения.
* Алгоритм очень *короткий*: запомнив основные моменты, его легко написать «из головы», невелика константа при�log⁡� ***n \* log n***.
* С модификациями требует лишь �(log⁡�)***O(log n)*** дополнительной памяти в виде стека.
* Хорошо *сочетается* с механизмами кэширования и виртуальной памяти.
* Допускает естественное *распараллеливание* (сортировка выделенных подмассивов в параллельно выполняющихся подпроцессах).
* Допускает эффективную *модификацию* для сортировки по нескольким *ключам* (в частности — алгоритм Седжвика для сортировки строк): благодаря тому, что в процессе разделения автоматически выделяется отрезок элементов, равных опорному, этот отрезок можно сразу же сортировать по следующему ключу.
* Работает на *связных списках* и других структурах с последовательным доступом, допускающих эффективный проход как от начала к концу, так и от конца к началу.

**Недостатки:**

* *Сильно деградирует* по скорости (до �(�2) ***O*(*n*2)**) в худшем или близком к нему случае, что может случиться при неудачных входных данных.
* Прямая реализация в виде функции с двумя рекурсивными вызовами может привести к ошибке *переполнения стека*, так как в худшем случае ей может потребоваться сделать �(�) ***O*(*n*)** вложенных рекурсивных вызовов.
* *Неустойчив*. Меняет относительный порядок сортируемых элементов, имеющих одинаковые ключи, по которым происходит сортировка.

### 1.1.5 Исследование метода сортировки Хоара

Исследование метода сортировки Хоара предоставит точную статистику работы метода и понимание работы алгоритма с помощью его визуализации. Для объективной статистики используется метод сортировки вставками в качестве сравнения, что позволит на основе отношения минимизировать субъективность. Данное решение принято также в связи с легкостью понимания недостатков и достоинств, если использовать сравнение, и различием системных комплектующих у пользователей, из-за чего статистика без сравнения станет лишь показателем скорости системных комплектующих.

## 1.2 Технология обработки данных

Вариант использования «Меню» включает одну из 3 обязательных функций: «О программе», «Туториал», «Начать».

Вариант использования «О программе» и «Туториал» включает одну обязательную функцию, возвращающую в «Меню».

Вариант использования «Начать» включает одну из необязательных 13 функций, где 2 из них меняют параметры массива: «Длина массива», «Тип массива»; 3 – изменяют параметры сортировки: «Сортировка», «Real Time сортировка», «Скорость перестановок»; 3 – отвечают за тестирование: «Результаты», «Тестировать» и функция, меняющая количество тестов; 2 – отвечают за изменение массива: «Сортировать», «Обновить»; и 3 остальные это «Остановить» «Очистить» и функция, возвращающую в «Меню».

### 1.2.1 Форматы данных

Исследование метода сортировки Хоара представляет собой интерфейс с диаграммой и кнопками управления массивом и сортировкой. На рисунке 1.2 приведен интерфейс программы.

