

Углублённое программирование на C++

Шаблоны

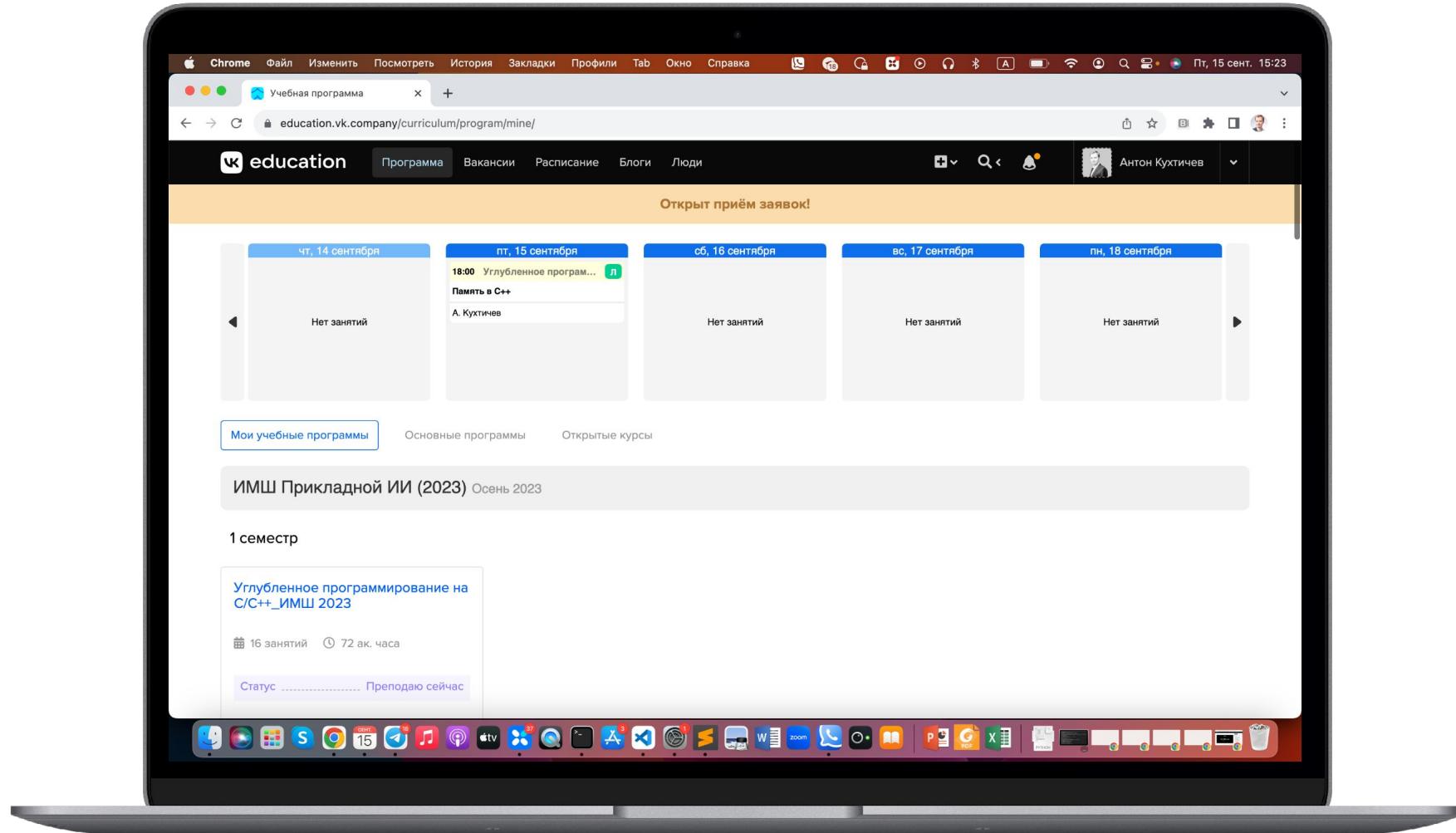
Кухтичев Антон



06 ноября 2025 года

Напоминание отметиться на портале

и оставить отзыв
после лекции



Содержание занятия

- Квиз #5
- Введение в шаблоны
- Инстанцирование шаблона
- Специализация шаблона
- Новые штучки в C++11/14
- SFINAE
- Вариативные шаблоны

