

Билеты к экзамену C++
МКН, Современное программирование
семестр II

Тамарин Вячеслав

June 17, 2020

Contents

Вопрос 1	Шаблоны	2
i	Решение в стиле <i>C</i>	2
ii	Шаблонные классы	2
iii	Шаблонные функции	3
iv	Специализация	4
v	Шаблонный параметр, не являющийся типом	4
Вопрос 2	Исключения	5
i	Обработка ошибок в стиле <i>C</i>	5
ii	try/catch/throw	6
iii	Идиома RAII	6
iv	Гарантии	7
Вопрос 3	Ввод-вывод в <i>C++</i>	9
i	Иерархия классов	9
ii	Обработка ошибок	10
iii	Формат вывода	10
iv	Ввод-вывод пользовательских типов	10
Вопрос 4	Приведение типов	11
i	Приведение типов в <i>C</i>	11
ii	Приведение типов в <i>C++</i>	11
iii	Технология RTTI (Run-Time Type Information)	12
Вопрос 5	Последовательные контейнеры	13
i	string, vector, list	13
ii	Итераторы	14
Вопрос 6	Ассоциативные контейнеры	16
i	set, multiset	16
ii	map, multimap	17
iii	Инваляция	18
iv	Собственный компаратор	18

Вопрос 1 Шаблоны

- решение в стиле C (`#define`)
- шаблонные классы
- шаблонные функции
- специализация шаблонов (частичные и полные; в т.ч. для функций)
- шаблонный параметр, не являющийся типом

i Решение в стиле C

Пусть есть класс массива для целых чисел или умный указатель

```
1 class MyArray {
2 private:
3     int *array;
4 };
5
6 class scoped_ptr {
7 private:
8     GaussNumber *ptr;
9 }
```

Эти классы рассчитаны только для одного типа данных и для каждого типа придется вручную создавать новый тип.

Решить проблему можно с помощью `#define`. Классы для каждого нового типа будет генерировать препроцессор с помощью макросов.

```
MyArray.h
1 #define MyArray(TYPE) class MyArray_#TYPE {\
2 private: \
3     TYPE *array; \
4     size_t size; \
5 public: \
6     TYPE get(size_t index) { \
7         return array[index]; \
8     } \
9 };
```

```
main.c
1 #include "MyArray.h"
2 MyArray(int);
3 MyArray(double);
4
5 int main() {
6     MyArray_int a; // вместо MyArray(int) будет полный текст макроса
7     MyArray_double b;
8 }
```

Проблема: Программист и компилятор видят разный исходный текст, разные сообщения об ошибках, препроцессор заменит любое подходящее слово на данный код.

ii Шаблонные классы

```
MyArray.h
1 template <typename T>
2 class MyArray {
3 private:
4     T *array;
5     size_t size;
```

```

6 public:
7     T& get(size_t index) {
8         return array[i];
9     }
10 };

```

Можно вынести определение методов за пределы объявления класса

```

1 template<class T> // синоним template<typename T>
2 T& MyArray<T>::operator[] (size_t index) {
3     return array[i];
4 }

```

```

1 #include "MyArray.h"
2 int main() {
3     MyArray<int> a;
4     MyArray<double> b;
5     MyArray<MyArray<int>> c; // лучше не писать до c++11
6 }

```

Особенности:

1. Подстановку делает компилятор, а не препроцессор
2. Код шаблонного класса всегда в заголовочном файле
3. Иногда помещают в `MyArray_impl.h`
4. Увеличивается время компиляции
5. Методы шаблонного класса всегда `inline`

iii Шаблонные функции

```

1 template <class T>
2 void swap(T &a, T &b) {
3     T t(a);
4     a = b;
5     b = t;
6 }
7 int i = 10, j = 20;
8 swap<int>(i, j);

```

```

1 template <typename V>
2 void reverse(MyArray<V> &a) {
3     V t;
4     for (size_t i = 0; i < a.size()/2; ++i) {
5         t = a.get(i);
6         a.set(i, a.get(a.size() - i - 1);
7         a.set(a.size() - i - 1, t);
8     }
9 }
10 // Вызов
11 reverse<int>(a);

```

Вывод шаблонных параметров

Компилятор может понять, какие аргументы у шаблона функции, если это однозначно определяется.

```

1 MyArray<int> a;
2 MyArray<double> b;
3 reverse(a);
4 reverse(b);

```

iv Специализация

Идея: оптимизация для конкретного класса.