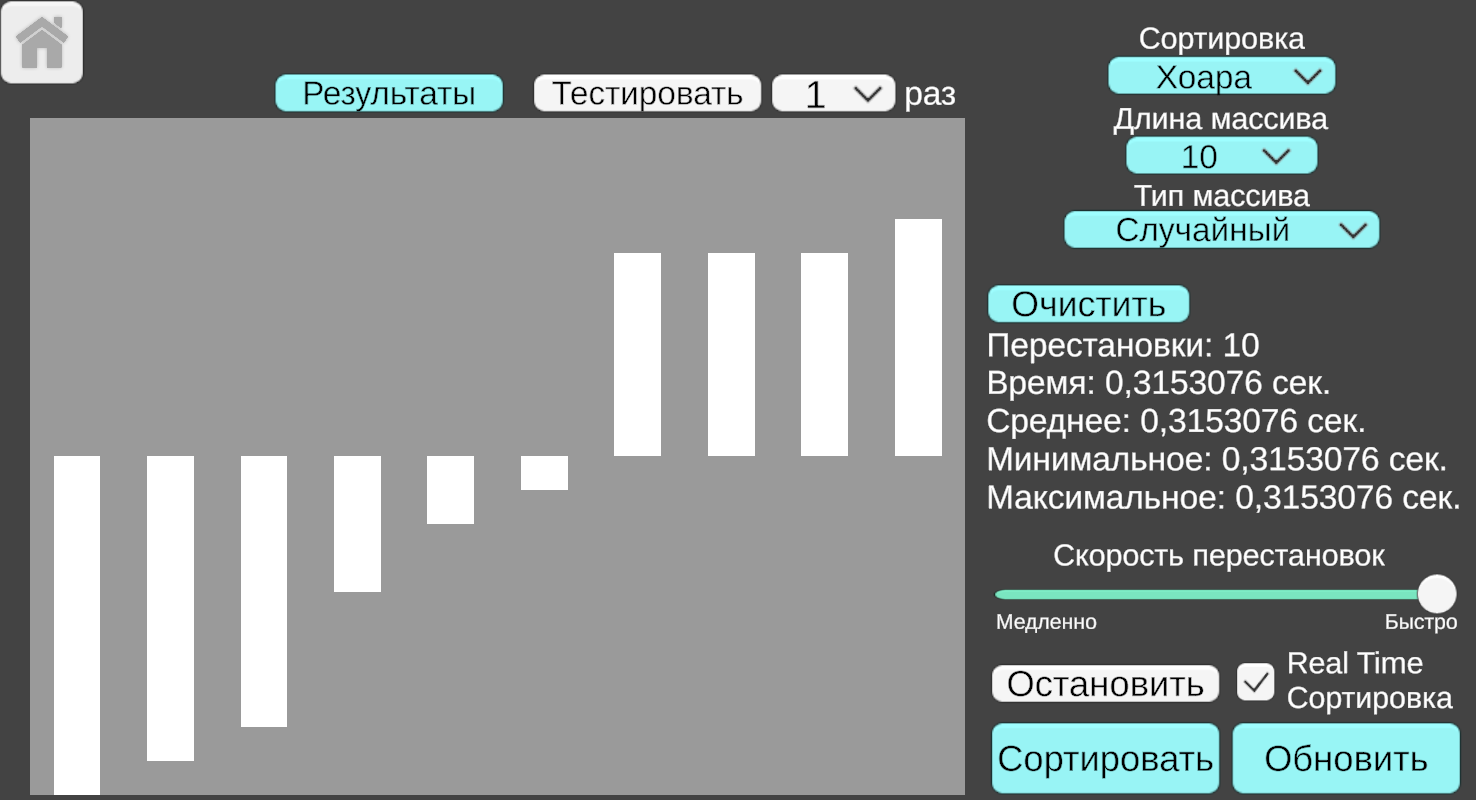


Рисунок 1.2 – Интерфейс исследовательской программы

### 1.2.2 Алгоритм исследования метода сортировки Хоара

**Дано:** меню.

**Получить:** понятное, удобное и точное исследование.

1. Вывод интерфейса с меню из трех кнопок: «О программе», «Туториал», «Начать»;
2. если пользователь выбрал «О программе», вывести интерфейс с информацией о программе и кнопкой, возвращающей в меню, после которого перейти к пункту 1;
3. если пользователь выбрал «Туториал», вывести интерфейс с изображением главного интерфейса программы (рисунок 1.2) и поясняющие подписи к элементам интерфейса и кнопкой, возвращающей в меню, после которого перейти к пункту 1;
4. если пользователь выбрал «Начать», вывести главный интерфейс программы (рисунок 1.2) состоящий из области диаграммы и 10 элементов массива случайного типа на ней, 7 кнопок: «Результаты», «Тестировать», «Очистить», «Остановить», «Сортировать», «Обновить» и кнопка, возвращающая в меню; 4 выпадающих списков, изменяющих типы сортировки и массива, количество тестов и элементов массива; ползунка «Скорость перестановок» и переключателя «Real Time Сортировка». Если пользователь выбрал «Начать» впервые, то кнопки «Обновить», «Остановить» и ползунок «Скорость перестановок» не показаны;
5. если пользователь включил «Real Time Сортировку», то заблокировать кнопку «Тестирование» и выпадающий список, отвечающий за количество тестов, показать кнопку «Остановить» и показать и активировать ползунок «Скорость перестановок», если выключил, то произвести противоположные действия;
6. если пользователь выбрал «Сортировать», то произвести сортировку над массивом выбранного типа и размера в соответствии с типом сортировки и состоянием переключателя «Real Time Сортировка». Если переключатель выключен, то произвести сортировку элементов и затем обновить область диаграммы и статистику, если включен, то деактивировать все кнопки и выпадающие списки, кроме кнопок «Очистить» и возвращающей в меню (при ее нажатии сортировка не прекращается) активировать кнопку «Остановить», произвести сортировку и показывать каждую перестановку элементов на области диаграммы, после сортировки обновить статистику и активировать и деактивировать предыдущие элементы управления противоположно. Если сортировка производится в первый раз, то показать кнопку «Обновить»;
7. если пользователь выбрал «Обновить», то обновить массив в соответствии с размером и типом массива и вывести на область диаграммы;
8. если пользователь выбрал «Остановить», то остановить сортировку;
9. если пользователь выбрал «Очистить», то очистить статистику;
10. если пользователь выбрал «Результаты», то открыть текстовый документ с результатами тестирования, если до этого уже было произведено тестирование;
11. если пользователь выбрал «Тестировать», то произвести тестирование в соответствии с выбранным типом сортировки и количеством тестов. Если проводится тестирование метода Хоара, то производится тестирование с массивом из 10, 10­2, 103, 104, 105 и 106 элементов, а если метода вставками – с массивом из 10, 10­2, 103 и 104 элементов;
12. если пользователь выбрал выпадающие списки, то показать ему список доступных значений для выбора;
13. если пользователь изменяет положение ползунка, то изменять скорость перестановок сортировки от 0 до 1 секунд;
14. если пользователь нажал кнопку возвращения в меню, то перейти к пункту 1.

## Входные и выходные данные

Входные данные:

* + нажатие кнопок;
  + выбор длины и типа массива;
  + выбор типа сортировки;
  + выбор количества тестов.

Выходные данные:

* + интерфейсы;
  + элементы массива;
  + результаты сортировки и тестирования

## Системные требования

Рекомендуемая конфигурация:

* + Intel-совместимый процессор с частотой не менее 1,6 ГГц;
  + не менее 512 МБ ОЗУ;
  + не менее 100 MБ свободного места на диске;
  + дисковод CD-ROM/DVD-ROM.

Операционная система: Windows 7. Среда разработки – Unity, Microsoft Visual Studio 2022.

# 2 РАБОЧИЙ ПРОЕКТ

## 2.1 Общие сведения о работе системы

Программный продукт разработан в кроссплатформенной среде разработки компьютерных игр Unity и интегрированной среде Microsoft Visual Studio 2022 на языке C#. Программа работает под управлением операционной системы Windows 7 (x64) и более поздними.

## 2.2 Функциональное назначение программного продукта

Разработанный программный продукт предназначен для исследования метода сортировки Хоара и, в связи с решением сравнения, метода сортировки вставками. Программа имеет следующие функциональные возможности:

* + предоставление пользователю свободного перемещения по программе;
  + предоставление пользователю удобного и достаточного интерфейса для исследования;
  + наглядная демонстрация сортировок и их статистика;
  + обнуление статистики;
  + изменение размера и типа массива, типа сортировки;
  + изменение скорости перестановок сортировки;
  + прекращение сортировки по желанию пользователя;
  + вывод элементов массива на область диаграммы;
  + тестирование методов сортировки;
  + запись результатов теста в текстовый файл и его открытие;
  + прекращение работы программы по желанию пользователя.

Программа имеет следующие функциональное ограничение: ввод осуществляется только нажатием левой кнопки мыши.

## 2.3 Инсталляция и выполнение программного продукта

Для выполнения программы необходимо:

1. скопировать на жесткий диск компьютера установщик «Hoare Sorting Setup»;
2. запустить установщик;
3. установить программу;
4. запустить программу;

## 2.4 Описание программы

Программа состоит из 3 файлов на языке «C#». Файл General Settings.cpp (таблица 2.1) предназначен для глобальных параметров, определяющих работу интерфейса программы и 2-х остальных файлов.

**Таблица 2.1 – Функции файла General Settings.cpp**

|  |  |
| --- | --- |
| **Прототип** | **Назначение** |
| void Start() | Функция Unity. Срабатывает при запуске программы |
| void UpdateTime() | Обновляет переменную скорости перестановок |
| void UpdateSize() | Обновляет переменную размера массива |
| void UpdateType() | Обновляет массив в соответствии с типом |
| void UpdateGraph() | Обнуляет и обновляет диаграмму |
| void UpdateAll() | Обновляет размер, тип массива и диаграмму |
| void EditGraph(int lindex, int rindex) | Меняет местами элементы на диаграмме |
| void IncreasingRow() | Заполняет массив возрастающими элементами |
| void DecreasingRow() | Заполняет массив возрастающими элементами |
| void RandomRow() | Заполняет массив случайными элементами |
| void StopSorting() | Делает переменную остановки правдой |
| void CallHoar(t) | Вызывает метод сортировки Хоара |
| void CallInsertion() | Вызывает метод сортировки вставками |
| void CallSort() | Вызывает один из методов сортировки |
| void SetRealTimeSort() | Активирует, деактивирует элементы интерфейса |
| void UpdateStats() | Обновляет переменные для статистики |
| void ResetStats() | Обнуляет переменные для статистики |
| string UnitOfTime() | Возвращает единицу измерения |
| void EditStatistic() | Обновляет статистику сортировки |
| void ResetStatistic() | Обнуляет статистику сортировки |
| void AvailableButton() | Активирует кнопки |

**Продолжение таблицы 2.1**

|  |  |
| --- | --- |
| void DisaiableButton() | Деактивирует кнопки |
| void ClearStatisticFile() | Обнуляет результат тестирования в файле |
| void WriteStatisticFile(int i) | Записывает статистику сортировки в файл |
| void StartTest() | Запускает тестирование |
| void Results() | Открывает файл с результатами |
| void UpdateSize(int i) | Обновляет переменную размера массива |
| void UpdateType(int i) | Обновляет массив в соответствии с типом |
| void TestHoar() | Тестирование методом Хоара |
| void TestInsertion() | Тестирование методом вставок |
| void OpenMe() | Открывает ссылку на GitHub автора |

Файл Hoar And Insertion.cpp (таблица 2.2) содержит в себе 2 метода сортировки: метод Хоара и метод вставками. В файле представлены реализации обычной (внутри компьютера) и наглядной (на экране) сортировки.

**Таблица 2.2 – Функции файла Hoar And Insertion.cpp**

|  |  |
| --- | --- |
| **Прототип** | **Назначение** |
| void EndSorting() | Вызов общих функций после сортировок |
| void PartOfSortHoaraRealTime(List<int> arr, int left, int right) | Часть метода сортировки Хоара. Отвечает за перестановку элементов и показ перестановок |
| IEnumerator QuickSortHoaraRealTime(List<int> arr, int start, int end, float time) | Часть метода сортировки Хоара. Отвечает за рекурсивный вызов сортировки для показа перестановок |
| IEnumerator QuickSortHoaraRealTime(List<int> arr) | Часть метода сортировки Хоара. Отвечает за вызов рекурсивной функции для показа перестановок |
| void PartOfSortHoara(List<int> arr, int left, int right) | Часть метода сортировки Хоара. Отвечает за перестановку элементов |
| void QuickSortHoara(List<int> arr, int start, int end, float time) | Часть метода сортировки Хоара. Отвечает за рекурсивный вызов сортировки |
| void QuickSortHoara(List<int> arr) | Часть метода сортировки Хоара. Отвечает за вызов рекурсивной функции |

**Продолжение таблицы 2.2**

|  |  |
| --- | --- |
| void QuickSortHoaraForTests(List<int> arr) | Часть метода сортировки Хоара. Отвечает за вызов рекурсивной функции для тестирования |
| IEnumerator InsertionSortRealTime(List<int> arr) | Метод сортировки вставками для показа перестановок |
| IEnumerator StartInsertionSortRealTime(List<int> arr) | Отвечает за начало сортировки вставками для показа перестановок |
| void InsertionSort(List<int> arr) | Метод сортировки вставками |
| void InsertionSortForTests(List<int> arr) | Метод сортировки вставками для тестирования |

Файл Graph.cpp (таблица 2.3) предназначен для работы с диаграммой: создание и изменение.

