



Standard Template Library

Антон Кухтичев





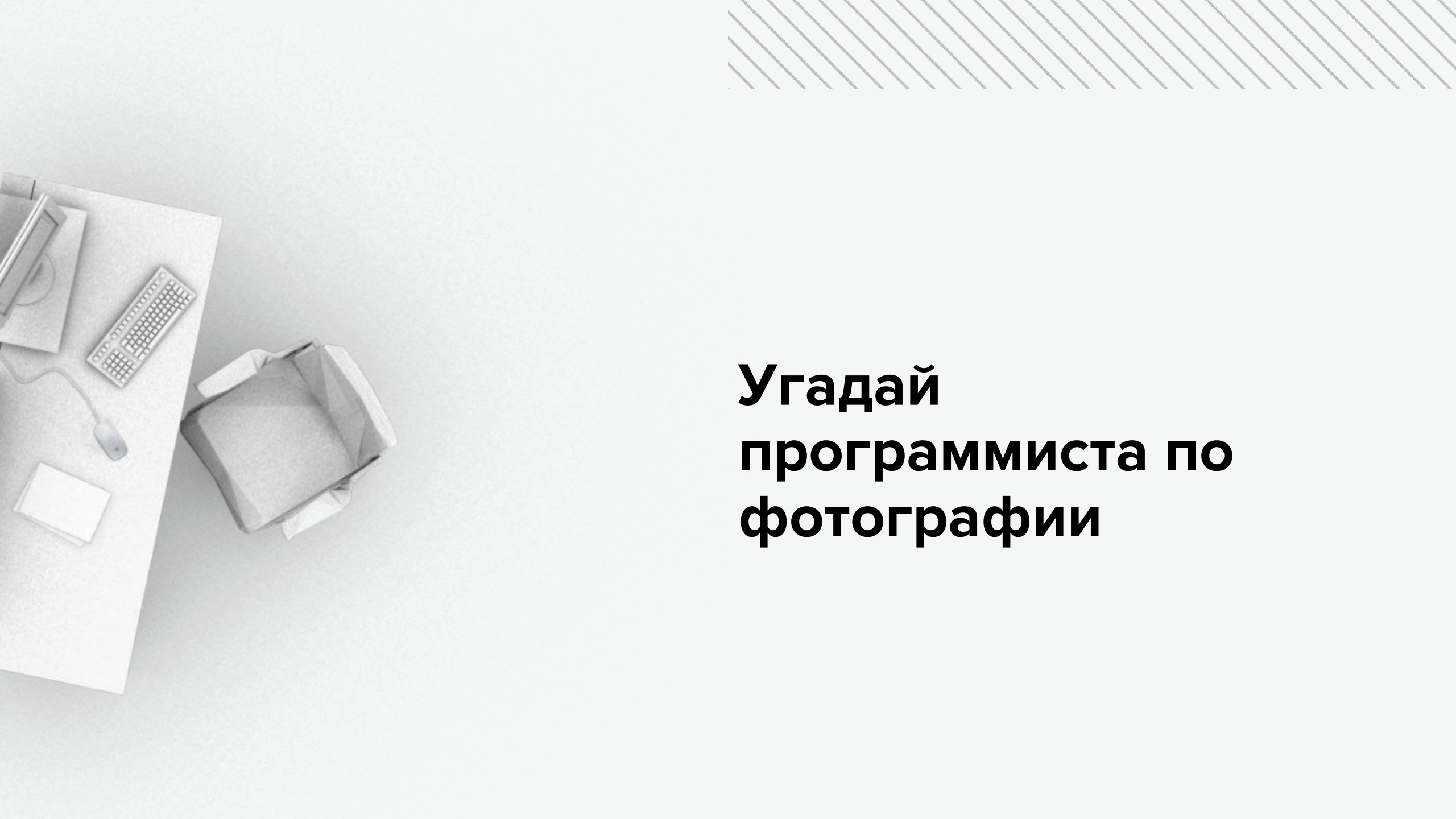
Не забудьте
отметиться на
портале!!!

Иначе всё плохо будет.



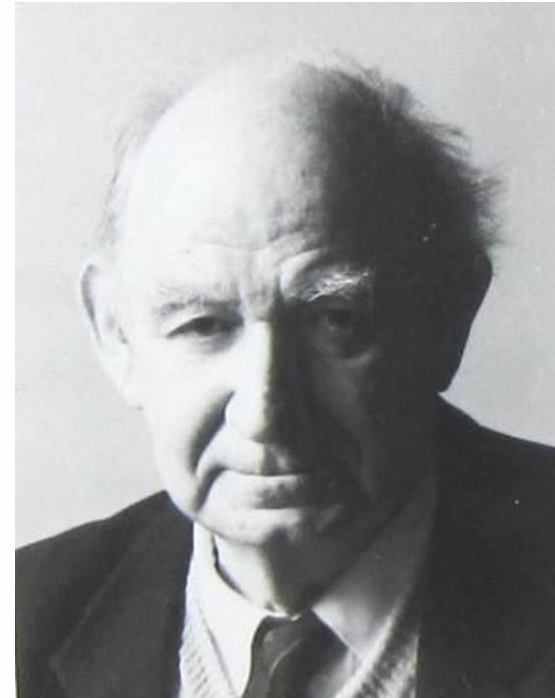
Содержание занятия

1. Функтор
2. Стандартная библиотека C++
3. Библиотека шаблонов STL (Standard Template Library)
4. Вспомогательные классы
5. Библиотека алгоритмов STL