Общая версия

```

1 template<typename T>
2 class Array {
3 private:
4     T *a;
5 public:
6     Array (size_t size) {
7         a = new T [size];
8         ...
9     }
10 };

```

Полная специализация

Для bool

```

1 template<>
2 class Array<bool> {
3 private:
4     char *a;
5 public:
6     Array (size_t size) {
7         a = new char [(size-1)/8 + 2];
8         ...
9     }
10 };

```

Частичная специализация

Для массивов

```

1 template<class T>
2 class Array <Array<t>> {
3     T **a;
4 };

```

v Шаблонный параметр, не являющийся типом

```

1 template<size_t Size>
2 class Bitset {
3 private:
4     char m[(Size-1)/8 + 1];
5 public:
6     bool get(size_t index) { ... }
7 };
8
9 Bitset<128> b1;

```

Вопрос 2 Исключения

- обработка ошибок в стиле C
- try/catch/throw
- исключения в конструкторах и деструкторах
- идиома RAII: использование и примеры классов
- гарантии исключений

Виды ошибок:

1. По вине программиста

Примеры

```
1 char *s = NULL;
2 size_t l = strlen(s);
3 Array a(-1);
```

Обработка этих ошибок

- Лучше выявить на стадии тестирования
- Если программа идеальна, не происходят
- Библиотека C такие ошибки не обрабатывает
- Библиотека C++ по-разному: `vector.at(i)`, `vector.operator[i]`
- Обработать или нет — на усмотрение программиста

2. По вине окружения

- Файл не существует
- Сервер разорвал соединение
- Вместо числа ввели букву

Обработка ошибок

- Могут происходить и при работе идеальной программы
- Обязательно обрабатывать

i Обработка ошибок в стиле C

Для обработки ошибок:

- Проверка на наличие ошибки в if
- Освобождение ресурсов

```
1 delete [] array;
2 close(f);
```

- Сообщить пользователю или вызывающей функции

```
1 FILE *f = fopen("a.txt", "r");
2 if (f == NULL) {
3     printf("File a.txt not found\n");
4 }
5
6 if (f == NULL) {
7     return -1;
8 }
```

- Предпринять действия по восстановлению (попытаться соединиться еще раз)

В стиле C информация об ошибке передается через возвращаемое значение и через глобальную переменную:

```

1 FILE* fopen(...) {
2     if (file not found) {
3         errno = 666;
4         return NULL;
5     }
6     if (permission denied) {
7         errno = 777;
8         return NULL;
9     }
10    ...
11 }

```

По возвращаемому значению не знаем причину ошибки, глобальная переменная хранит код ошибки, можно получить оттуда сообщение (`strerror(code)`) .

Не всегда хватает диапазона возвращаемых значений функции

```

1 class Array {
2     int *a;
3 public:
4     // возвращает -1, когда индекс выходит за границу
5     int get(size_t index);
6 };
7 int r1 = atoi("0");
8 int r2 = atoi("a"); // ?

```

Также код логики и обработка ошибок перемешаны

```

1 r = fread(...);
2 if (r < ...) {
3     // error
4 }
5 r = fseek(...);
6 if (r != 0) {
7     // error
8 }

```

ii try/catch/throw

Структура исключений

```

1 class MyException {
2 private:
3     char message[256];
4     // filename, line, function name ...
5 public:
6     const char* get();
7 };
8
9 double divide (int a, int b) {
10     if (b == 0) {
11         throw MyException("Division by zero");
12     }
13     return a/b;
14 }

```

Структура исключений

```

1 try {
2     x = divide(c, d);
3 }
4 catch (MyException& e) {
5     std::cout << e.get(); // сообщаем пользователю
6     // можем освободить ресурсы
7     // throw e; проинформировать вызвавшую функцию