**Таблица 2.3 – Функции файла Graph.cpp**

|  |  |
| --- | --- |
| **Прототип** | **Назначение** |
| void Start() | Функция Unity. Срабатывает при запуске программы |
| GameObject CreateCircle(Vector2 anchoredPosition, float xSize) | Возвращает элемент диаграммы в соответствии с элементом массива |
| void ShowGraph(List<int> valueList, int count) | Создает диаграмму на основе массива |
| void EditGraph(int lindex, int rindex) | Меняет элементы диаграммы местами |

## 2.5 Разработанные меню и интерфейсы

После запуска программы появится ее меню с указанием названия, автора и его GitHub. Среди пунктов меню представлен выбор из трех различных вариантов: информация о программе, инструктаж по интерфейсу исследования и сам интерфейс исследования. Программа открывается в оконном режиме, поэтому выход осуществляется при нажатии соответствующей кнопки. На рисунке 2.1 представлено меню программы.

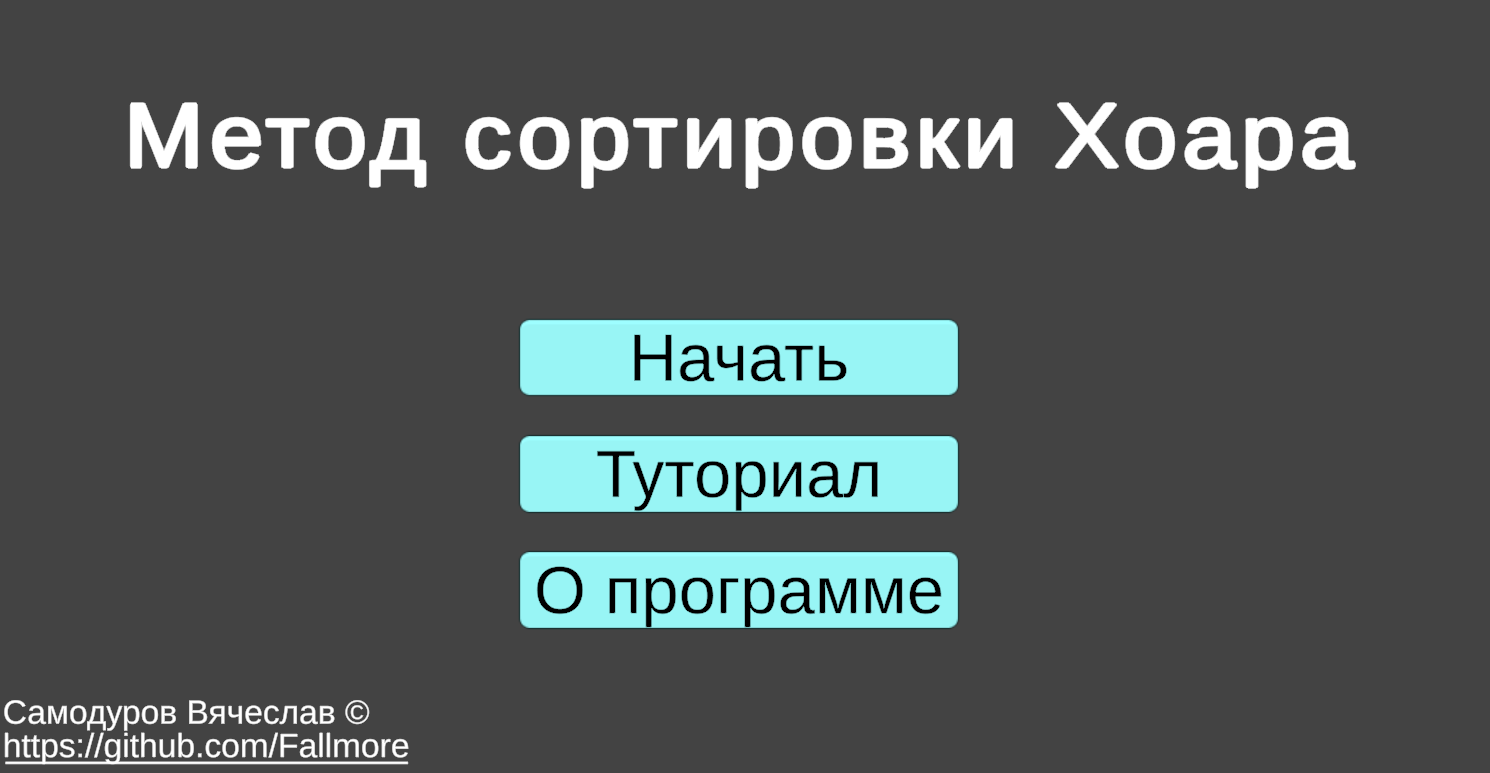


Рисунок 2.1 – Меню

При нажатии на «О программе» пользователю выведется информация о программе. (рисунок 2.2), при нажатии на «Туториал» – обучающий интерфейс (рисунок 2.3), при нажатии на «Начать» – интерфейс исследования (рисунок 2.4).



