

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И.
Менделеева»

Факультет цифровых технологий и химического инжиниринга
Кафедра информационных компьютерных технологий

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3

ПО КУРСУ

«АЛГОРИТМЫ И СТРУКТУРЫ ДАННЫХ»

Ведущий преподаватель

Ассистент

Крашенинников Р. С.

СТУДЕНТ группы КС-36

Лупинос А. В.

Москва

2025

Задание

Написать свою реализацию двусвязного списка:

- Добавление элемента в начало, в конец, в произвольное место;
- Удаление элемента по из списка.

В рамках лабораторной работы необходимо изучить и реализовать двусвязный список, при этом структура должна:

- Использовать шаблонный подход, обеспечивая работу контейнера с произвольными данными;
- Реализовывать свой итератор, предоставляющий стандартный для языка механизм работы с ним;
- Обеспечивать работу стандартных библиотек и конструкции `for each`, если она есть в языке, если их нет, то реализовать собственную функцию использующую итератор;
- Проверку на пустоту и подсчет количества элементов.

Для демонстрации работы структуры необходимо создать набор тестов (под тестом понимается функция, которая создает структуру, проводит операцию или операции над структурой и удаляет структуру):

- Заполнение контейнера 1000 целыми числами в диапазоне от -1000 до 1000 и подсчет их суммы, среднего, минимального и максимального;
- Провести проверку работы операций вставки и изъятия элементов на коллекции из 10 строковых элементов;
- Заполнение контейнера 100 структур содержащих фамилию, имя, отчество и дату рождения (от 01.01.1980 до 01.01.2020) значения каждого поля генерируются случайно из набора заранее заданных. После заполнения необходимо найти всех людей младше 20 лет и старше 30 и создать новые структуры содержащие результат фильтрации, проверить выполнение на правильность подсчетом количества элементов, не подходящих под условие в новых структурах.

- Тесты для списка:
 - Перемешать все элементы;
 - Выполнить серию тестирования сортировки из первой лабораторной работы на реализованном списке и сравнить производительность с полученной на массиве.

В первой лабораторной работе была выполнена сортировка перемешиванием.

Описание алгоритма

Двусвязный список — это линейная структура данных, в которой каждый элемент (узел) содержит данные и два указателя: на предыдущий и следующий узлы, что позволяет перемещаться по списку в обоих направлениях. В отличие от односвязного списка, где доступ возможен только вперед, двусвязный список обеспечивает более гибкую навигацию, что упрощает такие операции, как вставка и удаление элементов.

Основным преимуществом является возможность быстрого доступа к соседним элементам с обеих сторон узла, что делает его эффективным для алгоритмов, требующих обратного обхода, например, коктейльной сортировки с указателями. Однако это достигается ценой увеличения объема памяти, так как каждый узел хранит дополнительный указатель, а также усложняет реализацию по сравнению с массивом или односвязным списком.

К минусам можно отнести отсутствие прямого доступа к элементам по индексу (в отличие от массива), что требует линейного времени для достижения произвольного элемента, если не использовать указатели напрямую.

Сортировка перемешиванием, или Шейкерная сортировка, или двунаправленная (англ. Cocktail sort) — разновидность пузырьковой сортировки. Анализируя метод пузырьковой сортировки, можно отметить два обстоятельства.

Во-первых, если при движении по части массива перестановки не происходят, то эта часть массива уже отсортирована и, следовательно, ее можно исключить из рассмотрения.

Во-вторых, при движении от конца массива к началу минимальный элемент «всплывает» на первую позицию, а максимальный элемент сдвигается только на одну позицию вправо.

Эти две идеи приводят к следующим модификациям в методе пузырьковой сортировки. Границы рабочей части массива (то есть части массива, где происходит движение) устанавливаются в месте последнего обмена на каждой итерации. Массив просматривается поочередно справа налево и слева направо.