```

iii Идиома RAII

Взятие ресурса должно «инкапсулировать» в класс, чтобы в случае исключения вызвался деструктор и освободил ресурс.

```

1 void f() {
2     MyArray buffer(n);
3     if ( ... ) throw MyException( ... );
4 }

```

Если в `divide` произойдет исключение, объект еще не будет «достроен», поэтому деструктор не вызовется:

Поэтому нужно предусмотреть такую ситуацию и обернуть конструктор в `try/catch`:

Исключения в деструкторе бросать нельзя, так как они могут подменить реальную причину ошибки. Если так происходит, программа аварийно завершается. В такой ситуации можно поступить так:

```

1 void g() {
2     autoPtr p(new Person("Jenya", 36, true));
3     divide(c, e); // может быть исключение

```

```

1 class PhoneBookItem {
2     PhoneBookItem (const char *audio, const char *pic) {
3         af = fopen(audio, "r");
4         pf = fopen(pic, "r");
5         divide(c, e); // исключение
6         f();
7     }
8     ~PhoneBookItem() {
9         fclose(af);
10        fclose(pf);
11    }

```

```

1 class PhoneBookItem {
2     PhoneBookItem (const char *audio, const char *pic) {
3         try {
4             af = fopen(audio, "r");
5             pf = fopen(pic, "r");
6             divide(c, e); // исключение
7             f();
8         }
9         catch(MyException& e) {
10            fclose(af);
11            fclose(pf);
12            throw e;
13        }
14    }
15 }

```

```

1 class PersonDatabase {
2     ~PersonDatabase() {
3         try {
4             // брошена серверная ошибка
5             networkLogger.log("Database is closed.");
6         }
7         catch (...) {} // поймать все
8     }
9 };
10
11 f() {
12     PersonDatabase db;
13     if (...) throw MyException("Error: disk is full.")
14 }

```

iv Гарантии

Гарантии:

1. обязательства функции (метода) с точки зрения работы с исключениями
2. документация для программиста, работающего с функцией (методом)

Виды гарантий:

no throw guarantee не бросает исключений вообще


```

1 void strlen(const char *s) {
2     int count = 0;
3     while (*s != 0) {
4         s++; count++;
5     }
6     return count;
7 }

```

```

1 void f() {
2     try {
3         strlen(s);
4         divide(a, b);
5     }
6     catch (...) { }
7 }

```

basic guarantee в случае возникновения исключения ресурсы не утекают

Если произойдет исключение, то память «течь» не будет, но измененные элементы array свои значения не восстановят:

```

1 class PersonDatabase {
2     MyVector<Person> array;
3     void process() {
4         auto_ptr<Person> p(new Person());
5         for (int i = 0; i < array.length; i++) {
6             int a = divide(rand(), rand())
7             // может быть исключение
8             array[i]->setAge(a);
9             std::cout << p;
10        }
11    }
12 };

```

strong guarantee переменные принимают те же значения, что были до возникновения ошибки

Идиома copy-and-swap

```

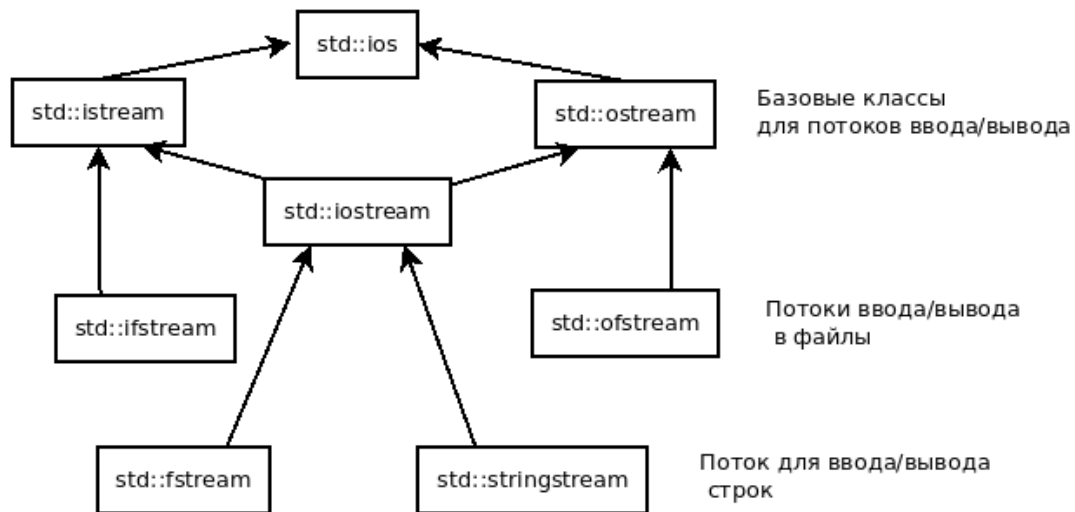
1 class PersonDatabase {
2     MyVector<Person> array;
3     void process() {
4         auto_ptr<Person> p(new Person());
5         MyVector<Person> copy(array);
6         for (int i = 0; i < array.length; i++) {
7             int a = divide(rand(), rand())
8             // может быть исключение
9             copy[i]->setAge(a);
10        }
11        array = copy;
12    }
13 };