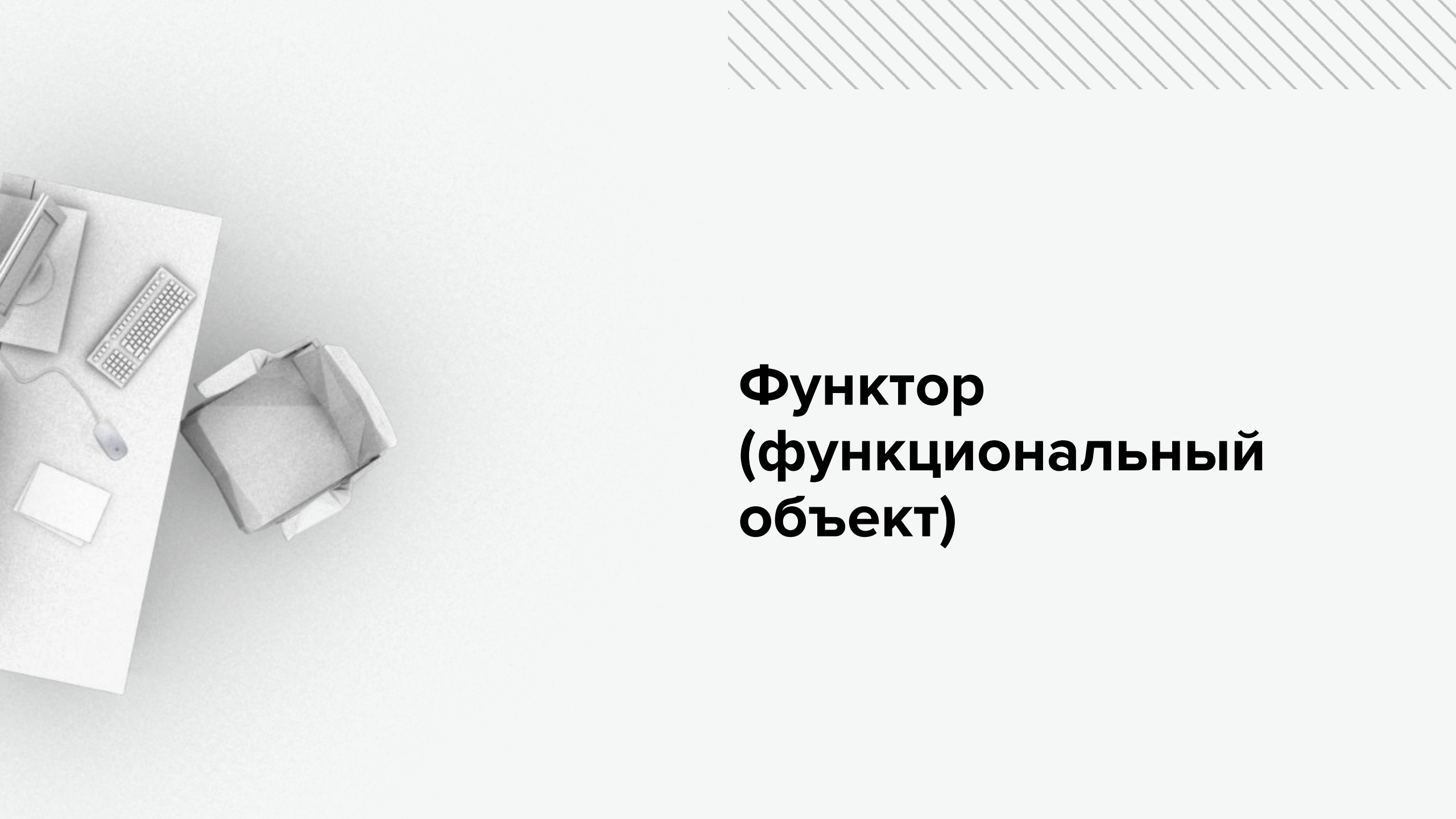


**Угадай
программиста по
фотографии**

Кто это?



#05



**Функтор
(функциональный
объект)**

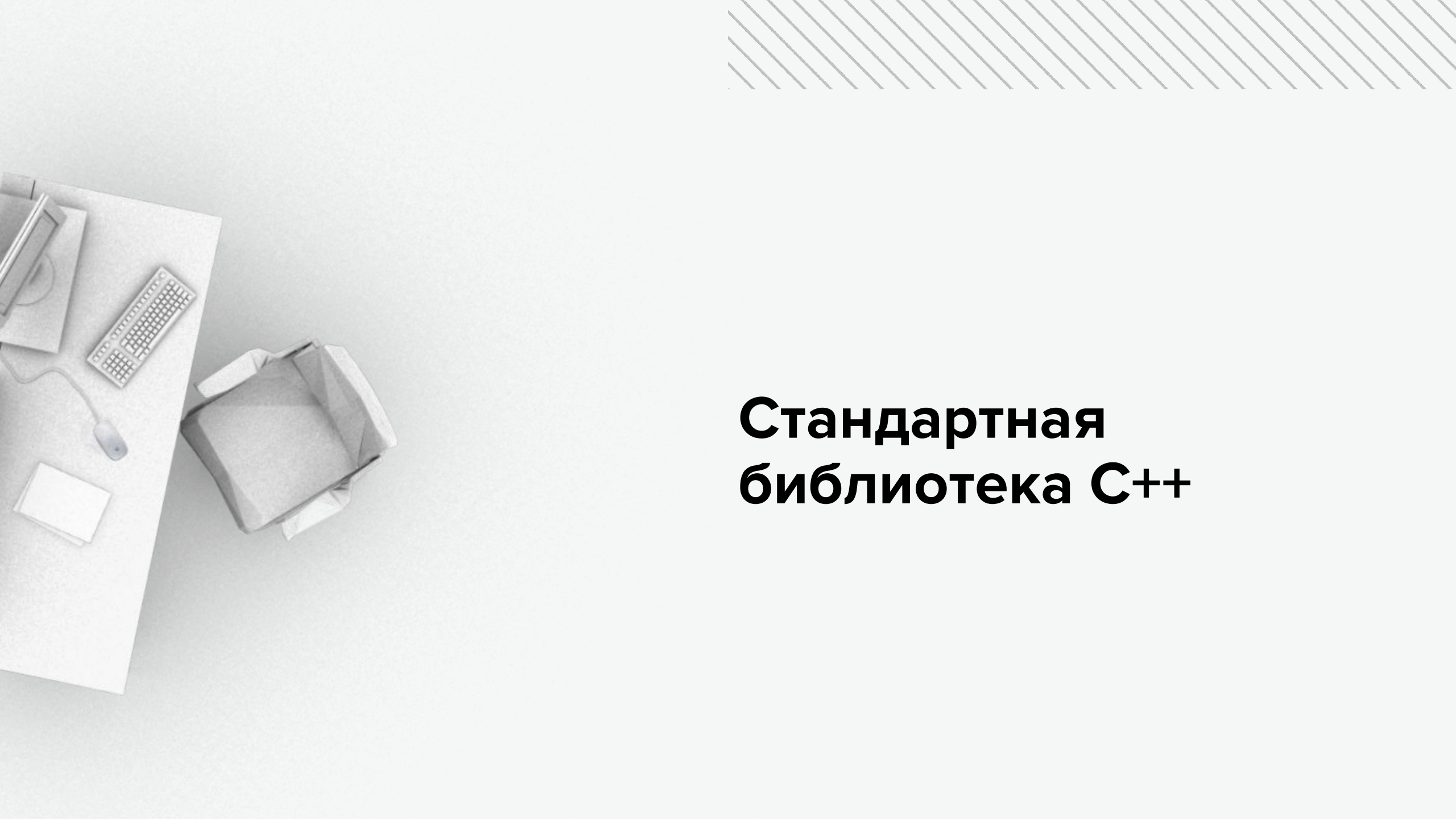
Функтор (функциональный объект)

```
template <class T>
class Less
{
    const T& x_;
public:
    Less(const T& x)
        : x_(x)
    {
    }

    bool operator()(const T& y) const
    {
        return y < x_;
    }
};

Less lessThen3(3);


bool result = lessThen3(5); // false
```



Стандартная библиотека C++



Стандартная библиотека C++

- 
1. Ввод-вывод
 2. Многопоточность
 3. Регулярные выражения
 4. Библиотека C
 5. Библиотека шаблонов STL
 6. Прочее (дата и время, обработка ошибок, поддержка локализации и т.д.)

Документация: <https://en.cppreference.com/w/>

std::ifstream

```
std::ifstream file("/tmp/file.txt");
if (!file)
{
    std::cout << "can't open file" ;
    return;
}

while (file.good())
{
    std::string s;
    file >> s;
}
```

std::ifstream

```
const int size = 1024;  
char buf[size];  
  
std::ifstream file("/tmp/file.data", std::ios::binary);  
file.read(buf, size);  
const auto read = file.gcount();
```