Лучший случай для сортировки перемешиванием — отсортированный массив $O(n)$, худший — отсортированный в обратном порядке $O(n^2)$. Усредненным случаем также будет являться $O(n^2)$.

То есть, подытожив, сортировка перемешиванием является измененной версией сортировки пузырьком, в которой также руководствуются идеей постоянного обмена местами двух элементов, только в этот раз не просто с проходом по массиву от начала в сторону конца, смещая все большие элементы к концу, но еще и добавлением обратного хода, смещая малые элементы к началу.

Описание выполнения задачи

Для реализации двусвязного списка и алгоритма сортировки перемешиванием была написана программа на языке программирования C++:

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <random>
#include <ctime>
#include <stdexcept>
#include <algorithm>
#include <utility>
#include <vector>
#include <chrono>
#include <limits>

using namespace std;

// Структура для даты
struct Date {
    int day, month, year;
    Date() : day(1), month(1), year(1980) {}
```

```

    Date(int d, int m, int y) : day(d), month(m), year(y) {}
};

// Структура для человека
struct Person {
    string surname, name, patronymic;
    Date birthDate;
};

// Структура для статистики сортировки
struct SortStats {
    long long swap_count;
    int full_passes;
};

// Узел двусвязного списка
template<typename T>
struct Node {
    T data;
    Node* prev;
    Node* next;
    explicit Node(T value) : data(std::move(value)), prev(nullptr), next(nullptr) {}
};

// Шаблонный класс двусвязного списка
template<typename T>
class DoublyLinkedList {
private:
    Node<T>* head;
    Node<T>* tail;
    size_t size;

public:
    class Iterator {
    private:
        Node<T>* current;
    public:
        explicit Iterator(Node<T>* node) : current(node) {}
        T& operator*() { return current->data; }
        Iterator& operator++() {
            current = current->next;
            return *this;
        }
        bool operator!=(const Iterator& other) const {
            return current != other.current;
        }
    };

};

DoublyLinkedList() : head(nullptr), tail(nullptr), size(0) {}

~DoublyLinkedList() {
    while (head) {
        Node<T>* temp = head;

```

```

        head = head->next;
        delete temp;
    }
}

void push_front(const T& value) {
    auto* newNode = new Node<T>(value);
    size++;
    if (!head) {
        head = tail = newNode;
        return;
    }
    newNode->next = head;
    head->prev = newNode;
    head = newNode;
}

void push_back(const T& value) {
    auto* newNode = new Node<T>(value);
    size++;
    if (!head) {
        head = tail = newNode;
        return;
    }
    newNode->prev = tail;
    tail->next = newNode;
    tail = newNode;
}

void insert(size_t index, const T& value) {
    if (index > size) throw out_of_range("Index out of range");

    if (index == 0) {
        push_front(value);
        return;
    }
    if (index == size) {
        push_back(value);
        return;
    }

    Node<T>* current = head;
    for (size_t i = 0; i < index; i++) {
        current = current->next;
    }

    auto* newNode = new Node<T>(value);
    newNode->prev = current->prev;
    newNode->next = current;
    current->prev->next = newNode;
    current->prev = newNode;
    size++;
}

```

```

void remove(size_t index) {
    if (!head) throw runtime_error("List is empty");
    if (index >= size) throw out_of_range("Index out of range");

    Node<T>* current = head;
    for (size_t i = 0; i < index; i++) {
        current = current->next;
    }

    if (current == head) {
        head = head->next;
        if (head) head->prev = nullptr;
    }
    else if (current == tail) {
        tail = tail->prev;
        tail->next = nullptr;
    }
    else {
        current->prev->next = current->next;
        current->next->prev = current->prev;
    }
    delete current;
    size--;
}

void print() const {
    Node<T>* current = head;
    cout << "List (" << size << " elements): ";
    while (current) {
        cout << current->data << " ";
        current = current->next;
    }
    cout << "\n";
}