```

Вопрос 3 Ввод-вывод в C++

- иерархия классов
- методы/флаги/манипуляторы
- обработка ошибок
- ввод-вывод пользовательских типов

i Иерархия классов



Глобальные переменные `cin` (`istream`), `cout` (`ostream`), `cerr` (`ostream`).

Стандартная библиотека содержит перегруженные операторы `operator >>`, `operator <<` для примитивных типов и строк.

```
1 std::ostream& operator << (std::ostream& os, int v) {
2     // convert int to bytes, write bytes
3     return os;
4 }
```

```
1 std::istream& operator >> (std::istream& is, int& v) {
2     // read bytes, convert to int
3     return is;
4 }
```

Такой код приводит к очистке буфера `flush` потока, что замедляет вывод:

```
1 std::cout << x << std::endl;
```

Оператор читает строку до пробела, `getline` до конца строки:

```
1 std::ifstream ifstream if("in.txt");
2 std::string word;
3 if >> word;
4 std::string line;
5 getline(if, line);
```

Побайтовый ввод/вывод: `read`, `write`, `seekg`, `tellg`.

ii Обработка ошибок

rdstate() — чем закончилась последняя операция: eofbit, goodbit, failbit (считываем другим типом), badbit (не существует файла)

iii Формат вывода

```
1 int x = 255;
2 std::cout.setf(std::ios::hex, std::ios::basefield);
3 std::cout << x; // после вывода флаг очистится
```

Через манипуляторы

```
1 ostream& operator << (ostream& (*pf)(ostream&));
```

iv Ввод-вывод пользовательских типов

```
1 class Point {
2 private:
3     int x;
4     int y;
5 public:
6     friend ostream& operator << (ostream& os, const Point& p);
7     friend istream& operator << (istream& is, Point& p);
8     // friend функция может иметь доступ к приватным членам
9 };
10
11 ostream& operator << (ostream& os, const Point& p) {
12     os << p.x << " " << p.y << "\n";
13     return os;
14 }
15 istream& operator << (istream& is, Point& p) {
16     is >> p.x >> p.y;
17     return is;
18 }
```

Так как ostream — базовый класс, можно использовать один и тот же оператор для вывода на экран, строку и файл: (cout, ofstream of("file"), stringstream ss).

Вопрос 4 Приведение типов

- C-style cast, static_cast, const_cast, reinterpret_cast - поведение и преимущества
- RTTI и dynamic_cast

i Приведение типов в C

```
1 void f(char *p);
2 int *pi = malloc(100 * sizeof(int));
3 f(pi); // неявное приведение типов
4
5 int a = 65535;
6 char b = a; // неявное приведение типов
7
8 int c = 3.5; // тоже неявное
9
10 int a = 5; int b = 6;
11 double c = a / (double)b; // явное, действительно шотим
```

Неявное приведение может вызвать warning, если указать -Wall -Werror, станет ошибкой.

ii Приведение типов в C++

Явное приведение требуется для указателей (кроме к void* и приведения у базовому классу).

```
1 void *f();
2 int* pi = (int*) f();
3
4 // class B : public class A
5 void print(const A* p);
6 B b;
7 print(&b);
```