Мем недели



Квиз #5



Введение в шаблоны



Мотивация (1)

```
class Matrix
{
private:
    double *data;
public:
    Matrix operator+(const Matrix& lhs);
    Matrix operator-(const Matrix& lhs);
    ...
};
```

Мотивация (2)

```
class MatrixDouble
{
private:
    double *data;
    ...
};
```

```
class MatrixInt
{
private:
    int *data;
    ...
};
```

Мотивация (3)

```
template <class T>
class Matrix
{
    T* data_;
};

Matrix<double> m;

Matrix<int> m;
```

Шаблоны функций

```
template<class T>
void printLine(const T& value)
{
    std::cout << value << std::endl;
}

printLine<int>(5);
printLine(5);
```

Компилятор может самостоятельно вывести тип шаблона в зависимости от аргументов вызова. Но для классов нет!

class или typename

```
template<class T>
void printLine(const T& value)
{
    std::cout << value << std::endl;
}
```

```
template<typename T>
void printLine(const T& value)
{
    std::cout << value << std::endl;
}
```

class и typename эквивалентны.

Инстанцирование шаблона



Инстанцирование шаблона

Инстанцирование шаблона - это генерация кода функции или класса по шаблону для конкретных параметров.

```
template <class T>
bool lessThan7(T value) { return value < 7; }
```

```
lessThan7(5); // Инстанцирование
// bool lessThan7(int value) { return value < 7; }
```

```
lessThan7(5.0); // Инстанцирование
// bool lessThan7(double value) { return value < 7; }
```

Явное указание типа

```
lessThan7<double>(5); // Инстанцирование  
// bool lessThan7(double value) { return value < 7; }
```

Константы как аргументы шаблона

```
template <class T, size_t Size>
class Array
{
    T data_[Size];
};

Array<int, 5> a;
```

Ограничения на параметры шаблона не являются типами

Так можно:

```
template <int N>
int foo()
{
    return N * 2;
}
```

А `double` нельзя (`float` тоже нельзя):

```
template <double N> // Ошибка
void foo()
{}
```

Параметры шаблона должны быть известны на этапе компиляции

```
template <int N>
void foo() { }
```

```
int x = 3;
foo<x>(); // Ошибка
```

Константы на литералы можно:

```
const int x = 3;
foo<x>(); // Ok
```

Параметры шаблона по умолчанию

```
template <class X, class Y = int>
void foo()
{
}
foo<char>();
```

```
template <class T, class ContainerT = std::vector<T>>
class Queue
{
    ContainerT data_;
};
Queue<int> queue
```

Специализация шаблона



Специализация шаблона

```
template <class T>
class Vector
{
    ...
}

template <>
class Vector<bool>
{
    ...
};
```

Псевдонимы типов

Старый способ:

```
typedef int Seconds;
```

```
typedef Queue<int> IntegerQueue;
```

```
Seconds i = 5;
```

```
IntegerQueue j;
```

Новый (рекомендуемый) способ:

```
using Seconds = int;
```

```
using IntegerQueue = Queue<int>;
```

```
Seconds i = 5;
```

```
IntegerQueue j;
```

Псевдонимы типов для шаблонов (alias template)

```
template <class T>
using MyQueue = Queue<T, std::deque<T>>;
```

```
MyQueue<int> y;
```

```
template<class T>
using MyVector = std::vector<T, MyCustomAllocator<T>>;
```

С **typedef** такого добиться нельзя.