std::ofstream

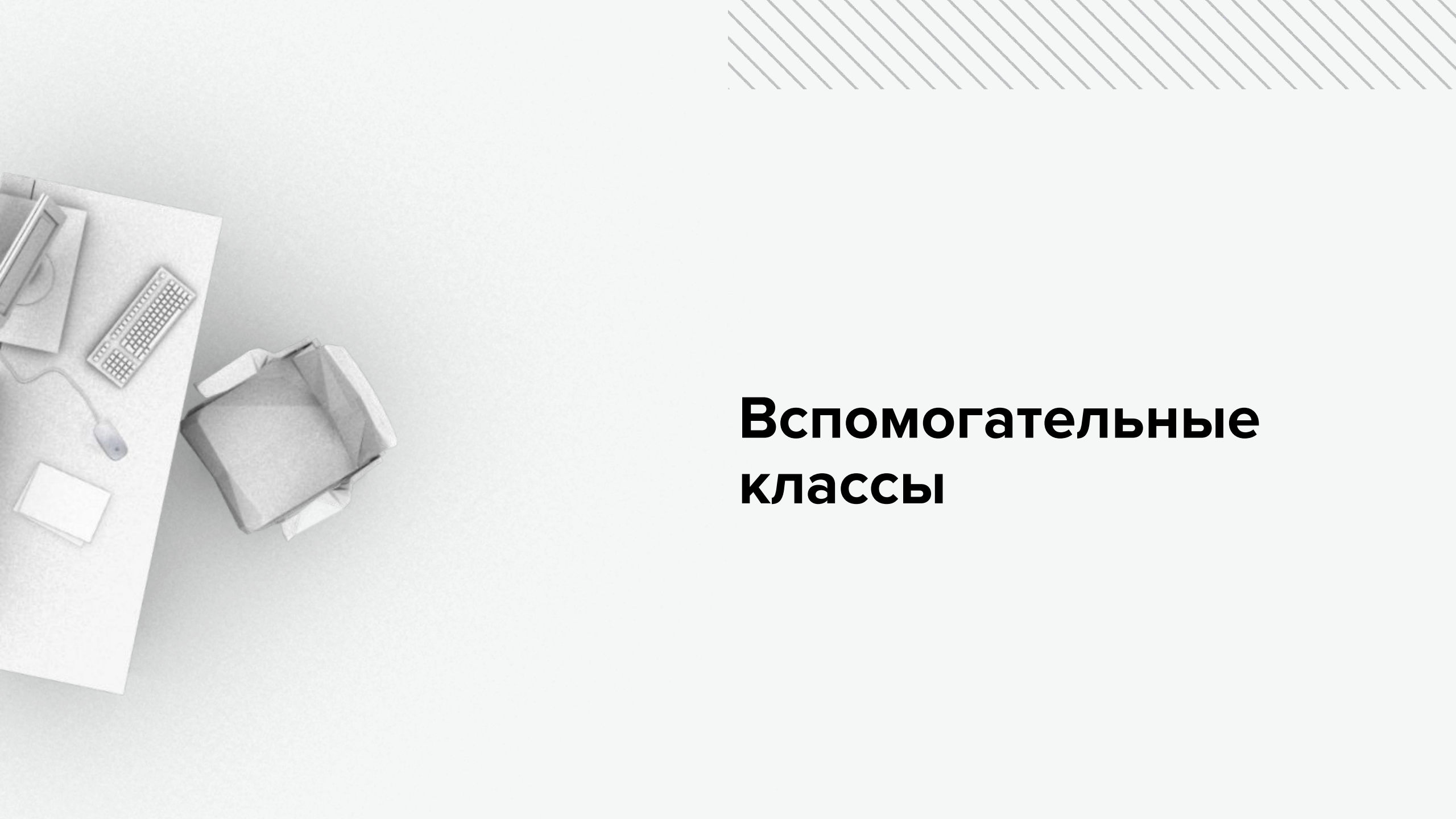
Запись в файл.

```
std::ofstream file("/tmp/file.txt");  
if (!file)  
{  
    std::cout << "can't open file" ;  
    return;  
}  
  
file << "abc" << 123;
```

std::ofstream

```
const int size = 1024;  
char buf[size];
```

```
std::ofstream file("/tmp/file.data", std::ios::binary);  
file.write(buf, size);
```



Вспомогательные классы

std::pair

Тип позволяющий упаковать два значения в один объект.

```
#include <utility>
```

```
auto p1 = std::pair<int, double>(1, 2.0);  
auto p2 = std::make_pair(1, 2.0);
```

```
auto x = p1.first; // int == 1  
auto y = p1.second; // double == 2
```

`pair` имеет операторы сравнения позволяющие сделать лексикографическое сравнение элементов.

std::tuple

Тип позволяющий упаковать несколько значений в один объект.

```
#include <tuple>
```

```
auto t = std::make_tuple(1, 2.0, "abc");  
int a = std::get<0>(t);  
double b = std::get<1>(t);  
std::string c = std::get<2>(t);
```

Соответствие типов проверяется на этапе компиляции.

Как и `pair` имеет лексикографические операторы сравнения.

std::tie

`tie`, как и `make_tuple` создает `tuple`, но не объектов, а ссылок на них.

Использование `tie` для написания операторов сравнения

```
struct MyClass
{
    int x_;
    std::string y_;
    double z_;

    bool operator<(const MyClass& o) const
    {
        return std::tie(x_, y_, z_) < std::tie(o.x_, o.y_, o.z_);
    }
};
```

Использование tie для написания операторов сравнения

```
bool operator<(const MyClass& o) const
{
    if (x_ != o.x_)
        return x_ < o.x_;
    if (y_ != o.y_)
        return y_ < o.y_;
    return z_ < o.z_;
}
```



Библиотека шаблонов STL (Standard Template Library)

Библиотека шаблонов STL (Standard Template Library)

1. Контейнеры (containers) – хранение набора объектов в памяти
2. Итераторы (iterators) – средства для доступа к источнику данных (контейнер, поток)
3. Алгоритмы (algorithms) – типовые операции с данными
4. Адаптеры (adaptors) – обеспечение требуемого интерфейса
5. Функциональные объекты (functors) – функция как объект для использования другими компонентами

О большое

«О» большое – математическое обозначение для сравнения асимптотического поведения алгоритма.

Фраза «сложность алгоритма есть $O(f(n))$ » означает, что с ростом параметра n время работы алгоритма будет возрастать не быстрее, чем некоторая константа, умноженная на $f(n)$.


О большое

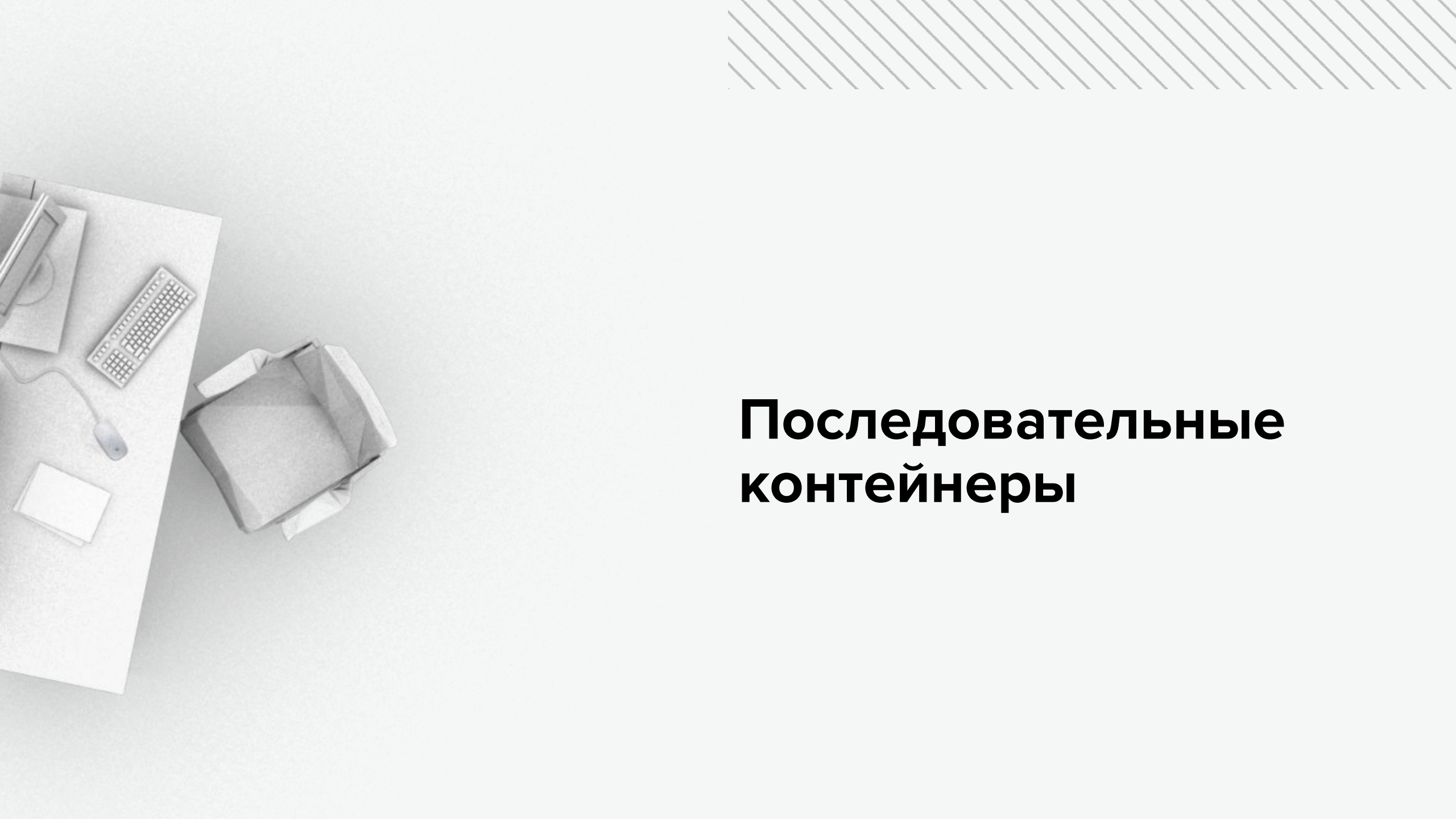
Типичные значения:

1. Время выполнения константно: $O(1)$
2. Линейное время: $O(n)$
3. Логарифмическое время: $O(\log n)$
4. Время выполнения « n логарифмов n »: $O(n \log n)$
5. Квадратичное время: $O(n^2)$



Контейнеры

- 
1. Последовательные (Sequence containers)
 2. Ассоциативные (Associative containers)
 3. Неупорядоченные ассоциативные (Unordered associative containers)
 4. Контейнеры-адаптеры (Container adaptors)



Последовательные контейнеры

std::array

```
#include <array>

template <class T, size_t N>
class array
{
    T data_[N];
    size_t size_;
public:
    using size_type = size_t;
    using value_type = T;
    using reference = T&;
    using const_reference = const T&;
};
```


std::array

```
constexpr size_type size() const noexcept;
constexpr bool empty() const noexcept;
reference at(size_type pos);
constexpr const_reference at(size_type pos) const;
reference operator[](size_type pos);
constexpr const_reference operator[](size_type pos) const;
reference front();
constexpr const_reference front() const;
reference back();
constexpr const_reference back() const;
T* data() noexcept;
const T* data() const noexcept;
```

std::array

Пример:

```
std::array<int, 5> a = { 1, 2, 3, 4, 5 };
```

```
auto x = a[2];
```

```
a[2] = x * 2;
```

Вставка	Удаление	Поиск	Доступ
		$O(n)$	$O(1)$

std::initializer_list

```
template <class T>
class initializer_list
{
public:
    size_type size() const noexcept;
    const T* begin() const noexcept;
    const T* end() const noexcept;
};
```

std::initializer_list

```
Array<int, 3> a = { 1, 2, 3 };
```

```
template <class T, size_t N>
class Array
{
public:
    Array(std::initializer_list<T> init)
    {
        size_t i = 0;
        auto current = init.begin();
        const auto end = init.end();
        while (current != end)
        {
            data_[i++] = *current++;
        }
    }
};
```

Аллокаторы

Назначение аллокатора - выделять и освобождать память.

malloc и new - аллокаторы

```
std::allocator<int> a1;  
int* a = a1.allocate(1);  
a1.construct(a, 7);  
std::cout << a[0] << '\n';  
a1.deallocate(a, 1);
```

Аллокаторы

```
template<class T>
class allocator
{
public:
    using value_type = T;
    using pointer = T*;
    using size_type = size_t;

    pointer allocate(size_type count);
    void deallocate(pointer ptr, size_type count);

    // deprecated in C++17, removed in C++20
    size_t max_size() const noexcept;
};
```

std::vector

```
template<class T, class Alloc = std::allocator<T>>
class vector
{
public:
    using size_type = size_t;
    using value_type = T;
    using reference = T&;
    using const_reference = const T&;
    using allocator_type = Alloc;
```

std::vector

```
explicit vector(size_type count);  
vector(size_type count, const value_type& defaultValue);  
vector(initializer_list<value_type> init);  
  
iterator begin() noexcept; // аналогично end()  
reverse_iterator rbegin() noexcept; // rend()  
const_iterator cbegin() const noexcept; // cend()  
const_reverse_iterator crbegin() const noexcept; // crend()
```

std::vector

```
void reserve(size_type count); // Выделяет память
```

```
size_type capacity() const noexcept;
```

```
void push_back(const value_type& value);
```

```
template<class... VT>
```

```
void emplace_back(VT&&... values);
```

```
iterator insert(const_iterator where, const T& value);
```

std::vector

Пример:

```
class A
{
    A(int, int) {}
    A(A&&) {}
};
```

```
A a(1, 2);
```

```
vec.push_back(std::move(a));
vec.emplace(1, 2);
```

Вставка	Удаление	Поиск	Доступ
В конце $O(1)$ или $O(n)$	В конце $O(1)$ или $O(n)$	$O(n)$ В отсортированн ом $O(\log n)$	$O(1)$

Трюки с вектором

1. Если порядок элементов не важен, то меняем удаляемый элемент с последним местом и удаляем последний (pop_back).

2. Изменение размера вектора перед вставкой

```
const auto size = file.size();  
std::vector<char> data(size);  
for (size_t i = 0; i < size; ++i)  
    data[i] = file.read();
```

3. Очистка вектора

Итераторы (iterators)

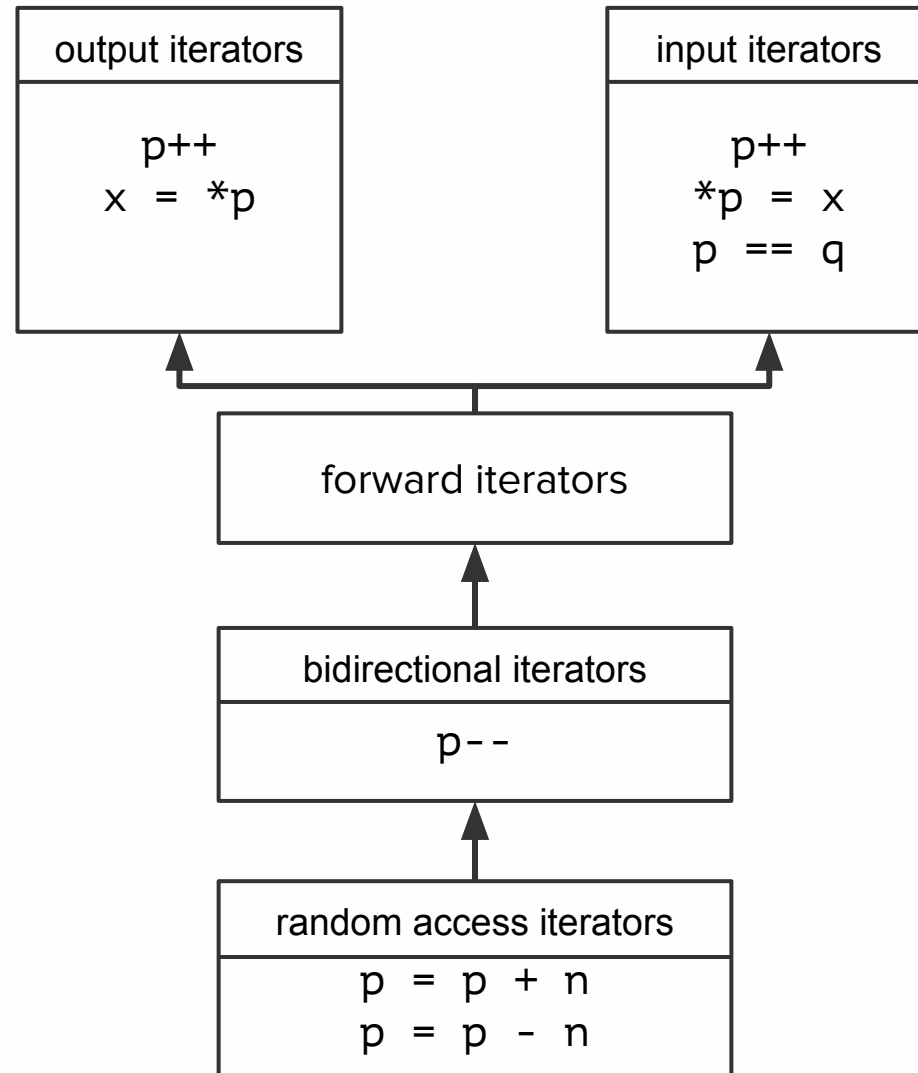
Объект предоставляющий доступ к элементам коллекции и осуществляющий навигацию по ним.