Рисунок 2.2 - Информация о программе

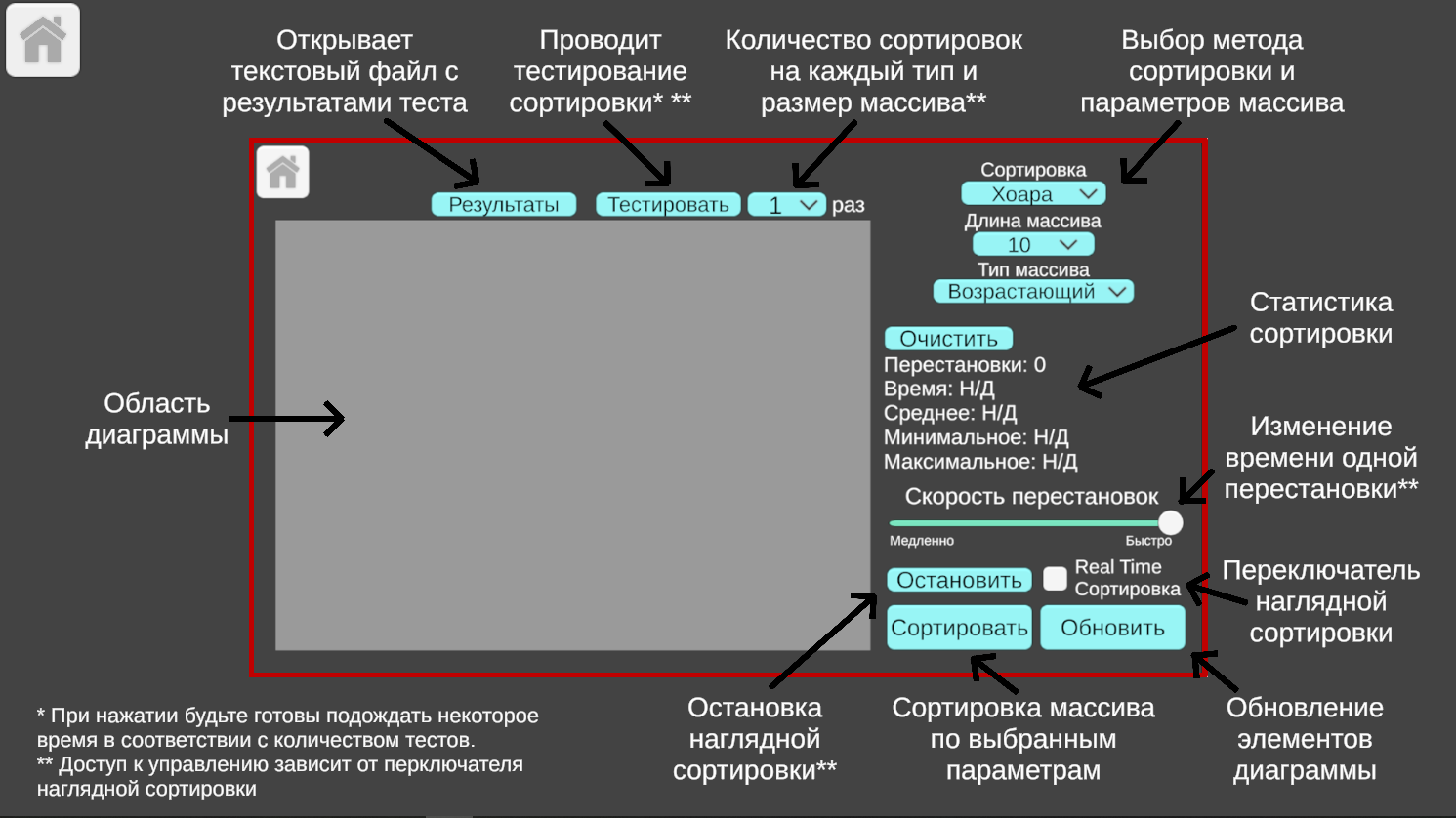


Рисунок 2.3 - Обучающий интерфейс

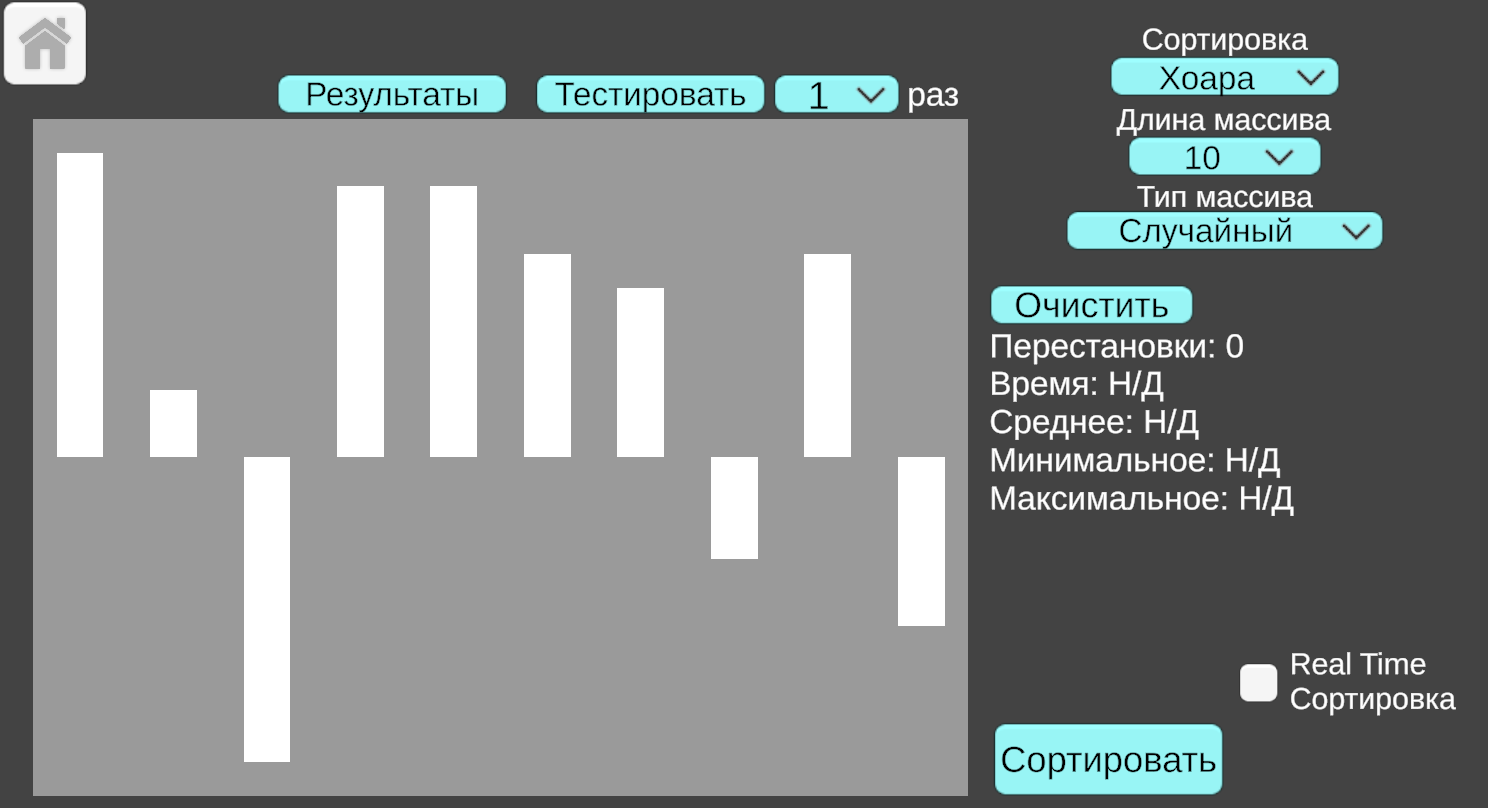


Рисунок 2.4 - Интерфейс исследования

На рисунке 2.5 представлен результат первой сортировки массива, изображенного на рисунке 2.4. На рисунке 2.6 представлена диаграмма массива из 1000 случайных элементов во время сортировки методом Хоара с включенным переключателем наглядной сортировки.