[[nodiscard]] bool empty() const { return size == 0; }
[[nodiscard]] size_t getSize() const { return size; }
Iterator begin() { return Iterator(head); }
Iterator end() { return Iterator(nullptr); }

T& get(size_t index) {
    if (index >= size) throw out_of_range("Index out of range");
    Node<T>* current = head;
    for (size_t i = 0; i < index; i++) {
        current = current->next;
    }
    return current->data;
}

void shuffle() {
    random_device rd;
    mt19937 gen(rd());

```

```

    for (size_t i = size - 1; i > 0; i--) {
        uniform_int_distribution<> dis(0, i);
        size_t j = dis(gen);
        swap(get(i), get(j));
    }
}

// Оптимизированная коктейльная сортировка с указателями
SortStats cocktailSort() {
    if (size <= 1) return {0, 0};

    Node<T>* left = head;
    Node<T>* right = tail;
    bool flag;
    long long swap_count = 0;
    int full_passes = 0;

    while (left != right && left->prev != right) {
        flag = false;
        ++full_passes;

        // Проход справа налево
        Node<T>* current = right;
        while (current != left) {
            if (current->prev->data > current->data) {
                swap(current->prev->data, current->data);
                flag = true;
                ++swap_count;
            }
            current = current->prev;
        }
        left = left->next;

        // Проход слева направо
        current = left;
        while (current != right) {
            if (current->data > current->next->data) {
                swap(current->data, current->next->data);
                flag = true;
                ++swap_count;
            }
            current = current->next;
        }
        right = right->prev;

        if (!flag) break;
    }

    return {swap_count, full_passes};
}
};

```

// Тест 1: Работа с числами


```

void testNumbers() {
    DoublyLinkedList<int> list;
    random_device rd;
    mt19937 gen(rd());
    uniform_int_distribution<> dis(-1000, 1000);

    for (int i = 0; i < 1000; i++) {
        list.push_back(dis(gen));
    }

    int sum = 0, min = 1000, max = -1000;
    for (int num : list) {
        sum += num;
        min = std::min(min, num);
        max = std::max(max, num);
    }

    double avg = static_cast<double>(sum) / 1000;
    cout << "Test 1 (Numbers):\n";
    cout << "Sum: " << sum << "\nAverage: " << avg
        << "\nMin: " << min << "\nMax: " << max << "\n";
    cout << "Is empty: " << (list.empty() ? "Yes" : "No") << "\n";
    cout << "Size: " << list.getSize() << "\n\n";
}

```

// Тест 2: Работа со строками

```

void testStrings() {
    DoublyLinkedList<string> list;
    string initial[] = {"One", "Two", "Three", "Four", "Five",
        "Six", "Seven", "Eight", "Nine", "Ten"};
    for (const auto & i : initial) {
        list.push_back(i);
    }
}

```

```

cout << "Test 2 (Strings) - Interactive\n";
cout << "Initial list:\n";
list.print();

```

```

int choice;
while (true) {
    cout << "\nOperations:\n";
    cout << "1. Add to front\n";
    cout << "2. Add to back\n";
    cout << "3. Insert at index\n";
    cout << "4. Remove at index\n";
    cout << "5. Check if empty\n";
    cout << "6. Get size\n";
    cout << "7. Print list\n";
    cout << "8. Exit test\n";
    cout << "Enter choice (1-8): ";
    cin >> choice;
    cin.ignore();
}

```

```

if (choice == 8) break;