Позволяет реализовать универсальные алгоритмы работы с контейнерами.

Классификация итераторов:

1. Ввода (Input Iterator)
2. Однонаправленные (Forward Iterator)
3. Двухнаправленные (Bidirectional Iterator)
4. Произвольного доступа (Random Access Iterator)
5. Вывода (Output Iterator)

Итераторы (iterators)



Итераторы (iterators)

```
template< typename _Category, typename _Tp,
          typename _Distance = ptrdiff_t,
          typename _Pointer = _Tp*,
          typename _Reference = _Tp&>
struct iterator
{
    typedef _Category    iterator_category;
    typedef _Tp          value_type;
    typedef _Distance    difference_type;
    typedef _Pointer     pointer;
    typedef _Reference   reference;
};
```

Code time!



1. Пишем свой итератор!

std::deque

Интерфейс повторяет интерфейс `std::vector`, отличие в размещении в памяти - `std::vector` хранит данные в одном непрерывном куске памяти, `std::deque` хранит данные в связанных блоках по n элементов.

Вставка	Удаление	Поиск	Доступ
В конце $O(1)$ или $O(n)$	В конце $O(1)$ или $O(n)$	$O(n)$ В отсортированн ом $O(\log n)$	$O(1)$

std::forward_list

Связный список, элементы которого хранятся в произвольных участках памяти.

Итератор списка не поддерживает произвольный доступ, следовательно алгоритмы STL, которые требуют random access iterator работать со списком не будут, например, `std::sort`.

Вставка	Удаление	Поиск	Доступ
$O(1)$	$O(1)$	$O(n)$	$O(n)$

std::list

Отличие от односвязного списка - возможность перемещаться в обратном направлении.

```
template <class T>
class Node
{
    T value_;
    Node<T>* prev_;
    Node<T>* next_;
};
```

Вставка	Удаление	Поиск	Доступ
$O(1)$	$O(1)$	$O(n)$	$O(n)$

Ассоциативные контейнеры

Контейнер позволяющий хранить пары вида (ключ, значение) и поддерживающий операции добавления пары, а также поиска и удаления пары по ключу.

Элементы **отсортированы** по ключу:

1. `set<Key, Compare, Allocator>`
2. `map<Key, T, Compare, Allocator>`
3. `multiset<Key, Compare, Allocator>`
4. `multimap<Key, T, Compare, Allocator>`

Вставка	Удаление	Поиск	Доступ
$O(\log n)$	$O(\log n)$	$O(\log n)$	$O(\log n)$

Ассоциативные контейнеры

Элементы **не отсортированы** по ключу:

1. `unordered_set<Key, Hash, KeyEqual, Allocator>`
2. `unordered_map<Key, T, Hash, KeyEqual, Allocator>`
3. `unordered_multiset<Key, Hash, KeyEqual, Allocator>`
4. `unordered_multimap<Key, T, Hash, KeyEqual, Allocator>`

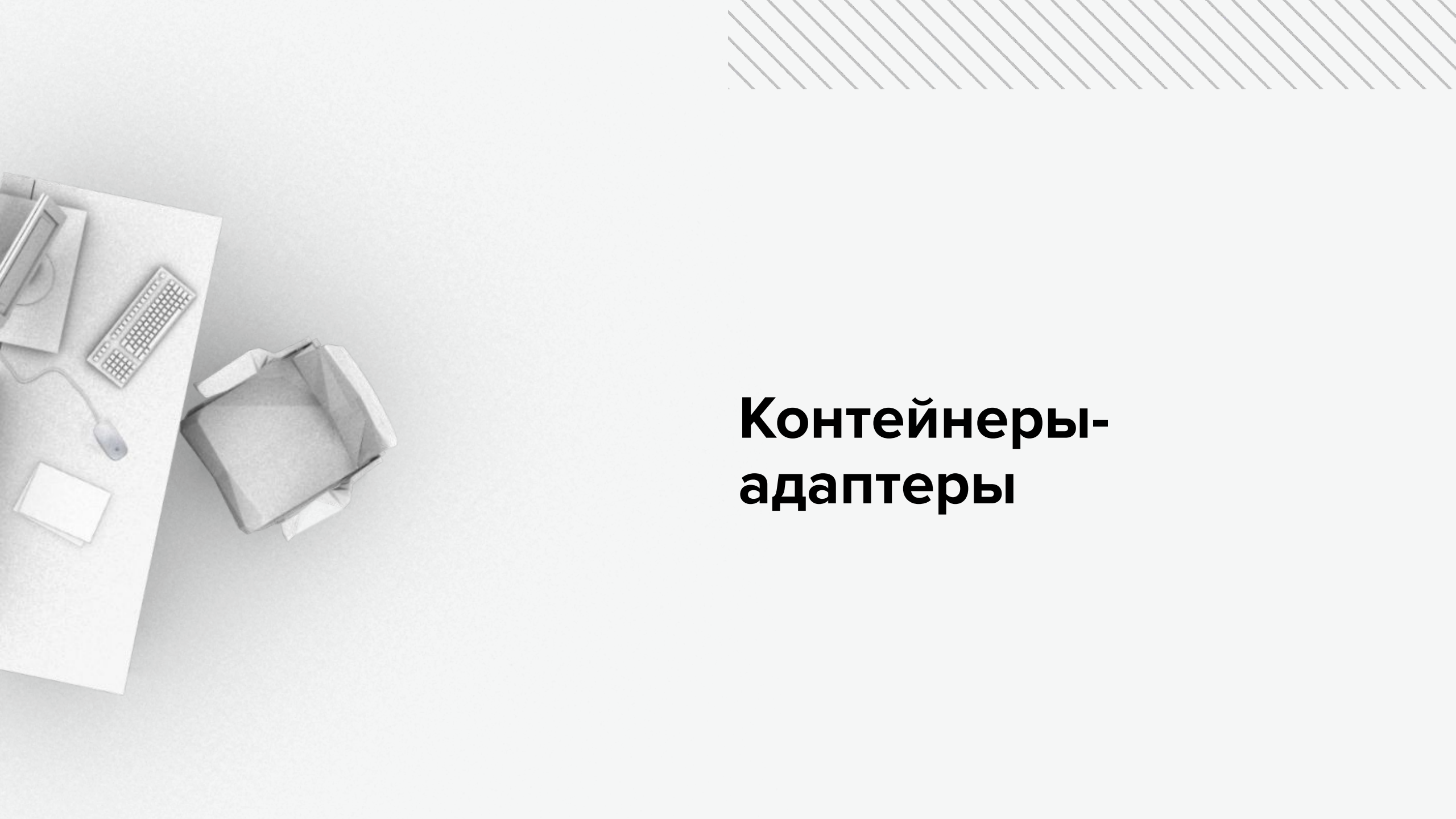
В `set` и `map` ключи уникальны, в `multi` версиях контейнеров допускаются наличие значений с одинаковым ключом.

Вставка	Удаление	Поиск	Доступ
$O(1)$ или $O(n)$	$O(1)$ или $O($	$O(1)$	$O(1)$

Ассоциативные контейнеры

```
#include <unordered_map>

std::unordered_map<std::string, size_t> frequencyDictionary;
std::string word;
while (getWord(word))
{
    auto it = frequencyDictionary.find(word);
    if (it == frequencyDictionary.end())
        frequencyDictionary[word] = 1;
    else
        it->second++;
}
```



Контейнеры- адаптеры

Контейнеры-адаптеры

Являются обертками над другими контейнерами и предоставляют нужный интерфейс.