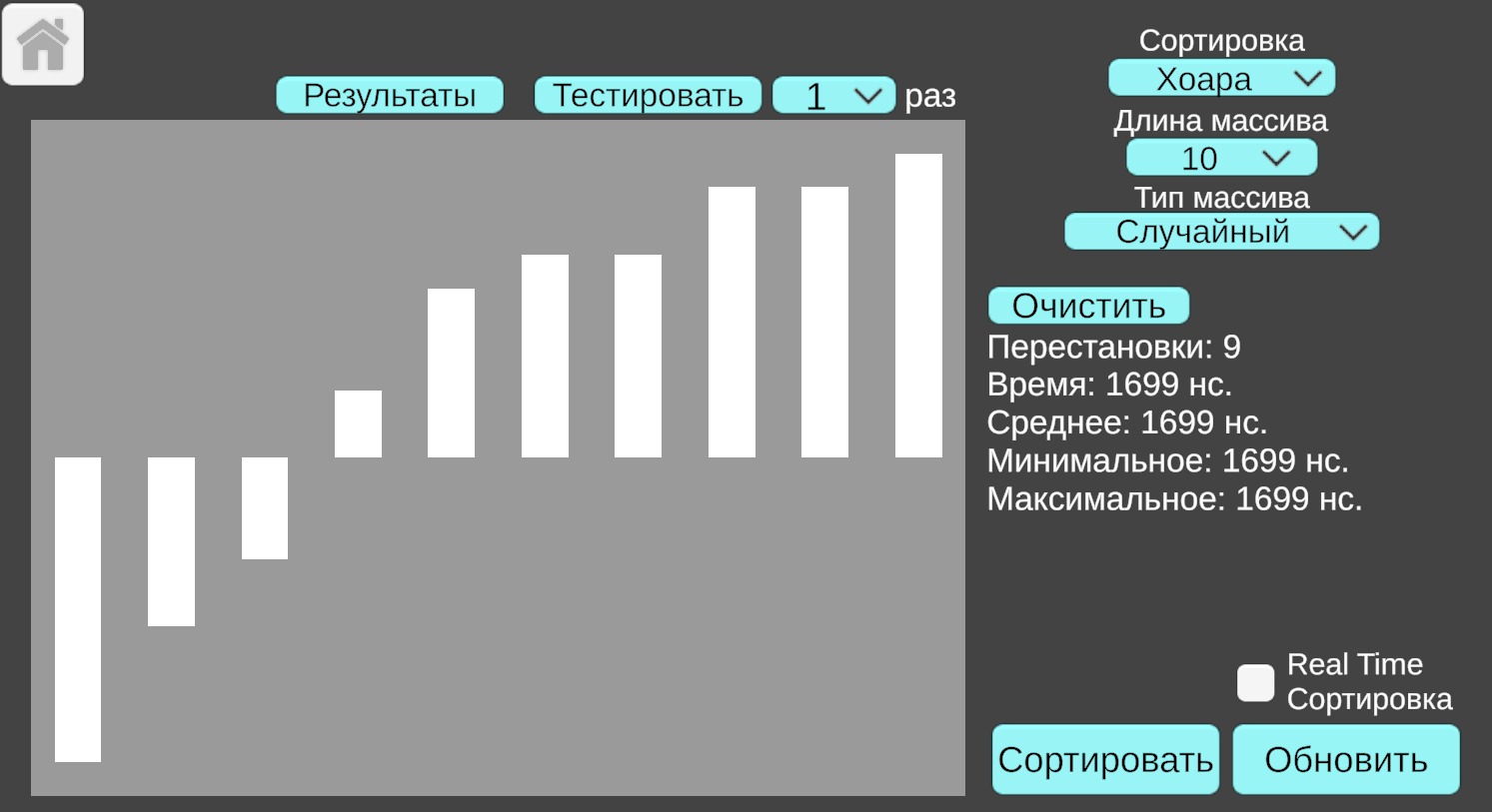


Рисунок 2.5 – Результат первой сортировки массива

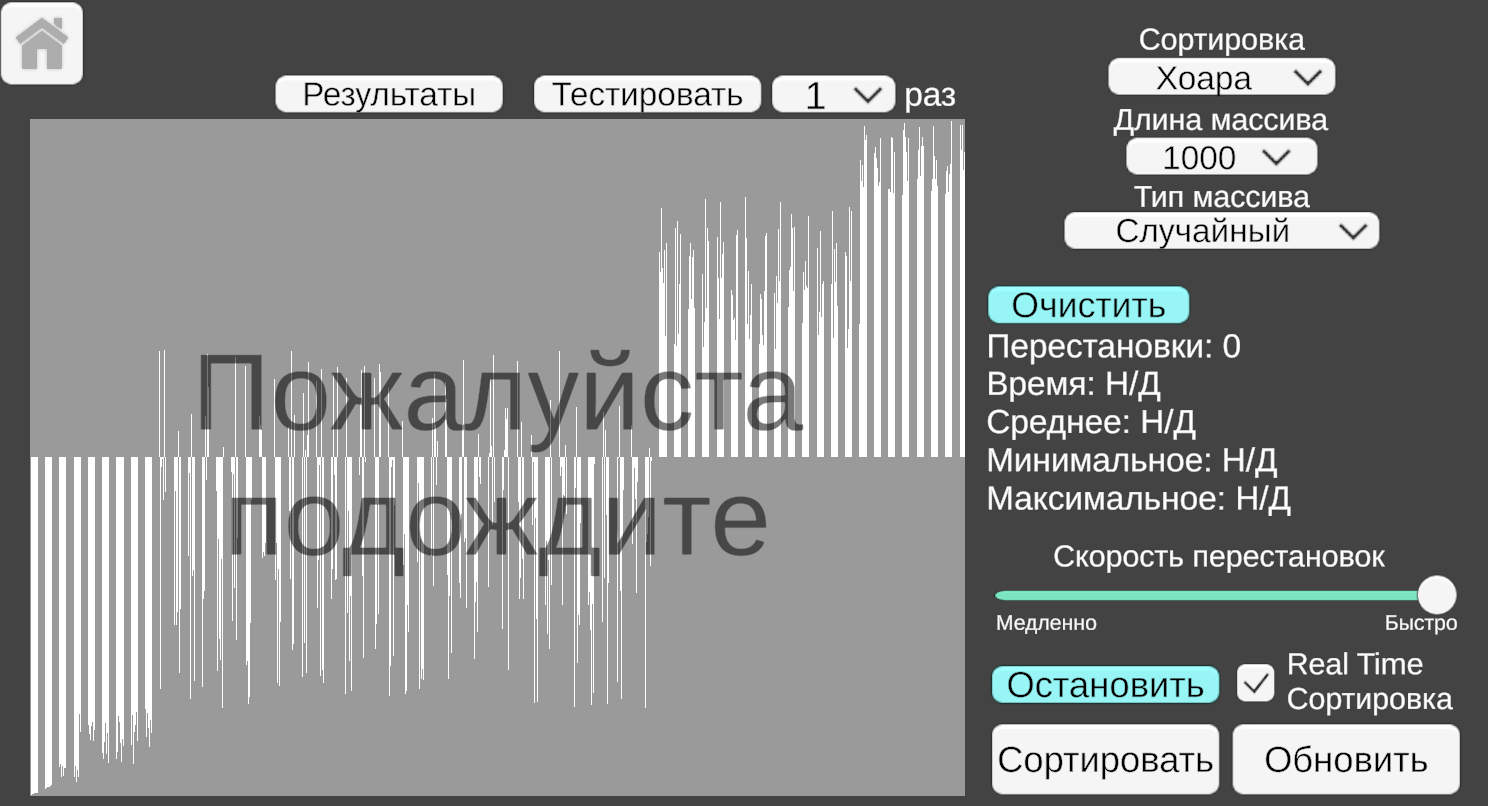


Рисунок 2.6 – Диаграмма массива из 1000 случайных элементов во время сортировки методом Хоара

На рисунке 2.7 представлена диаграмма массива из 100 убывающих элементов во время сортировки методом вставками с включенным переключателем наглядной сортировки. На рисунке 2.8 представлен результат тестирования из 10 тестов методом Хоара.