Новые штучки в C++11/14/17

auto, decltype, ranged-base for, constexpr



Новый синтаксис функций

```
auto foo() -> void  
{  
}
```

auto

Позволяет статически определить тип по типу выражения.

```
auto i = 5;  
auto j = foo();
```



1. Скотт Майерс. Эффективный и современный C++. Пункт 1.2. Вывод типа auto.

range-based for и auto

```
for (auto i : { 1, 2, 3 })  
    std::cout << i;
```

```
for (auto& i : data)  
    i.foo();
```

decltype (1)

Позволяет статически определить тип по типу выражения.

```
int foo() { return 0; }
```

```
decltype(foo()) x = 5;  
// decltype(foo()) -> int  
// int x = 5;
```

```
void foo( decltype(bar()) i )  
{  
}
```

decltype (2)

```
template<typename Container, typename Index>
auto authAndAccess(Container &c, Index i) -> decltype(c[i])
{
    authenticateUser();
    return c[i];
}
```

constexpr

```
constexpr int sum(int a, int b)
{
    return a + b;
}

void func()
{
    // значение переменной будет посчитано на этапе компиляции.
    constexpr int c = sum(5, 12);
}
```



1. Скотт Мейерс. Эффективный и современный C++. Пункт 3.9.
Используйте, где это возможно `constexpr`.

Определение типа аргументов шаблона функций (1)

```
template <typename T>
T min(T x, T y)
{
    return x < y ? x : y;
}
```

```
min(1, 2); // ok
min(0.5, 2); // error
min<double>(0.5, 2); // ok
```

Определение типа аргументов шаблона функций (2)

```
template <typename X, typename Y>
X min(X x, Y y)
{
    return x < y ? x : y;
}
```

```
min(1.5, 2); // ok
min(1, 0.5); // ok?
```

Определение типа аргументов шаблона функций (3)

```
template <typename X, typename Y>
auto min(X x, Y y) -> decltype(x + y)
{
    return x < y ? x : y;
}
```

```
min(1.5, 2); // ok
min(1, 0.5); // ok
```

typename (1)

```
template <class Container>
class Parser
{
    Container::const_iterator *x; // Ошибка*
};
```

Если компилятор встречая идентификатор в шаблоне, может его трактовать как тип или что-то иное (например, как статическую переменную), то он выбирает иное.

* - до C++20

typename (2)

```
template <class Container>
class Parser
{
    typename Container::const_iterator *x; // ок
};
```

Общее правило просто: всякий раз, когда вы обращаетесь к вложенному зависимому имени в шаблоне, вы должны предварить его словом `typename`.



1. Скотт Майерс. «Эффективное использование C++». Правило 42:
Усвойте оба значения ключевого слова `typename`.

SFINAE

Substitution Failure Is Not An Error

Неудавшаяся подстановка — не ошибка



SFINAE (1)

При определении перегрузок функции ошибочные инстанциации шаблонов не вызывают ошибку компиляции, а отбрасываются из списка кандидатов на наиболее подходящую перегрузку.

Неудачное инстанцирование шаблона - это не ошибка.

Ошибка будет в трёх случаях:

1. Не нашлось ни одной подходящей перегрузки.
2. Нашлось несколько таких перегрузок, и компилятор не может решить, какую взять.
3. Перегрузка нашлась, она оказалась шаблонной, и при инстанцировании шаблона случилась ошибка.

SFINAE (1)

```
(1) void f(int, std::vector<int>);  
(2) void f(int, int);  
(3) void f(double, double);  
(4) void f(int, int, char, std::string, std::vector<int>);  
(5) void f(std::string);  
(6) void f(...);  
(7) template<typename T>  
    void f(T, T);  
(8) template<typename T>  
    void f(T, typename T::iterator);
```

f(1, 2);

SFINAE (2)

Например, позволяет на этапе компиляции выбрать нужную функцию:

```
template<typename T>
void clear(T& t,
    typename std::enable_if<std::is_pod<T>::value>::type* = nullptr)
{
    std::memset(&t, 0, sizeof(t));
}

// Для не-POD типов
template<typename T>
void clear(T& t,
    typename std::enable_if<!std::is_pod<T>::value>::type* = nullptr)
{
    t = T{};
}
```

is_pod

```
template <class T>
struct is_pod
{
    static constexpr bool value = false;
};
```

```
template <>
struct is_pod<int>
{
    static constexpr bool value = true;
};
```

enable_if

```
template<bool, typename T = void>
struct enable_if
{
};

// Частичная специализация для true
template<typename T>
struct enable_if<true, T>
{
    using type = T;
};

enable_if<false, int>::type // Ошибка, нет type
enable_if<true, int>::type // Ok, type == int
```

Code time



- Хотим получить на этапе компиляции информацию о типе, например, проверим есть ли у класса некий метод.

type_traits

В стандартной библиотеке функции определения свойств типов `is_*` находятся в заголовочном файле `type_traits`

Примеры:

<code>is_integral</code>	// Является ли тип целочисленным.
<code>is_floating_point</code>	// Является ли тип типом с плавающей точкой.
<code>is_array</code>	// Является ли тип типом массива.
<code>is_const</code>	// Содержит ли тип в себе квалификатор <code>const</code> .
<code>is_pod</code>	// Является ли тип POD-типов*
<code>has_virtual_destructor</code>	// Имеет ли виртуальный деструктор.