string input;
size_t index;
switch (choice) {
    case 1:
        cout << "Enter string to add to front: ";
        getline(cin, input);
        list.push_front(input);
        list.print();
        break;
    case 2:
        cout << "Enter string to add to back: ";
        getline(cin, input);
        list.push_back(input);
        list.print();
        break;
    case 3:
        cout << "Enter index (0-" << list.getSize() << "): ";
        cin >> index;
        cin.ignore();
        cout << "Enter string to insert: ";
        getline(cin, input);
        try {
            list.insert(index, input);
            list.print();
        } catch (const out_of_range& e) {
            cout << "Error: " << e.what() << "\n";
        }
        break;
    case 4:
        cout << "Enter index to remove (0-" << (list.getSize()-1) << "): ";
        cin >> index;
        try {
            list.remove(index);
            list.print();
        } catch (const exception& e) {
            cout << "Error: " << e.what() << "\n";
        }
        break;
    case 5:
        cout << "List is " << (list.empty() ? "empty" : "not empty") << "\n";
        break;
    case 6:
        cout << "List size: " << list.getSize() << "\n";
        break;
    case 7:
        list.print();
        break;
    default:
        cout << "Invalid choice!\n";
}
}

```

```

}

// Тест 3: Работа с персонами
void testPersons() {
    DoublyLinkedList<Person> list;
    string surnames[] = {"Ivanov", "Petrov", "Sidorov", "Kuznetsov"};
    string names[] = {"Alexey", "Boris", "Sergey", "Dmitry"};
    string patronymics[] = {"Ivanovich", "Petrovich", "Sergeevich"};

    random_device rd;
    mt19937 gen(rd());
    uniform_int_distribution<> yearDist(1980, 2019);
    uniform_int_distribution<> monthDist(1, 12);
    uniform_int_distribution<> dayDist(1, 28);
    uniform_int_distribution<> nameDist(0, 3);

    for (int i = 0; i < 100; i++) {
        Person p;
        p.surname = surnames[nameDist(gen)];
        p.name = names[nameDist(gen)];
        p.patronymic = patronymics[nameDist(gen) % 3];
        p.birthDate = Date(dayDist(gen), monthDist(gen), yearDist(gen));
        list.push_back(p);
    }

    DoublyLinkedList<Person> under20, over30;
    int currentYear = 2025;

    for (const Person& p : list) {
        int age = currentYear - p.birthDate.year;
        if (age < 20) under20.push_back(p);
        if (age > 30) over30.push_back(p);
    }

    cout << "Test 3 (Persons):\n";
    cout << "People under 20: " << under20.getSize() << "\n";
    cout << "People over 30: " << over30.getSize() << "\n";

    size_t expectedRemainder = 100 - under20.getSize() - over30.getSize();
    size_t actualRemainder = 0;
    for (const Person& p : list) {
        int age = currentYear - p.birthDate.year;
        if (age >= 20 && age <= 30) actualRemainder++;
    }

    cout << "Verification (people aged 20-30): " << actualRemainder
        << " (expected: " << expectedRemainder << ")\n";
    cout << "Is empty: " << (list.empty() ? "Yes" : "No") << "\n";
    cout << "Size: " << list.getSize() << "\n\n";
}

// Тест 4: Перемешивание чисел
void testShuffle() {

```

```

DoublyLinkedList<int> list;
random_device rd;
mt19937 gen(rd());
uniform_int_distribution<> dis(1, 100);

for (int i = 0; i < 10; i++) {
    list.push_back(dis(gen));
}

cout << "Test 4 (Shuffle):\n";
cout << "Before shuffling:\n";
list.print();

list.shuffle();

cout << "After shuffling:\n";
list.print();
cout << "Is empty: " << (list.empty() ? "Yes" : "No") << "\n";
cout << "Size: " << list.getSize() << "\n\n";
}

// Тест 5: Оптимизированная коктейльная сортировка
void testCocktailSort() {
    int sizes[8] = {1000, 2000, 4000, 8000, 16000, 32000, 64000, 128000};
    vector<vector<double>> sec_times(8);
    vector<vector<long long>> swap_counts(8);
    vector<vector<int>> full_passes(8);

    vector<double> best_time(8, numeric_limits<double>::max());
    vector<double> worst_time(8, numeric_limits<double>::lowest());
    vector<double> avg_time(8, 0);
    vector<double> avg_swaps(8, 0);
    vector<double> avg_passes(8, 0);

    random_device rd;
    mt19937 gen(rd());
    uniform_real_distribution<> distribution(-1, 1);

    cout << "Test 5 (Optimized Cocktail Sort on Doubly Linked List):\n";
    for (int s = 0; s < 8; ++s) {
        for (int k = 0; k < 20; ++k) {
            int M = sizes[s];
            DoublyLinkedList<double> list;