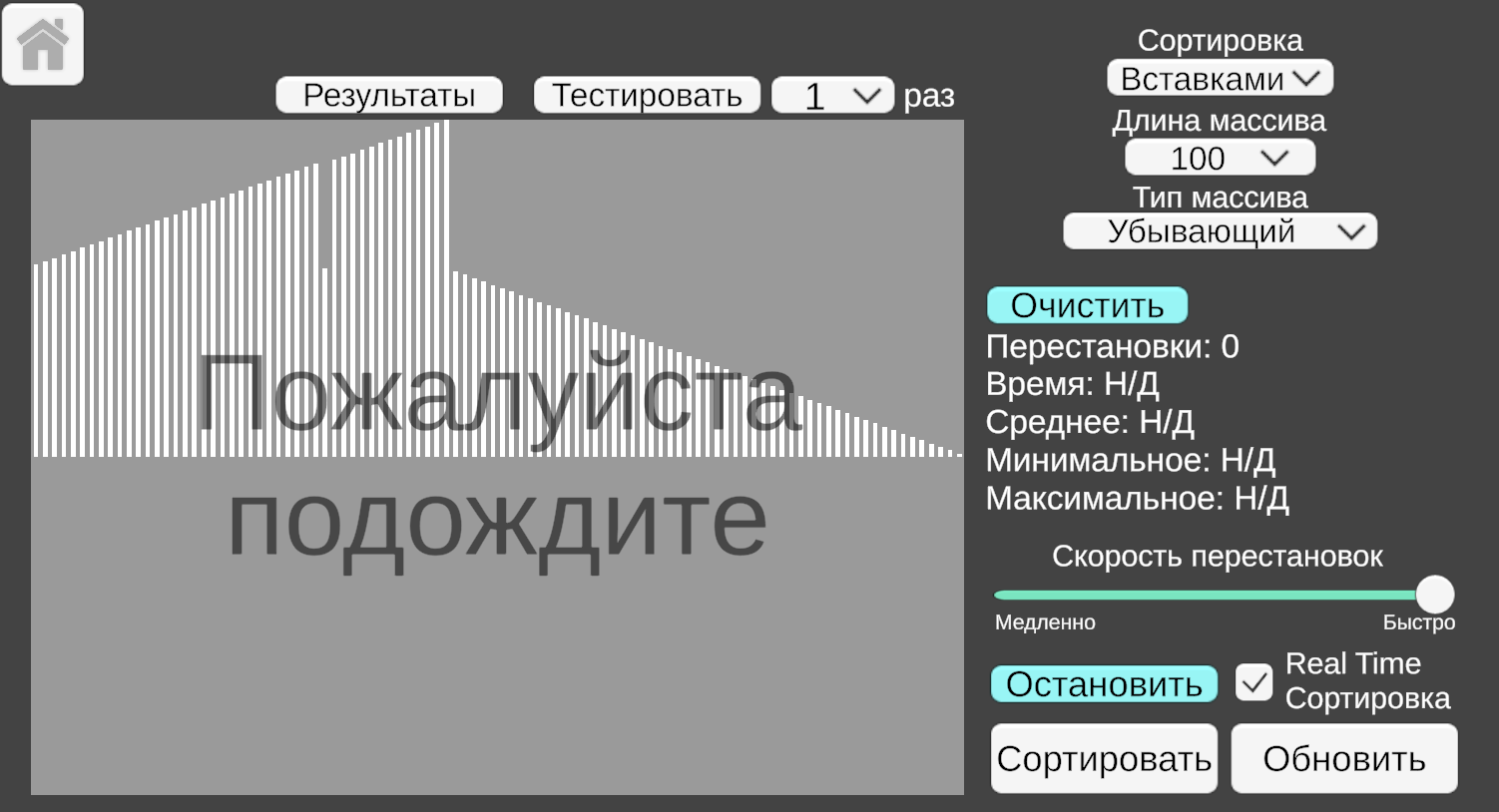


Рисунок 2.7 – Диаграмма массива из 1000 случайных элементов во время сортировки методом вставками

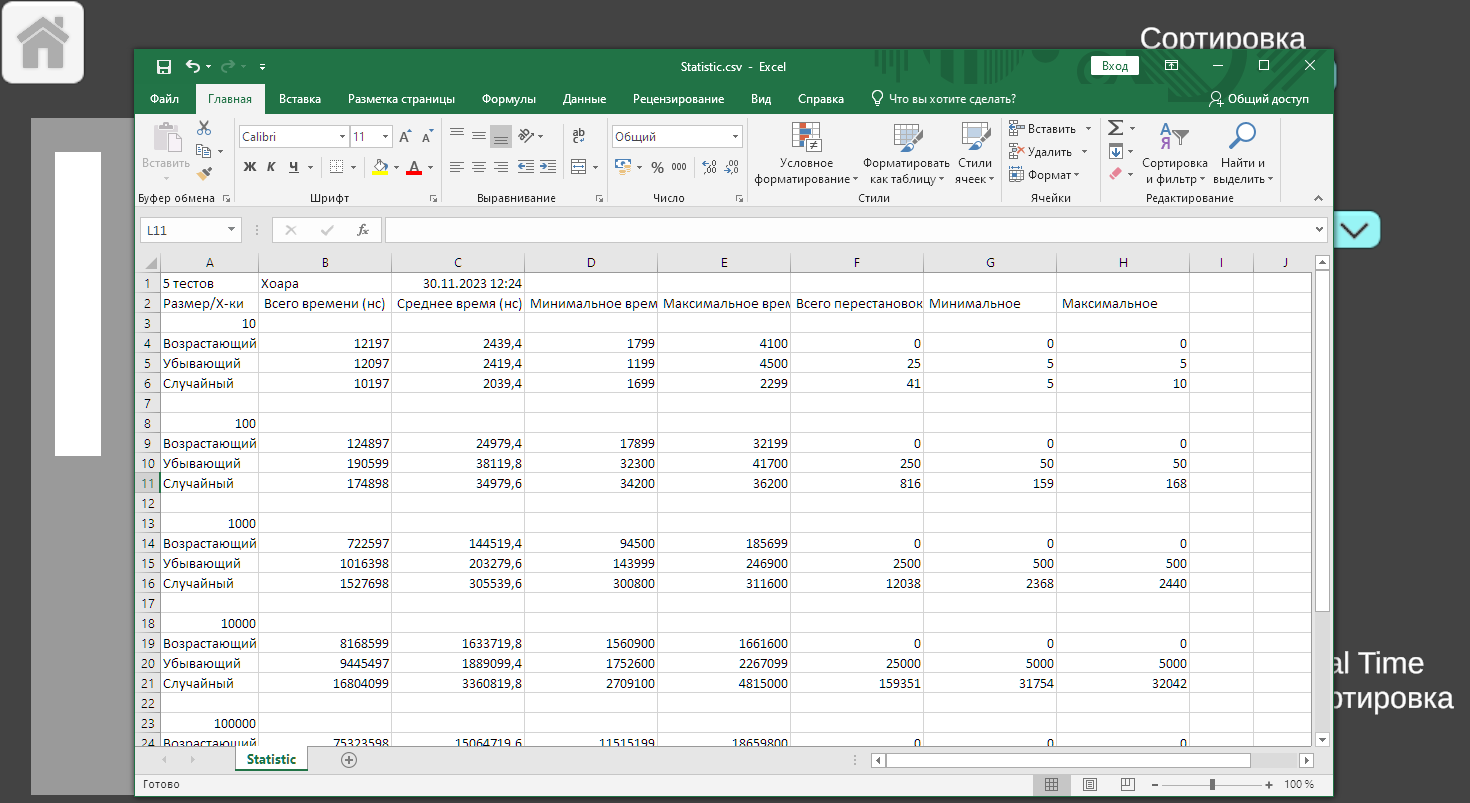


Рисунок 2.8 – Результат тестирования из 10 тестов методом Хоара

## 2.6 Сообщение системы

В данной программе отсутствуют сообщения системы. В случае появления сообщений следует обратиться к разработчику.

# 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

## 3.1 Постановка задачи

Осуществить исследование методов сортировки:

* + метод Хоара;
  + метод вставками.

Исследование осуществить, используя массивы упорядоченных и неупорядоченных чисел по 10, 10­2, 103 и 104 элементов для метода вставками и по 10, 10­2, 103, 104, 105 и 106 элементов для метода Хоара, так как в теории данный метод быстрее.

## 3.2 Краткая теория

При обработке данных важно знать информационное поле данных и размещение их в машине. Различают внутреннюю и внешнюю сортировки:

* + внутренняя сортировка - сортировка в оперативной памяти;
  + внешняя сортировка - сортировка во внешней памяти.

Сортировка – это расположение данных в памяти в регулярном виде по их ключам. Регулярность – возрастание (убывание) значения ключа от начала к концу в массиве.

Если сортируемые записи занимают большой объем памяти, то их перемещение требует больших затрат. Для того, чтобы их уменьшить, сортировку производят в таблице адресов ключей, делают перестановку указателей, т.е. сам массив не перемещается. Это метод сортировки таблицы адресов.

При сортировке могут встретиться одинаковые ключи. В этом случае после сортировки желательно расположить одинаковые ключи в том же порядке, что и в исходном файле. Это устойчивая сортировка.

Эффективность сортировки можно рассматривать с нескольких критериев:

* + время, затрачиваемое на сортировку;
  + объем оперативной памяти, требуемой для сортировки;
  + время, затраченное программистом на написание программы.

Выделяем первый критерий. Можно подсчитать количество перестановок при выполнении сортировки и его время, вместо количества сравнений.