Приведение для классов

```
1 Class BigInt {
2     BigInt(int a); // from int
3     operator int(); // to int
4
5     BigInt(const Complex&); // from Complex
6     operator Complex(); // to Complex
```

Явное приведение упрощает поиск в коде и более точно выражает намерение программиста:

- Разные cast'ы для разных случаев
- Компилятор делает более точную проверку

explicit запрещает неявное приведение.

static_cast

Примитивные типы; классы, связанные с наследованием; приведение к void*; пользовательские преобразования BigInt → int

```
1 int a = 65535;
2 char b = static_cast<char>(a);
3
4 // class B: public class A
5 void f(B *b);
6 A *a = new B();
7 f(static_cast<B*>(a));
```

reinterpret_cast

Указатели разных типов

```
1 void* f();
2 int* pi = reinterpret_cast<int*>(f());
3
4 char *pc = ...; int *pi = ...;
5 pc = reinterpret_cast<char*> pi;
```

const_cast

Добавление и удаление const

```
1 char const *p1 = "Hello";
2 char *p2 = const_cast<char*>(p1);
3 p2[0] = 'h'; // undefined behavior
```

iii Технология RTTI (Run-Time Type Information)

- Оператор dynamic_cast осуществляет безопасное преобразование указателя на базовый класс в указатель на производный (ссылки).
- Оператор typeid возвращает фактический тип объекта для указателя (ссылки).

dynamic_cast

```
1 // class B: public class A;
2 // class C: public class A;
3 void f(B *b);
4
5 A *a = new C();
6 f(static_cast<B*>(a)); // при компиляции без ошибок, но undefined behavior во время работы
7
8 if (dynamic_cast<B*>(a) != 0) {
9     f(static_cast<B*>(a));
10 }
```

Фактический тип

```
1 #include <typeinfo>
2 // class C: public class A
3 A *a = new C();
4 type_info ti = typeid(*a); // требуется ссылка
5 ti.name(); // "C"
```

- RTTI работает для классов с виртуальными функциями, информация о типе хранится в таблице виртуальных функций
- Чаще всего используется, когда нужно сделать костыль для существующего кода, который нельзя переделать.

```
1 class Shape {
2     virtual draw() = 0;
3 };
4
5 draw_all(Shape* shapes, size_t n) {
6     for (int i = 0; i < n; i++) {
7         Shape *p = shapes[i];
8         p->draw();
9         if (dynamic_cast<AnimatedShape*>(p) != 0)
10             p->animated_draw();
11     }
12 }
```

Вопрос 5 Последовательные контейнеры

- string, vector, list
- array
- внутреннее устройство и основные операции
- итераторы и их инвалидация

Требования к хранимым в контейнере объектам:

1. Корректно работает конструктор копий (copy-constructable)
2. Корректно работает оператор присваивания

Методы всех контейнеров:

1. Конструктор по умолчанию, конструктор копирования, оператор присваивания, деструктор
2. Операторы сравнения: `==`, `!=`, `>`, `>=`, `<`, `<=`
3. `size()`, `empty()`
4. `swap(obj2)`
5. `insert()`, `erase()`
6. `clear()`
7. `begin()`, `end()`

Особенности последовательных контейнеров:

1. Сохраняют порядок, в котором были добавлены элементы
2. Есть добавление в конец: `push_back`

i string, vector, list

vector

Динамический массив с автоматическим изменением размера при добавлении элементов.

```
1 std::vector<int> v;
```

1. Для уменьшения числа вызовов `new` при добавлении элементов выделяется с запасом
2. `size`, `capacity`
3. Сложность добавления в конец вектора и удаления из конца — $\mathcal{O}^*(1)$
4. Сложность добавления и удаления элемента из начала или середины — $\mathcal{O}(n)$
5. Сложность доступа к элементу по индексу — $\mathcal{O}(1)$

Методы:

1. `size()/resize()` — получение/изменение размера вектора
2. `capacity()/reserve()` — получение/изменение зарезервированной памяти
3. `push_back()/pop_back()` — добавление/удаление последнего элемента
4. `operator[]`, `at()` — получение элемента по индексу
5. `data()` — указатель на массив

```
1 #include <vector>
2
3 int main() {
4     std::vector<int> v;
5     v.push_back(10);
6     v.pop_back();
7 }
```

```

7   v[0] = 13;
8   v.at(0) = 14;
9   size_t size = v.size();
10  bool is_empty = v.empty();
11  v.clear();
12  v.resize(10); // меняем размер на 10 элементов, работает, если есть конструктор по умолчанию
13  v.resize(20, 5); // новые 10 элементов будут равны 5
14
15  int *dst = new ...
16  memcpy(dst, v.data(), v.size());
17
18  v.reserve(100); // резервируем память на 100 элементов, размер не меняется
19  v.reserve(v.size() + 100);
20  v.clear(); // изменил размер до 0, но вместимость не изменится
21  vector<int>(v).swap(v); // уменьшить размерность вектора до реально используемых элементов
22  return 0;
23 }

```

list

Двусвязный список. Вставка и удаление в любом месте за $(O)(1)$. Нет обращения по индексу. Методы:

1. `size()/resize()` — получение/изменение размера вектора
2. `push_back()/pop_back()` — добавление/удаление последнего элемента
3. `push_front()/pop_front()` — добавление/удаление первого элемента
4. `merge()/splice()` — объединение/разделение

string

Контейнер для хранения символьных последовательностей.

1. Метод `c_str()` для совместимости со старым кодом:

```

1 std::string res = "Hello";
2 printf("%s", res.c_str());

```

2. Алгоритмы `substr()`, `find()`, ...
3. Поддержка преобразований типа с C-строками

```

1 f(const std::string& s);
2 f("Hello");

```

4. `append`, `operator+`, `operator+=`
5. `string = basic_string<char>`
6. `wstring = basic_string<wchar_t>` — для работы с длинными символами

ii Итераторы

Объекты, которые синтаксически ведут себя как указатель (`++`, `-`, `*`, `->`). Это универсальный способ перебора элементов контейнеров в STL. Итераторы реализованы как вложенные классы для контейнеров.

```

1 class vector {
2     ...
3     class iterator {
4         operator ++() { T* ptr++; }
5     }

```

```

6 }
7 vector::iterator it1;
8
9 class list {
10     class iterator {
11         operator ++() { Node<T> ptr = ptr->next; }
12     }
13 }
14 list::iterator it2;

```

Все итераторы имеют функции, которые возвращают итераторы на первый и следующий за последним элемент.

Для vector и deque реализована арифметика, как для указателей:

```

1 int i = *(v.begin() + 5);

```

Проход по контейнеру:

```

1 list<int> l;
2 list<int>::iterator it = l.begin();
3 for (; it != l.end(); ++it) cout << *it;

```

Итератор, не позволяющий менять данные, на которые он указывает:

```

1 list<int>::const_iterator cit = l.begin();

```

Удаление элемента, на который указываем

```

1 it = v.erase(it);

```

Вставка элемента на данную позицию

```

1 it = v.insert(it, 5);

```

Инвалидация итераторов

После того, как произвели операцию с контейнером, итератор может указывать в неверное место.

```

1 std::vector<int> v;
2 it = v.erase(it); // возвращаем следующий элемент
3 std::vector<int>::iterator itb = v.begin();
4 v.push_back(3);
5 v.push_back(5);

```

Поставить перед каждым четным элементом вектора 0:

```

1 std::vector<int> v;
2 for (std::vector<int>::iterator i = v.begin(); i != v.end(); ++i) {
3     if (*i % 2 == 0) {
4         i = v.insert(i, 0);
5         ++i;

```


Вопрос 6 Ассоциативные контейнеры

- set, multiset, map, multimap
- unordered_set, unordered_map
- внутреннее устройство и основные операции
- итераторы и их инвалидация

Особенности:

1. Переупорядочивают элементы для быстрого поиска ($O(\log n)$)
2. Возможные реализации: дерево поиска $O(\log n)$
3. Требуют отношение порядка `operator<()`
4. Нет произвольного доступа по индексу

Общие методы:

1. Конструктор по умолчанию, конструктор копирования, оператор присваивания, деструктор
2. Операторы сравнения: `==`, `!=`, `>`, `>=`, `<`, `<=`
3. `size()`, `empty()`
4. `swap(obj2)`
5. `clear()`
6. `begin()`, `end()`
7. `erase` по ключу
8. `insert/insert` с подсказкой (итератор)
9. `count` число элементов с заданным ключом
10. `find` поиск точного совпадения (возвращает итератор)
11. `lower_bound`, `upper_bound`, `equal_range`

i set, multiset

В set все элементы уникальны, в multiset допустимы дубликаты. Реализованы с помощью BST с ключами в вершине.

```
1 #include <set>
2
3 std::set<int> s;
4 s.insert(10); s.insert(20); s.insert(10); // s.size() = 2
5
6 std::multiset<int> ms;
7 ms.insert(10); ms.insert(20); ms.insert(20); // ms.size() = 3
8
9 std::cout << s.count(20) << " " << ms.count(20) << std::endl;
```

Порядок не сохраняется.

```
1 std::set<int> s;
2 s.insert(10);
3 s.insert(6);
4 s.insert(20);
5 s.insert(5);
6 s.insert(1);
7
8 for (std::set<int>::iterator it = s.begin(); it != s.end(); ++i)
9     std::cout << *it << " ";
10 }
```

Присваивание запрещено.

```
1 std::set<int> s;  
2 s.insert(10);  
3 std::set<int>::iterator it = s.find(10);  
4 *it = 5; // запрещено
```

ii map, multimap

В map элементы уникальны, в multimap — нет. Реализация с помощью BST, в вершине (*key, value*)
Особый метод: `operator[]`.

Вспомогательный класс pair

```
1 template<class F, class S>  
2 struct pair {  
3     F first;  
4     S second;  
5     ... // конструкторы  
6 };  
7  
8 template<class F, class S>  
9 pair<F, S> make_pair(F const& f, S const& s);  
10  
11 template<class Key, class T, ...> class map {  
12     ...  
13     typedef pair<const Key, T> value_type;  
14 };
```

```
1 #include <map>  
2  
3 std::map<string, int> phonebook;  
4 phonebook.insert(std::pair<string, int> ("Mary", 2128506));  
5 phonebook.insert(std::make_pair("Alex", 9286385)); // вывод типов параметров  
6 phonebook.insert(std::make_pair("Bob", 2128506));  
7  
8 std::map<std::string, int>::iterator it = phonebook.find("John");  
9 if (it != phonebook.end())  
10     std::cout << "Jonh`s p/n is " << it->second << std::endl;  
11  
12 for (it = phonebook.begin(); it != phonebook.end(); ++it)  
13     std::cout << it->first << ": " << it->second << "\n";
```

`operator[]` Работает только с неконстантными map. Требует наличие конструктора по умолчанию у T.

```
1 T & operator[](Key const& k) {  
2     iterator i = find(k);  
3     if (i == end())  
4         i = insert(k, T());  
5     return i->second;  
6 }
```

Требует $\mathcal{O}(\log n)$ времени.

Пример

```
1 m["vasya"] = 10;  
2 m["petya"] = 20;  
3 int p = m["kola"]; // если такого ключа нет, будет создан новый элемент со значением 0
```

iii Инвалидация

```
1 std::map<string, int> m;
2 std::map<string, int>::iterator it = m.begin();
3 for (; it != m.end();
4     if (it->second == 0)
5         m.erase(++it);
6     else
7         ++it;
```

В C++11

```
1 for (; it != m.end(); )
2     if (it->second == 0)
3         it = m.erase(it);
4     else
5         ++it;
```

iv Собственный компаратор

```
1 struct Person {
2     string name;
3     string surname;
4 };
5 bool operator < (Person const& a, Person const& b) {
6     return a.name < b.name || (a.name == b.name && a.surname < b.surname);
7 }
8 std::set<Person> s1; // уникальные по name и surname
9
10 struct PersonComp {
11     bool operator () (Person const& a, Person const& b) const {
12         return a.surname < b.surname;
13     }
14 };
15 std::set<Person, PersonComp> s2; // только по surname
```