// И так далее

* В C++20 `is_pod` deprecated, теперь нужно использовать `is_standard_layout && is_trivial`

Шаблоны свойств (traits)

```
template <typename T>
struct NumericTraits
{
};

template <> // Специализация
struct NumericTraits<char>
{
    static constexpr int64_t min = -128;
    static constexpr int64_t max = 127;
};
```

Шаблоны свойств (traits)

```
template <typename T>
class Calculator
{
    T getNumber(const std::string& text)
    {
        const int64_t value = toNumber(text);
        if (value < NumericTraits<T>::min ||  
            value > NumericTraits<T>::max)
        {
            // range error
        }
    }
};
```

Вариативные шаблоны



Шаблоны с произвольным количеством аргументов (variadic templates)

```
print(1, "abc", 2.5);
```

```
template <class T>
void print(T&& val)
{
    std::cout << val << '\n';
}
```

```
template <class T, class... Args>
void print(T&& val, Args&&... args)
{
    std::cout << val << '\n';
    print(std::forward<Args>(args)...);
}
```



1. Д. Вандевурд, Николай М. Джосаттис, Д. Грегор. «Шаблоны C++». Справочник разработчика. Глава 4. Вариативные шаблоны

Оператор sizeof... C++11

```
template <typename T, typename... Types>
void print(T firstArg, Types... args)
{
    // Количество оставшихся типов.
    std::cout << sizeof...(Types) << std::endl;
    // Количество оставшихся аргументов.
    std::cout << sizeof...(args) << std::endl;
}
```

Выражение свёртки (Fold expressions)^{C++17}

```
template <typename... T>
auto foldSum(T... s)
{
    return (... + s); // ((s1 + s2) + s3) ...
}
```

Выражение свёртки	Вычисляет
(... op pack)	(((pack ₁ op pack ₂) op pack ₃) ... op pack _N)
(pack op ...)	(pack ₁ op (... (pack _{N-1} op pack _N)))
(init op ... op pack)	(((init op pack ₁) op pack ₂) ... op pack _N)
(pack op ... op init)	(pack ₁ op (... (pack _N op init)))

Шаблоны и модули



Шаблоны и модули

```
export module math;

export namespace math
{
    template<class T, class Y>
    auto sum(T first, Y second)
    {
        return first + second;
    }
}
```

```
#include <iostream>

import math;

int main()
{
    std::cout << math::sum(2025, 0.5)
    << '\n';
}
```



Домашнее задание



Домашнее задание #5 (1)

Простой сериализатор/десериализатор поддерживающий два типа: `uint64_t` и `bool`.

Сериализовать в текстовый вид с разделением пробелом, `bool` сериализуется как `true` и `false`.

```
struct Data
{
    uint64_t a;
    bool b;
    uint64_t c;
};

Data x { 1, true, 2 };

std::stringstream stream;
```

```
Serializer serializer(stream);
serializer.save(x);

Data y { 0, false, 0 };

Deserializer deserializer(stream);
const Error err = deserializer.load(y);

assert(err == Error::NoError);
assert(x.a == y.a);
assert(x.b == y.b);
assert(x.c == y.c);
```