            // Заполнение списка случайными числами
            for (int i = 0; i < M; ++i) {
                list.push_back(distribution(gen));
            }

            // Замер времени и сортировка
            chrono::high_resolution_clock::time_point start = chrono::high_resolution_clock::now();
            SortStats stats = list.cocktailSort();
            chrono::high_resolution_clock::time_point end = chrono::high_resolution_clock::now();

```

```

        chrono::duration<double> sec_diff = end - start;
        double time_s = sec_diff.count();
        sec_times[s].push_back(time_s);
        swap_counts[s].push_back(stats.swap_count);
        full_passes[s].push_back(stats.full_passes);

        best_time[s] = min(best_time[s], time_s);
        worst_time[s] = max(worst_time[s], time_s);
        avg_time[s] += time_s;
        avg_swaps[s] += (double)stats.swap_count;
        avg_passes[s] += stats.full_passes;
        cout << "END OF " << k + 1 << " TRY for size " << M << endl;
    }
    avg_time[s] /= 20.0;
    avg_swaps[s] /= 20.0;
    avg_passes[s] /= 20.0;
    cout << "==END OF " << sizes[s] << " SIZE OF LIST==" << endl;
}

cout << "\n=== Sorting Times (Seconds) ===" << endl;
for (int s = 0; s < 8; ++s) {
    cout << "Size " << sizes[s] << ": ";
    for (double time : sec_times[s]) {
        cout << time << " s, ";
    }
    cout << endl;
}

cout << "\n=== Swap Counts ===" << endl;
for (int s = 0; s < 8; ++s) {
    cout << "Size " << sizes[s] << ": ";
    for (auto swaps : swap_counts[s]) {
        cout << swaps << ", ";
    }
    cout << endl;
}

cout << "\n=== Full Passes ===" << endl;
for (int s = 0; s < 8; ++s) {
    cout << "Size " << sizes[s] << ": ";
    for (int passes : full_passes[s]) {
        cout << passes << ", ";
    }
    cout << endl;
}

cout << "\n=== Best Times (Seconds) ===" << endl;
for (int s = 0; s < 8; ++s) {
    cout << sizes[s] << ", " << best_time[s] << endl;
}

cout << "\n=== Worst Times (Seconds) ===" << endl;

```

```

    for (int s = 0; s < 8; ++s) {
        cout << sizes[s] << "," << worst_time[s] << endl;
    }

    cout << "\n=== Average Times (Seconds) ===" << endl;
    for (int s = 0; s < 8; ++s) {
        cout << sizes[s] << "," << avg_time[s] << endl;
    }

    cout << "\n=== Average Swap Counts ===" << endl;
    for (int s = 0; s < 8; ++s) {
        cout << sizes[s] << "," << avg_swaps[s] << endl;
    }

    cout << "\n=== Average Full Passes ===" << endl;
    for (int s = 0; s < 8; ++s) {
        cout << sizes[s] << "," << avg_passes[s] << endl;
    }
    cout << "\n";
}

// Перегрузка оператора << для вывода Person
ostream& operator<<(ostream& os, const Person& p) {
    os << p.surname << " " << p.name << " " << p.patronymic
        << " (" << p.birthDate.day << "." << p.birthDate.month
        << "." << p.birthDate.year << ")";
    return os;
}

int main() {
    int choice;
    while (true) {
        cout << "Select test to run:\n";
        cout << "1. Numbers test\n";
        cout << "2. Strings test\n";
        cout << "3. Persons test\n";
        cout << "4. Shuffle test\n";
        cout << "5. Optimized Cocktail sort test\n";
        cout << "6. Exit\n";
        cout << "Enter choice (1-6): ";
        cin >> choice;

        if (choice == 6) break;

        switch (choice) {
            case 1:
                testNumbers();
                break;
            case 2:
                testStrings();
                break;
            case 3:
                testPersons();

```