1. `stack<T, Container = std::deque<T>>`
2. `queue<T, Container>`
3. `priority_queue<T, Container, Compare>`

std::stack

Реализует интерфейс стека - положить значение в стек, извлечь значение из стека, последний пришел первый вышел (LIFO).

```
#include <stack>

std::stack<int> s;
s.push(3);
s.push(5);
int x = s.top(); // 5
s.pop();
int y = s.top(); // 3
```

std::queue

Реализует интерфейс очереди - положить значение в стек, извлечь первое значение из стека, первый пришел первый вышел (FIFO).

```
template<class T, class Container = std::deque<T>>
class queue;

void push(const value_type& value);
void push(value_type&& value);
reference front();
const_reference front() const;
void pop();
```

std::priority_queue

Отличие от queue - за $O(1)$ можно извлечь элемент наиболее полно удовлетворяющий условию.

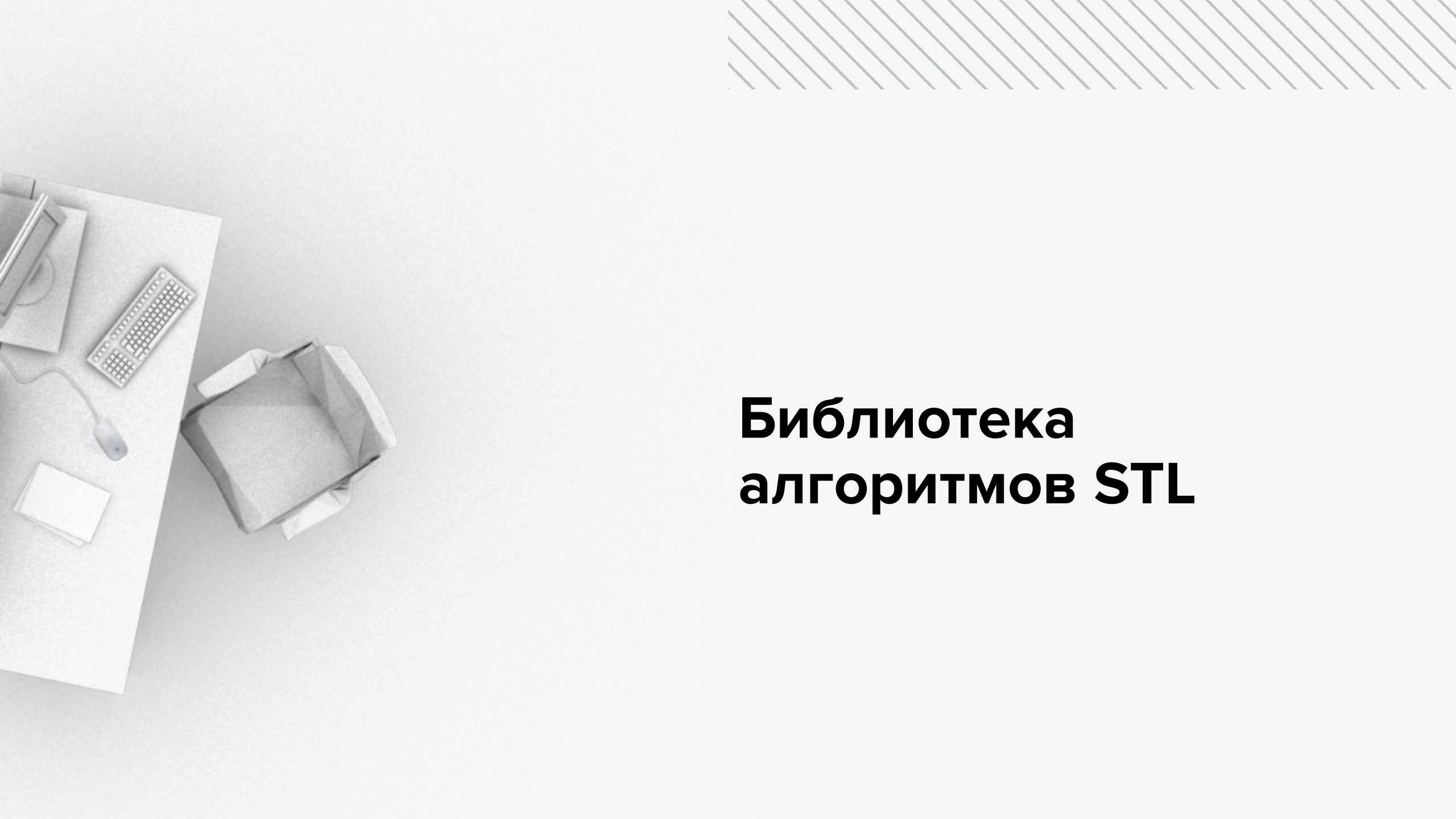
```
#include <queue>

template<
    class T,
    class Container = std::vector<T>,
    class Compare = std::less<typename Container::value_type>>
class priority_queue;
```

Code time!




1. Хотим получить TOP-k наибольших элементов в массиве!



Библиотека алгоритмов STL



Библиотека алгоритмов STL

- 
1. Не изменяющие последовательные алгоритмы
 2. Изменяющие последовательные алгоритмы
 3. Алгоритмы сортировки
 4. Бинарные алгоритмы поиска
 5. Алгоритмы слияния
 6. Кучи
 7. Операции отношений

Не изменяющие последовательные алгоритмы

Не изменяют содержимое последовательности и решают задачи поиска, подсчета элементов, установления равенства последовательностей.

adjacent_find

Возвращает итератор, указывающий на первую пару одинаковых объектов, если такой пары нет, то итератор - `end`.

```
std::vector<int> v { 1, 2, 3, 3, 4 };  
auto i = std::adjacent_find(v.begin(), v.end());  
// *i == 3
```


Не изменяющие последовательные алгоритмы

all_of

Проверяет, что все элементы последовательности удовлетворяют предикату.

```
std::vector<int> v { 1, 2, 3, 4 };  
if (std::all_of(v.begin(), v.end(), [](int x) { return x < 5;  
}))  
    std::cout << "all elements are less than 5";
```

any_of

Проверяет, что хоть один элемент последовательности удовлетворяет предикату.

Не изменяющие последовательные алгоритмы

none_of

Проверяет, что все элементы последовательности не удовлетворяют предикату.

count, count_if

Возвращает количество элементов, значение которых равно value или удовлетворяет предикату.

```
std::vector<int> v { 3, 2, 3, 4 };  
auto n = std::count(v.begin(), v.end(), 3);  
// n == 2
```

Не изменяющие последовательные алгоритмы

equal

Проверяет, что две последовательности идентичны.

```
bool isPalindrome(const std::string& s)
{
    auto middle = s.begin() + s.size() / 2;
    return std::equal(s.begin(), mid, s.rbegin());
}
```

```
isPalindrome("level"); // true
```

Есть версия принимающая предикат.



Не изменяющие последовательные алгоритмы

find, find_if, find_if_not

Находит первый элемент последовательности удовлетворяющий условию.

find_end

Находит последний элемент последовательности удовлетворяющий условию.