## 3.2.1 Метод сортировки Хоара

Программа на C#

int PartOfSortHoara(List<int> arr, int left, int right)

{

int pivot = arr[(left + right) / 2]; // Находим опорный элемент в середине

while (left <= right)

{

while (arr[left] < pivot) ++left; // Слева ищем элемент больше опорного

while (arr[right] > pivot) --right; // Справа ищем элемент меньше опорного

if (left <= right)

{

(arr[right], arr[left]) = (arr[left], arr[right]); // Меняем местами элементы

++left;

--right; // Идем дальше

}

}

return left; // Возвращаем левую границу правого пполучившегося подмассива

}

void QuickSortHoara(List<int> arr, int start, int end)

{

if (start >= end) return;

int rightStart = PartOfSortHoara(arr, start, end); // Сортировка и получение номера границы

QuickSortHoara(arr, start, rightStart - 1); // Рекурсия левого подмассива

QuickSortHoara(arr, rightStart, end); // Рекурсия правого подмассива

}

void QuickSortHoara(List<int> arr)

{

QuickSortHoaraForTests(arr); // Вызов сортировки

}

## 3.2.2 Метод сортировки вставками

Программа на C#

void InsertionSort(List<int> arr)

{

for (int i = 1; i < arr.Count; ++i)

{

int k = arr[i]; // Сохраняем значение элемента

int j = i - 1; // Сохраняем предыдущий индекс

while (j >= 0 && arr[j] > k) // Пока индекс больше нуля и элемент больше сохраненного

{

arr[j + 1] = arr[j]; // \

arr[j] = k; // Меняем местами элементы

--j; // Идем назад, по отсортированным элементам

}

}

}

## 3.3 Метод исследования

Исследование заключается в следующем: берется три массива с одинаковым количеством элементов, но один из них упорядоченный по возрастанию, второй - по убыванию, а третий - случайный. Осуществляется сортировка данных массивов 100 раз и сравнивается количество перестановок элементов при сортировке первого, второго и третьего массивов, а также сравнивается затраченное время при сортировке.

Вышеописанный способ применяется для массивов, состоящих из упорядоченных и неупорядоченных элементов в количестве 10, 10­2, 103 и 104 для метода вставками и 10, 10­2, 103, 104, 105 и 106 для метода Хоара.

## 3.4 Результаты исследования

Для удобства восприятия наносекунды в некоторых случаях (большие числа) округлены в секунды.

Количество наносекунд в секундах:

* + 100.000 – 0.0001 сек.
  + 1.000.000 – 0.001 сек.
  + 10.000.000 – 0.01 сек.
  + 100.000.000 – 0.1 сек.

Сокращения:

* + метод Хоара – Х;
  + метод вставками – В;
  + наносекунды – нс;
  + минимальное – мин;
  + максимальное - макс.

В результате сортировки массивов с возрастающими элементами (таблица 3.1) общее количество перестановок равно нулю (что естественно). Время у сортировки Хоара, начиная с 10 элементов, возрастало с каждым тестом в ***чуть больше 10 раз***, когда время у сортировки вставками гораздо меньше и, начиная с тех же 10 элементов, время с каждым тестом возрастало приблизительно в ***9 раз***. Минимальное и максимальное время в 10 и 100 элементах метод вставками лучше в несколько раз[[1]](#footnote-1), в последующих тестах минимальное время метода вставок лучше в ***10 раз***, максимальное время в 1.000 элементах лучше приблизительно в ***100 раз***, а в 10.000 элементах – приблизительно в ***15 раз***. По предварительным данным можно спрогнозировать, что метод вставками в последующих тестах уходил бы в отрыв от метода Хоара всё дальше и дальше, сильно опережая.

**Таблица 3.1 – Массив с возрастающими элементами**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Количество элементов** | **Метод** | **Количество перестановок** | | | **Время**  **(нс – 10-9 сек)** | | |
|  |  | **Всего** | **Мин.** | **Макс.** | **Всего** | **Мин.** | **Макс.** |
| 10 | Х | 0 | 0 | 0 | 61.055 | 399 | 2.799 |
| В | 0 | 0 | 0 | 18.736 | 99 | 5.699 |
| 100 | Х | 0 | 0 | 0 | 846.344 | 6.099 | 11.900 |
| В | 0 | 0 | 0 | 95.944 | 799 | 4.200 |
| 1.000 | Х | 0 | 0 | 0 | 0,01 сек. | 54.000 | 1.170.100 |
| В | 0 | 0 | 0 | 648.861 | 5.199 | 14.200 |
| 10.000 | Х | 0 | 0 | 0 | 0,08 сек. | 685.599 | 1.483.300 |
| В | 0 | 0 | 0 | 0,005 сек. | 51.999 | 83.199 |
| 100.000 | Х | 0 | 0 | 0 | 0,84 сек. | 7.201.299 | 0,01 сек. |
| 1.000.000 | Х | 0 | 0 | 0 | 9,4 сек. | 0,08 сек. | 0,11 сек. |

Результат сортировки массивов с убывающими элементами (таблица 3.2) показывает, что количество перестановок (смотреть на минимум и максимум) метода Хоара растёт по формуле –***n / 2***, где ***n*** – количество элементов массива, что делает его лучше метода вставок, когда у метода вставок количество с каждым тестом возрастает приблизительно в ***100 раз***. По времени метод Хоара везде показывает своё превосходство и, начиная с 1.000 элементов, становится в ***100 раз*** быстрее метода вставками. По предварительным данным можно спрогнозировать, что метод вставками в последующих тестах уходил бы в отрыв от метода Хоара всё дальше и дальше, очень сильно отставая.

**Таблица 3.2 – Массив с убывающими элементами**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Количество элементов** | **Метод** | **Количество перестановок** | | | **Время**  **(нс – 10-9 сек)** | | |
|  |  | **Всего** | **Мин.** | **Макс.** | **Всего** | **Мин.** | **Макс.** |
| 10 | Х | 500 | 5 | 5 | 67.058 | 499 | 2.900 |
| В | 4500 | 45 | 45 | 104.737 | 799 | 15.599 |
| 100 | Х | 5000 | 50 | 50 | 1.535.648 | 8.099 | 301.300 |
| В | 495.000 | 4950 | 4950 | 8.932.850 | 60.700 | 271.299 |
| 1.000 | Х | 50000 | 500 | 500 | 7.936.050 | 59.699 | 173.899 |
| В | 4.995\*104 | 499.500 | 499.500 | 0,75 сек. | 6.546.000 | 0,01 сек. |
| 10.000 | Х | 5\*105 | 5000 | 5000 | 0,08 сек. | 688.699 | 0,01 сек. |
| В | 49995\*105 | 49995000 | 49995000 | 7.6 сек. | 0,72 сек. | 0,87 сек. |
| 100.000 | Х | 5\*106 | 50000 | 50000 | 0,92 сек. | 7.798.500 | 0,03 сек. |
| 1.000.000 | Х | 5\*107 | 5\*105 | 5\*105 | 9,9 сек. | 0,08 сек. | 0,11 сек. |

Результат сортировки массивов со случайными элементами (таблица 3.3) показывает, что по количеству сортировок метод Хоара в 10 элементах не сильно опережает метод вставками, но в последующих тестах он опережает метод вставками приблизительно в ***10n/100*** раз, где ***n*** – количество элементов массива. Можно заметить что общее количество сортировок метода вставками в 10.000 элементах превышает число ***231***. По времени метод Хоара, несмотря на количество перестановок, в 10 элементах проигрывает методу вставок, а в последующих тестах опережает, с каждым разом увеличивая отрыв. По предварительным данным можно спрогнозировать, что метод вставками в последующих тестах уходил бы в отрыв от метода Хоара всё дальше и дальше, очень сильно отставая.

**Таблица 3.3 – Массив со случайными элементами**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Количество элементов** | **Метод** | **Количество перестановок** | | | **Время**  **(нс – 10-9 сек)** | | |
|  |  | **Всего** | **Мин.** | **Макс.** | **Всего** | **Мин.** | **Макс.** |
| 10 | Х | 859 | 5 | 12 | 114.959 | 699 | 4.599 |
| В | 2195 | 10 | 35 | 99.445 | 499 | 4.200 |
| 100 | Х | 16.450 | 149 | 180 | 1.773.046 | 11.299 | 73.500 |
| В | 246.237 | 2.033 | 2.767 | 5.970.847 | 28.799 | 171.599 |
| 1.000 | Х | 242.140 | 2.342 | 2.492 | 0,02 сек. | 124.000 | 367.700 |
| В | 25.040.510 | 236.140 | 266.061 | 0,41 сек. | 3.221.299 | 0,01 сек. |
| 10.000 | Х | 3.183.612 | 31.255 | 32.381 | 0,18 сек. | 1.537.300 | 3.064.200 |
| В | 2.499.054.291 | 24525076 | 25479020 | 37,7 сек. | 0,34 сек. | 0,45 сек. |
| 100.000 | Х | 39.525.633 | 389.833 | 399.745 | 2,2 сек. | 0,02 сек. | 0,04 сек. |
| 1.000.000 | Х | 471.820.622 | 4.665.647 | 4.761.928 | 26,9 сек. | 0,2 сек. | 0,5 сек. |