```

        break;
    case 4:
        testShuffle();
        break;
    case 5:
        testCocktailSort();
        break;
    default:
        cout << "Invalid choice!\n";
    }
}

return 0;
}

```

Код реализует шаблонный класс `DoublyLinkedList<T>` — двусвязный список, где каждый узел содержит данные и указатели на предыдущий и следующий элементы. Класс включает методы для добавления (`push_front`, `push_back`, `insert`), удаления (`remove`), проверки пустоты (`empty`), получения размера (`getSize`) и итератор для обхода. Особенностью является оптимизированная коктейльная сортировка (`cocktailSort`) с использованием указателей, что ускоряет проходы по списку, и метод `shuffle` для перемешивания элементов.

Код содержит пять тестов: работа с числами, интерактивное управление строками, фильтрация персон, перемешивание чисел и измерение производительности сортировки для списков от 1000 до 128000 элементов. Реализация проста, надежна благодаря исключениям и деструктору, который освобождает память, и поддерживает любые типы данных.

Специфические моменты реализации:

- Оптимизированная коктейльная сортировка: Использование указателей `left` и `right` вместо индексов позволяет напрямую перемещаться по списку, что особенно эффективно для двусвязной структуры.
- Управление памятью: Деструктор автоматически освобождает все узлы, а локальная область видимости тестов гарантирует очистку памяти после каждого теста.

- Шаблонность: Класс поддерживает любые типы данных благодаря `template<typename T>`, что проверяется в тестах с `int`, `string` и `Person`.
- Исключения: Методы `insert`, `remove` и `get` выбрасывают исключения при некорректных индексах, обеспечивая надежность.
- Итератор: Простая реализация итератора позволяет использовать список в циклах `for-range`, что упрощает обход.
- Перемешивание: Метод `shuffle` опирается на `get`, что менее эффективно, чем прямое использование указателей, но выбрано для читаемости кода.

Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы был реализован двусвязный список и были проведены проверки работы списка с помощью различных тестов (числовой, строковой, с использованием структур и сортировкой), а также сортировка перемешиванием (шейкерная) на языке C++.

Первый тест (числовой) с 1000 числами от -1000 до 1000 вывел следующий результат:

- Sum: 17619
- Average: 17.619
- Min: -1000
- Max: 1000
- Is empty: No
- Size: 1000

Второй тест с 10 строковыми элементами представлен на рисунке 1. Третий тест со структурой персон (ФИО, дата рождения) показан на рисунке 2. Четвертый тест с перемешиванием элементов можно увидеть на рисунке 3.


```

Test 2 (Strings) - Interactive
Initial list:
List (10 elements): One Two Three Four Five Six Seven Eight Nine Ten

Operations:
1. Add to front
2. Add to back
3. Insert at index
4. Remove at index
5. Check if empty
6. Get size
7. Print list
8. Exit test
Enter choice (1-8):1
Enter string to add to front:pivo
List (11 elements): pivo One Two Three Four Five Six Seven Eight Nine
Ten

Enter choice (1-8):4
Enter index to remove (0-10):10
List (10 elements): pivo One Two Three Four Five Six Seven Eight Nine

```

Рисунок 1 - Проверка вставки и удаления элементов из коллекции 10 строковых ЭЛЕМЕНТОВ

```

Test 3 (Persons):
People under 20: 42
People over 30: 32
Verification (people aged 20-30): 26 (expected: 26)
Is empty: No
Size: 100

```

Рисунок 2 - Проверка фильтрации по дате рождения