Не изменяющие последовательные алгоритмы

`find_first_of`

Ищет в первой последовательности первое вхождение любого элемента из второй последовательности.

```
std::vector<int> v { 0, 2, 3, 25, 5 };
std::vector<int> t { 3, 19, 10, 2 };
auto result = std::find_first_of(v.begin(), v.end(),
t.begin(), t.end());
if (result == v.end())
    std::cout << "no matches found\n";
else
    std::cout << "found a match at "
        << std::distance(v.begin(), result) << "\n";
```

Не изменяющие последовательные алгоритмы

for_each

Вызывает функцию с каждым элементом последовательности.

```
std::vector<int> v { 3, 2, 3, 4 };  
auto print = [](int x) { std::cout << x; };  
std::for_each(v.begin(), v.end(), print);
```



Не изменяющие последовательные алгоритмы

search

Ищет вхождение одной последовательности в другую последовательность.

search_n

Возвращает итератор на начало последовательности из n одинаковых элементов или end.

```
auto it = search_n(data.begin(), data.end(), howMany, value);
```

Не изменяющие последовательные алгоритмы

mismatch

Возвращает пару итераторов на первое несовпадение элементов двух последовательностей.

```
std::vector<int> x { 1, 2 };  
std::vector<int> y { 1, 2, 3, 4 };  
auto pair = std::mismatch(x.begin(), x.end(), y.begin());  
// pair.first == x.end()  
// pair.second = y.begin() + 2
```


Модифицирующие последовательные алгоритмы

Изменяют содержимое последовательности, решают задачи копирования, замены, удаления, перестановки значений и т.д.

copy, copy_if, copy_n

Копируют диапазон последовательности в новое место.

```
std::vector<int> data { 1, 2, 3, 4 };
std::copy(data.begin(), data.end(),
          std::ostream_iterator<int>(std::cout, " "));
std::vector<int> data { 1, 2, 3, 4 };
std::vector<int> out;
std::copy(data.begin(), data.end(), std::back_inserter(out));
```

Модифицирующие последовательные алгоритмы

copy_backward

Аналогично copy, но в обратном порядке.

move, move_backward

Аналогично copy, но вместо копирования диапазона используется перемещение.

fill, fill_n

Заполнение диапазона значениями.

```
std::vector<int> data { 1, 2, 3, 4 };  
std::fill(data.begin(), data.end(), 0);
```



Модифицирующие последовательные алгоритмы

generate, generate_n

Заполнение сгенерированными значениями.

```
std::vector<int> randomNumbers;  
auto iter = std::back_inserter(randomNumbers);  
std::generate_n(iter, 100, std::rand);
```

Модифицирующие последовательные алгоритмы

`remove, remove_if`

Удаляет элементы удовлетворяющие критерию. Если быть точным данные алгоритмы ничего не удаляют, просто изменяют последовательность так, чтобы удаляемые элементы были в конце и возвращают итератор на первый элемент.

```
std::string str = "Text\t with\t \ttabs";
auto from = std::remove_if(str.begin(), str.end(),
                           [](char x) { return x == '\t'; })
// Text with tabs\t\t\t
str.erase(from, str.end());
// Text with tabs
```

Модифицирующие последовательные алгоритмы

remove_copy, remove_copy_if

То же, что и remove, но то, что не должно удаляться копируется в новое место.

```
std::string str = "Text with  spaces";  
std::remove_copy(str.begin(), str.end(),  
                 std::ostream_iterator<char>(std::cout), ' ');  
Textwithspaces
```

Модифицирующие последовательные алгоритмы

replace, replace_if

Заменяет элементы удовлетворяющие условию в последовательности.

```
std::string str = "Text\twith\ttabs";  
std::replace_if(str.begin(), str.end(),  
    [](char x) { return x == '\t'; }, ' ');
```

reverse

Поворачивает элементы последовательности задом наперед.



Модифицирующие последовательные алгоритмы

swap

Меняет два элемента местами.

```
int x = 3;  
int y = 5;  
std::swap(x, y);
```

iter_swap

Меняет два элемента на которые указывают итераторы местами.

Модифицирующие последовательные алгоритмы

shuffle

Перемешивает диапазон последовательности.

```
std::vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10};
```

```
std::random_device rd;  
std::mt19937 gen(rd());
```

```
std::shuffle(v.begin(), v.end(), gen);
```


Модифицирующие последовательные алгоритмы

unique

Удаляет (аналогично remove) дубликаты в последовательности, последовательность должна быть отсортирована.

```
std::vector<int> v { 1, 1, 2, 3, 3 };  
const auto from = std::unique(v.begin(), v.end());  
// 1 2 3 1 3  
v.erase(from, v.end());  
// 1 2 3
```

Алгоритмы сортировки

is_sorted

Проверяет упорядочена ли последовательность.

```
std::vector<int> v = { 1, 2, 3 };  
const bool isSorted =  
    std::is_sorted(v.begin(), v.end());  
// true
```

Алгоритмы сортировки

sort

Сортирует последовательность.

```
std::vector<int> v = { 2, 3, 1 };  
std::sort(v.begin(), v.end(),  
    [](int x, int y) { return x > y; });  
// 3 2 1
```

Сложность $O(n * \log n)$

Алгоритмы сортировки

partial_sort

Сортирует часть последовательности (TOP-N).

```
std::array<int, 10> s { 5, 7, 4, 2, 8, 6, 1, 9, 0, 3 };  
std::partial_sort(s.begin(), s.begin() + 3, s.end());  
// 0 1 2 7 8 6 5 9 4 3
```

Сложность $O((\text{last}-\text{first}) * \log (\text{middle}-\text{first}))$



Алгоритмы сортировки



stable_sort

Сортирует последовательность, если два объекта равны, их порядок не изменится.

Сложность $O(n * \log_2 n)$

Алгоритмы сортировки

nth_element

Помещает элемент в позицию n, которую он занимал бы после сортировки всего диапазона.

```
std::vector<int> v { 3, 1, 4, 5, 2 };  
const auto medianIndex = v.size() / 2;  
std::nth_element(v.begin(), v.begin() + medianIndex, v.end());  
const auto median = v[medianIndex];  
// 3
```

Алгоритмы бинарного поиска

Последовательности к которым применяются алгоритмы должны быть отсортированы.

binary_search

Поиск по отсортированной последовательности.

```
std::vector<int> v { 1, 2, 3, 4, 5 };  
bool has2 = std::binary_search(v.begin(), v.end(), 2);  
// true
```

Алгоритмы бинарного поиска

lower_bound

Возвращает итератор, указывающий на первый элемент, который не меньше, чем value.

```
std::vector<int> v { 1, 2, 3, 4, 5 };  
//                ^  
auto it = std::lower_bound(v.begin(), v.end(), 2);
```


Алгоритмы бинарного поиска

upper_bound

Возвращает итератор, указывающий на первый элемент, который больше, чем value.