## 3.5 Итог

По результатам исследования видно, что *в возрастающем* массиве очень хорошо показывает себя ***метод вставками***: чем больше элементов, тем быстрее метод; *в убывающем* массиве – ***метод Хоара***: выигрывает по времени и количеству перестановок; *в случайном* массиве – ***метод Хоара***: в массиве из 10 элементов он незначительно проигрывает методу вставками, но дальше с каждым разом имеет настолько больший отрыв, что сортировка 1 млн. элементов быстрее сортировки 10 тыс. элементов методом вставками. Данное преимущество обусловлено очень малым количеством перестановок, по сравнению с методом вставками. Из чего можно сделать вывод, что метод Хоара является самой быстрой сортировкой в мире на данный момент времени, учитывая теоретические данные о других методах сортировки.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате курсового проектирования разработана программа для исследования метода сортировки Хоара. Программа позволяет провести исследование и получить точную, понятную и удобную статистику работы сортировки. Исследование показало, что метод сортировки Хоара проигрывает методу сортировки вставками в массиве из возрастающих элементов, но выигрывает в массивах с остальными элементами, убывающими и случайными. В реальной жизни массив из возрастающих элементов не имеет смысл сортировать, поэтому на практике метод сортировки Хоара является самой быстрой на данной момент сортировкой в мире, учитывая теоретические данные о других методах сортировки.

Разработанная программа помогает в исследовании данного метода. Инструменты и тестирование предоставляют все необходимые функции в изучении сортировки, составлении итогов и анализе результатов.

Исследовательская программа отвечает поставленным требованиям и может быть использована для исследований.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Unity User Manual 2022.3 (LTS) – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://docs.unity3d.com/Manual/> (02.09.2023).
2. Мамлеева А.Р., Евсина Е.М., Кравченкова Е.П. Требования к оформлению пояснительной записки при выполнении отчетов по различным видам практик. – Астрахань.: Астраханский государственный технический университет, 2022. 50 с.
3. Дасгупта С. и др. Алгоритмы / С. Дасгупта, Х. Пападимитриу, У. Вазирани; Пер. с англ. под ред. А. Шеня. –– М.: МЦНМО, 2014. 320 с.
4. Быстрая сортировка. Википедия – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Быстрая_сортировка#Общий_механизм_сортировки> (25.11.2023).
5. Устойчивая сортировка. Википедия – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Устойчивая_сортировка> (25.11.2023).
6. Алгоритм сортировки. Википедия – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_сортировки> (25.11.2023).
7. Описание алгоритмов сортировки и сравнение их производительности. Хабр – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/335920/> (23.11.2023).
8. Алгоритмы сортировки. Bimlibik – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://bimlibik.github.io/posts/sorting-algorithm/> (23.11.2023).

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

**на выполнение курсового проекта**

по дисциплине «Алгоритмы и структуры данных**»**

Направление 090301 – Информатика и вычислительная техника

Исполнитель: обучающийся гр. ДИНРб-21 **Самодуров В.А.**

Тема: **Исследование метода сортировки Хоара**

1. **Назначение, цели и задачи разработки**

**Цель разработки** – наглядное и понятное изучение положительных и отрицательных сторон метода сортировки Хоара.

**Назначение разработки:**

* получение точной и подробной статистики работы метода сортировки Хоара.

**Основные задачи,** решаемые разработчиком в процессе выполнения курсового проекта:

* + анализ предметной области;
  + разработка программного продукта в соответствии с требованиями;
  + документирование проекта в соответствии с установленными требованиями.

1. **Характер разработки:** прикладная квалификационная работа.
2. **Основания для разработки**
   * Учебный план направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» 2022 года набора.
   * Рабочая программа дисциплины «Информатика и вычислительная техника».
   * Распоряжение по кафедре АСОИУ №\_\_\_\_ от «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2022 г.
3. **Плановые сроки выполнения –** осенний семестр 2023 учебного года:

Начало «04» октября 2023 г.

Окончание «12» декабря 2023 г.

1. **Требования к проектируемой системе**

**5.1 Требования к функциональным характеристикам**

Проектируемая система должна обеспечивать выполнение следующих основных функций:

* + предоставлять пользователю визуализацию сортировки;
  + предоставлять инструменты для исследования;
  + прекращать визуализацию по желанию пользователя.

Система должна предусматривать функциональные ограничения:

* + входные данные осуществляются только через левую кнопку мыши;
  + программа не может использоваться в качестве сортирующей программы.

**5.3 Требования к эксплуатационным характеристикам**

Программа не должна аварийно завершаться при любых действиях пользователя.

Время реакции программы на действия пользователя не должно превышать 10 секунд и на тестирование - 10 минут.

**5.4 Требования к программному обеспечению:**

Среда разработки – Unity, Microsoft Visual Studio (С#) (Версия 17.4.1).

Операционная система: Windows 10 (x64), версия 21H2, сборка ОС 19044.2486.

**5.5 Требования к аппаратному обеспечению:**

Рекомендуемая конфигурация:

* + Intel-совместимый процессор с частотой не менее 1,6 ГГц;
  + не менее 512 МБ ОЗУ;
  + не менее 100 MБ свободного места на диске;
  + Дисковод CD-ROM/DVD-ROM.

1. **Стадии и этапы разработки**

**6.1 Эскизный проект (ЭП)**

* + Анализ предметной области.
  + Подготовка проектной документации.

**6.2 Технический проект (ТП)**

* + Разработка структур и форм представления данных.
  + Разработка структуры программного комплекса.
  + Подготовка пояснительной записки.

**6.3 Рабочий проект (РП)**

* + Программная реализация.
  + Тестирование и отладка программы.
  + Подготовка программной и эксплуатационной документации.

**6.4 Эксплуатация (Э)**

Описание и анализ результатов проведенного исследования.

1. **Требования к документированию проекта**

К защите курсового проекта должны быть представлены следующие документы:

* + Пояснительная записка к курсовому проекту.
  + Презентация доклада.
  + Программа, презентация и пояснительная записка к курсовому проекту на оптическом носителе.

Требования к структуре документов определены соответствующими стандартами ЕСПД.

Требования к оформлению определены соответствующими методическими указаниями.

1. **Порядок контроля и приемки**

Контроль выполнения курсового проекта проводится руководителем поэтапно в соответствии с утвержденным графиком проведения практики.

На завершающем этапе руководитель осуществляет нормоконтроль представленной исполнителем документации и принимает решение о допуске (недопуске) проекта к защите.

Защита курсового проекта проводится комиссией в составе не менее двух человек, включая руководителя практики.

В процессе защиты проекта исполнитель представляет документацию, делает краткое сообщение по теме разработки и демонстрирует ее программную реализацию.

При выставлении оценки учитывается:

* + степень соответствия представленной разработки требованиям технического задания;
  + качество программной реализации, документации и доклада по теме проекта;
  + соблюдение исполнителем графика выполнения курсового проекта.

1. **Литература**
2. Environment.UserName Свойство. Microsoft Learn – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.environment.username?view=net-7.0> (20.11.2023)
3. Как создать текстовый файл? – C#. Киберфорум – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://www.cyberforum.ru/csharp-beginners/thread111134.html> (19.11.2023)
4. Как сделать график в unity. Youtube – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://youtu.be/nTKivkiYbK8?si=XaLnXQS4BFlmtN9A> (19.11.2023)
5. Coroutines. Unity – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://docs.unity3d.com/Manual/Coroutines.html> (18.11.2023)
6. How do I launch files in C#. StackOverflow – [Электронный ресурс] режим доступа: <https://stackoverflow.com/questions/1283584/how-do-i-launch-files-in-c-sharp> (19.11.2023)

1. Во времени максимума в 10 элементах наблюдается, что метод Хоара лучше метода вставками. Скорее всего, это погрешность программы, которая обычно происходит при начале каждого теста каждого размера и типа массива, что очень напоминает на «разогрев» методов в начале каждой серии тестов. [↑](#footnote-ref-1)