Домашнее задание #5 (2)

```
struct Data
{
    uint64_t a;
    bool b;
    uint64_t c;

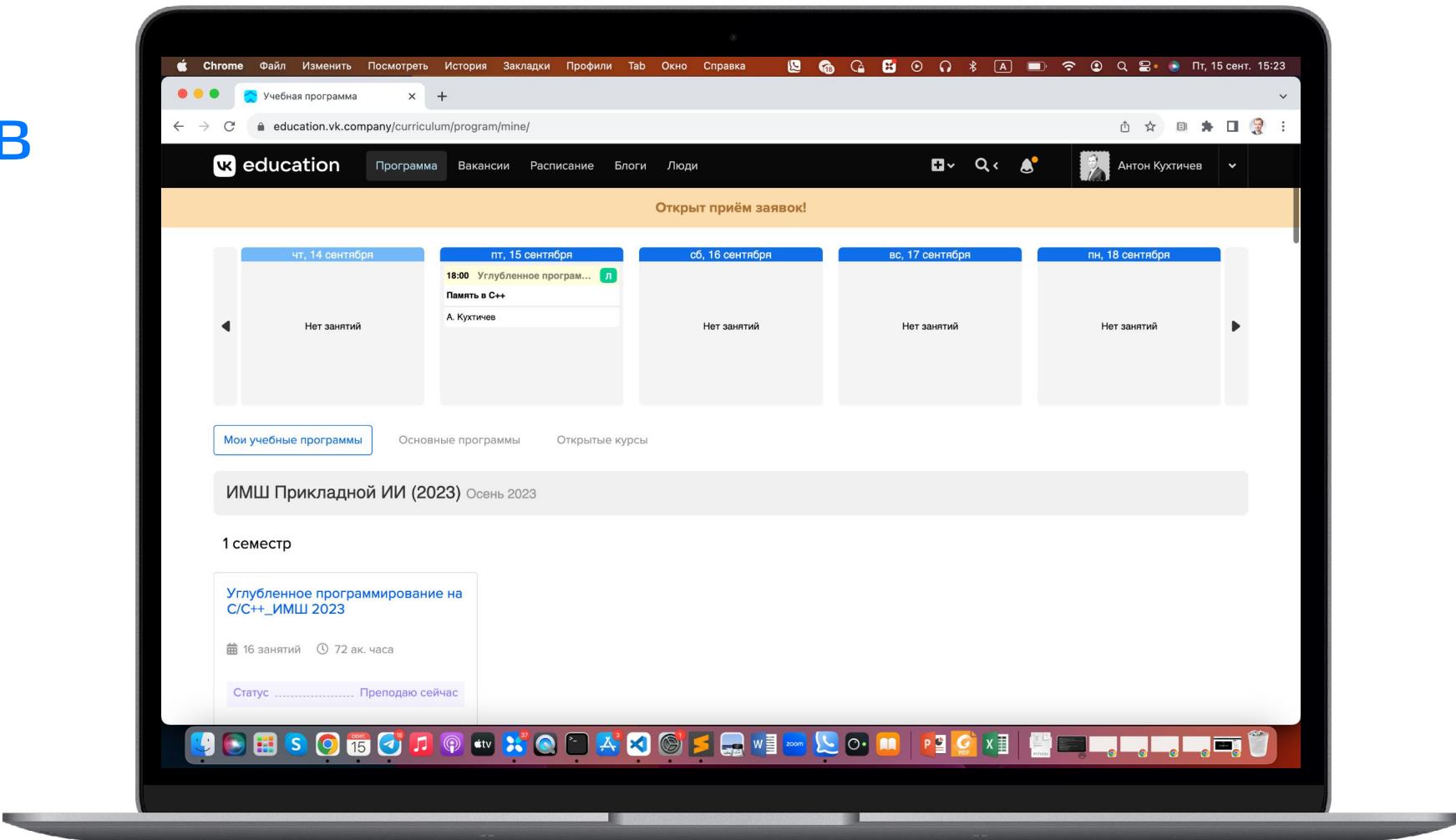
    template <class Serializer>
    Error serialize(Serializer& serializer)
    {
        return serializer(a, b, c);
    }
};
```

Полезная литература в помощь

- Д. Вандевурд, Николаи М. Джосаттис, Д. Грегор. «Шаблоны С++. Справочник разработчика»;
- Райнер Гримм «С++20 в деталях»;
- Скотт Мейерс «Эффективный и современный С++»;
- Скотт Мейерс «Эффективное использование С++»;
- Бьорн Страуструп «Языка программирования С++».

Напоминание оставить отзыв

Это правда важно





Спасибо
за внимание!