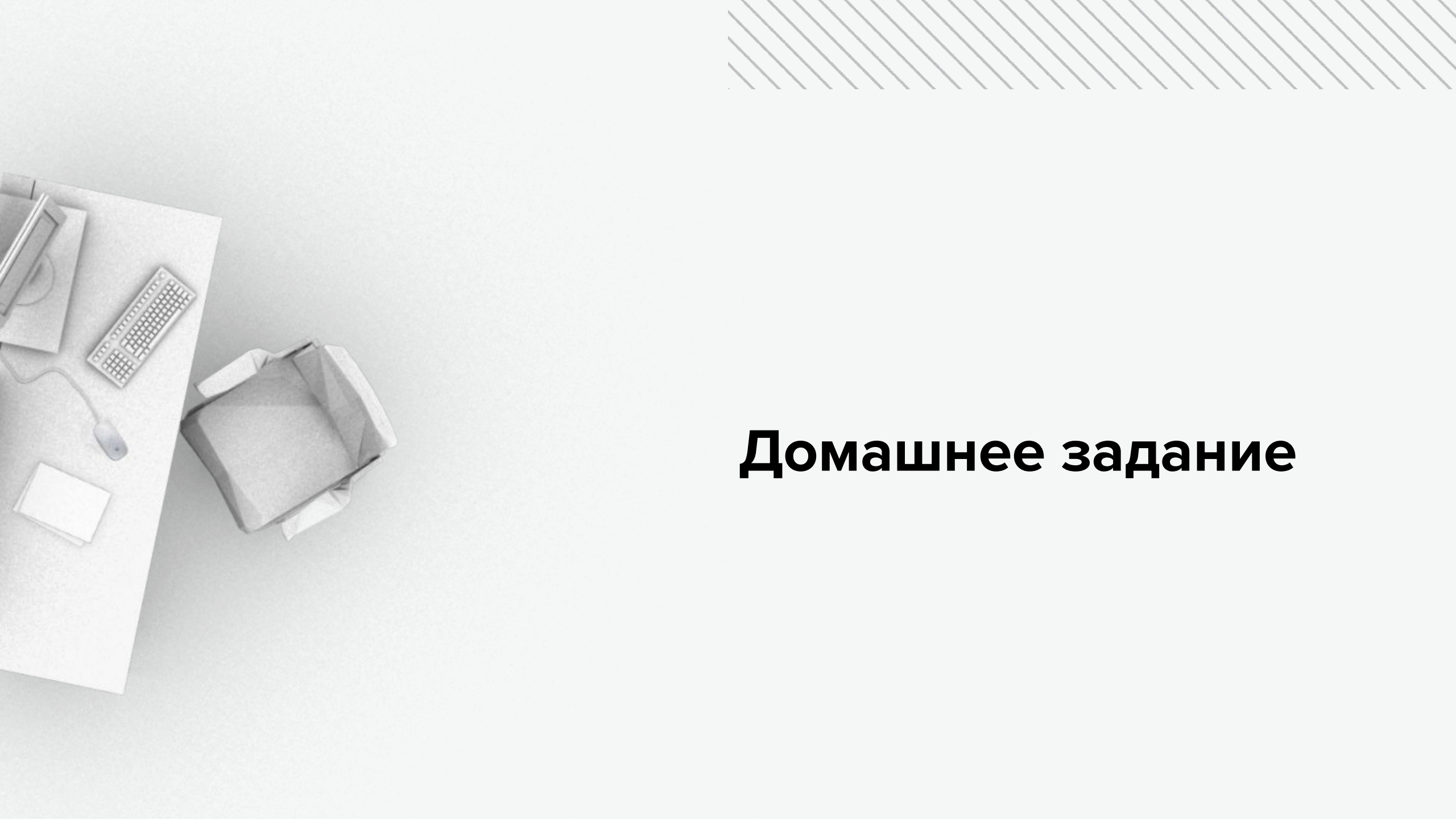
```
std::vector<int> v { 1, 2, 3, 4, 5 };  
//                ^  
auto it = std::upper_bound(v.begin(), v.end(), 2);
```

Алгоритмы бинарного поиска

equal_range

Возвращает такую пару итераторов, что элемент на который указывает первый итератор не меньше value, а элемент на который указывает второй итератор больше value.

```
std::vector<int> v { 1, 2, 3, 4, 5 };  
//                ^  ^  
auto pair = std::equal_range(v.begin(), v.end(), 2);
```

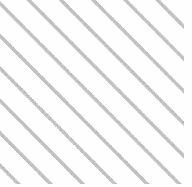


Домашнее задание

Домашнее задание (1)

Написать свой контейнер `Vector` аналогичный `std::vector`, аллокатор и итератор произвольного доступа для него. Из поддерживаемых методов достаточно `operator[]`, `push_back`, `pop_back`, `emplace_back`, `empty`, `size`, `clear`, `begin`, `end`, `rbegin`, `rend`, `resize`, `reserve`, `capacity`.

Интерфейс аллокатора и итератора смотрите в документации.



Домашнее задание по уроку #8

Домашнее задание №7

#085

?

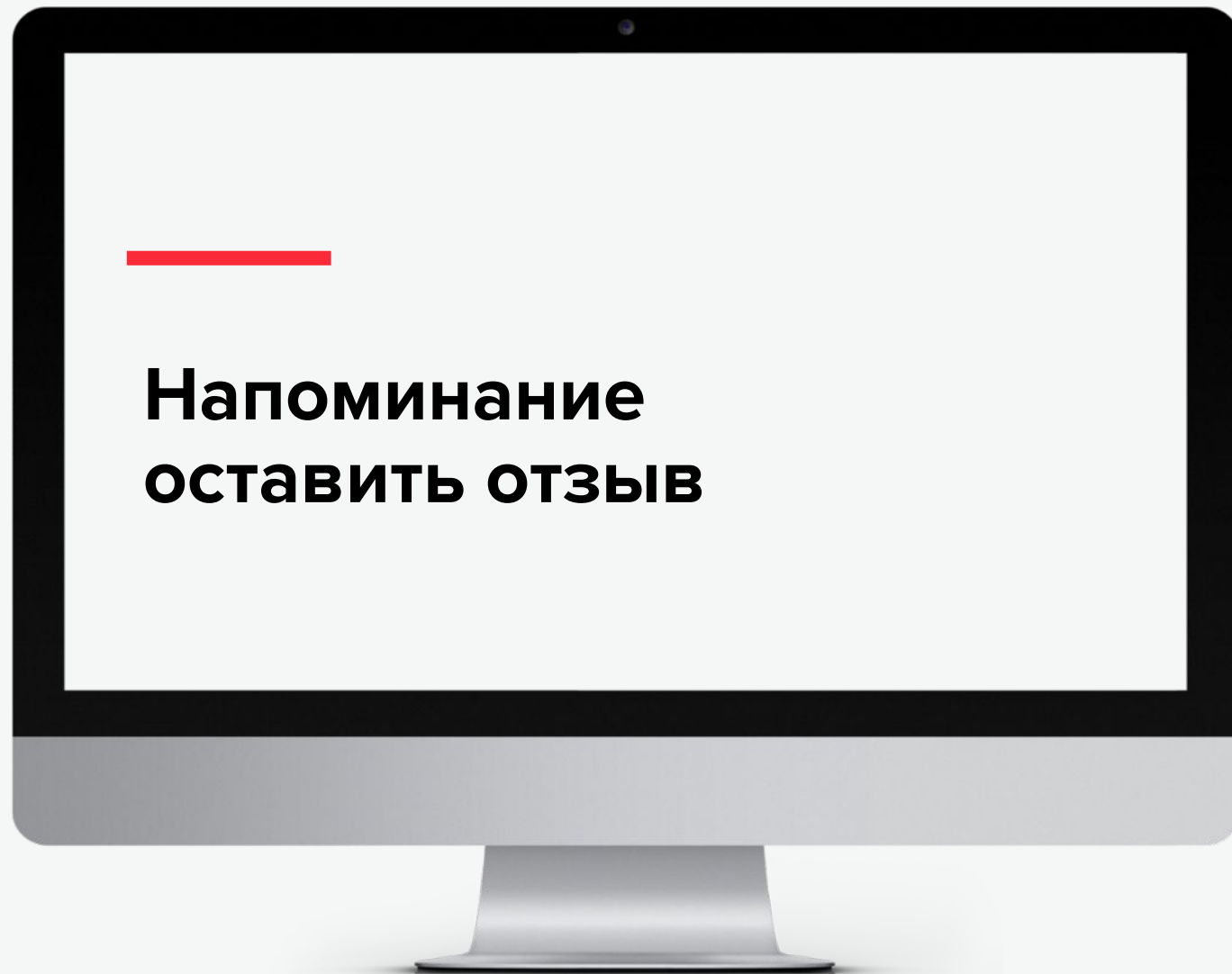
Баллов
за задание

07.05.21

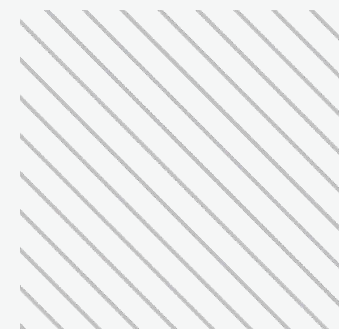
Срок
сдачи

Полезная литература в помощь

- Документация стандартной библиотеки



**Напоминание
ОСТАВИТЬ ОТЗЫВ**



**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ**