```

Test 4 (Shuffle):
Before shuffling:
List (10 elements): 4 36 71 57 24 98 39 18 59 54
After shuffling:
List (10 elements): 4 54 98 59 36 39 57 18 71 24
Is empty: No
Size: 10

```

Рисунок 3 - Проверка перемешивания элементов

Также было произведено сравнение сортировки двусвязного списка и массива по производительности (табл. 1).

Size	Average Time for List	Average Time for Array
1000	0,0031	0,008
2000	0,0207	0,032
4000	0,0688	0,135
8000	0,2139	0,478
16000	1,4957	2,497
32000	6,3369	5,979
64000	26,7231	25,605
128000	67,8941	102,243

Таблица 1 - Производительность двусвязного списка и массива при различных размерах

Для наглядного представления была построена диаграмма на основе полученных значений в ходе одного тестового запуска программы, а также значений, использованных в первой лабораторной работе (рис. 4).

График сравнения производительностей двусвязного списка и массива

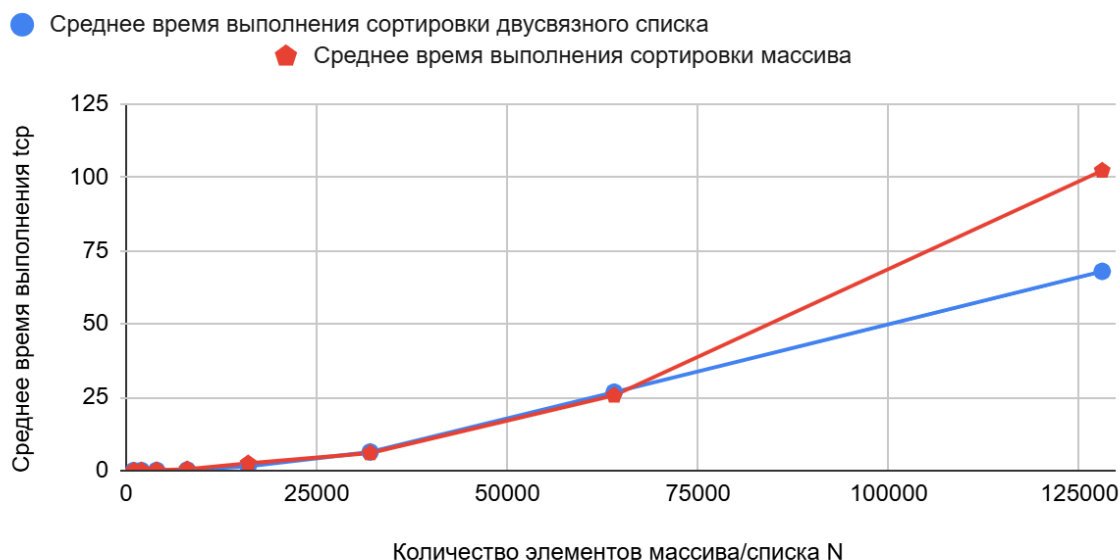


Рисунок 4 - График сравнения производительностей двусвязного списка и массива

На основании построенного графика можно подтвердить, что сортировка на двусвязном списке (синяя линия) работает быстрее, чем на массиве (красная линия), особенно когда элементов становится много. Это происходит, потому что в списке использованы указатели, которые позволяют быстро переходить между элементами, а массиву приходится дольше искать элементы по индексу.

Список сложнее сделать — нужно следить за указателями и выделять память для каждого элемента, в то время как массив проще, так как он встроен в язык и сразу готов к работе. Но список удобнее для добавления и удаления элементов, потому что не нужно копировать все данные, как в массиве. На больших данных разница в скорости становится очень заметной. В итоге список быстрее благодаря указателям, хотя его реализация требует больше усилий.

Анализ всех тестов демонстрирует, что двусвязный список надежно работает с числами, строками, структурами и справляется с сортировкой больших объемов данных. Тесты подтвердили его гибкость при добавлении и удалении элементов, а также эффективность благодаря использованию указателей. Реализация требует дополнительных усилий из-за управления памятью, но это оправдано высокой производительностью и универсальностью.