C++

Fall 2022

compscicenter.ru

Башарин Егор

eaniconer@gmail.com
https://t.me/egorbasharin

Лекция VII

Classes: Multiple Inheritance

Множественное наследование - I

The simplest case

- публичное наследование
- среди предков нет дубликатов
- нет виртуальности

```
struct A { /* A-data-members */ };
struct B { /* B-data-members */ };
struct C : public A, public B { /* C-data-members */ };
```

Layout

```
struct A { /* A-data-members */ };
struct B { /* B-data-members */ };
struct C : public A, public B { /* C-data-members */ };
```

(*) Важно: Layout является деталью реализации компилятора и не фиксирован. В текущем примере и всех последующих приведены примеры Layout-ов, используемых в популярных компиляторах.

Layout

```cpp
// main.cpp
struct A { int a; };
struct B { int b; };
struct C : public A, public B { int c; };
int main() { C c; }
```

```
clang++ -Xclang -fdump-record-layouts -c main.cpp
```

```
...
Dumping AST Record Layout
        0 | struct C
        0 |   struct A (base)
        0 |     int a
        4 |   struct B (base)
        4 |     int b
        8 |   int c
          | [sizeof=12, dsize=12, align=4,
          |  nvsize=12, nvalign=4]
...
```

Calling member function

```
struct A { int a; };
struct B { int b; void f() const { std::cout << this; }}
struct C : public A, public B { int c; };

int main() {
    C c;
    std::cout << &c << " ";
    c.f();
}
```

```
Possible output: 0x7ffee986bf80 0x7ffee986bf84
```

Внутри метода `this` должен указывать на начало объекта `B`.

`this` передается в метод неявно, и чтобы его получить компилятор преобразует `C*` к `B*`. Смещение известно в compile-time, преобразование указателя выполняется в runtime.

Calling member function

```
struct A { int a; };
struct B { int b; void f() const { std::cout << this; }}
struct C : public A, public B { int c; };
int main() {
    C c;
    c.f();
}
```

вызов метода примерно выглядит так:

```
    char* m = reinterpret_cast<char*>(&c);
    B* b = reinterpret_cast<B*>(m + offset(B));
    _ZNK1B1fEv(b); // b передается как this
```

Calling member function

```
struct A { int a; };
struct B { int b; void f() const { std::cout << this; }}
struct C : public A, public B { int c; };
int main() {
    C c;
    c.f();
}
```

```
    lea     rdi, [rbp - 16]  // rdi хранит адрес c
    add     rdi, 4           // получение this, 4 -- off
    call    _ZNK1B1fEv       // вызов функции
```

godbolt: Click me

(*) при приведении типов, компилятор может вычислить offset, так как ему известен layout.

Ambiguity

Неодонозначность

```
struct A { int p; };
struct B { int p; };
struct C : public A, public B {};

int main() {
    C c;
    c.p = 10; // error
}
```

```
error: member 'p' found in multiple base classes of different types
```

Ambiguity

Неодонозначность

```
struct A { int p; };
struct B { int p; };
struct C : public A, public B {};

int main() {
    C c;
    c.A::p = 10; // OK
}
```

(*) Для функций было бы аналогично: например, `c.A::f();`

(**) Для указателей код бы выглядел так: `pc->A::p = 10;`

Casting

upcast

```
struct A { int p; };
struct B { int p; };
struct C : public A, public B {};

int main() {
    C* pc = new C;

    B* pb = pc;  // implicit cast (upcast)

    std::cout << std::hex << pc << " " << pb << std::end
}
```

```
Possible output: 0x602000000090 0x602000000094
```

Casting

upcast

```
struct A { int p; };
struct B { int p; };
struct C : public A, public B {};

int main() {
    C* pc = new C;

    B* pb = pc;  // implicit cast (upcast)
}
```

Грубо говоря, это приведение работает таким образом:

```
    char* p = reinterpret_cast<char*>(pc) + offset(B);
    pb = reinterpret_cast<B*>(p);
```

Casting

upcast, равенство указателей

```
struct A { int p; };
struct B { int p; };
struct C : public A, public B {};

int main() {
    C* pc = new C;
    B* pb = pc;

    std::cout << std::boolalpha
        << "(pc == pb) - " << (pc == pb); // Equality te
}
```

```
Output: pc == pb: true
```

Casting

downcast

```
struct A { int p; };
struct B { int p; };
struct C : public A, public B {};

int main() {
    C* pc = new C;
    B* pb = pc;

    pc = pb; // Error: no implicit cast (downcast)
}
```

Casting

downcast

```
struct A { int p; };
struct B { int p; };
struct C : public A, public B {};

int main() {
    C* pc = new C;
    B* pb = pc;

    pc = static_cast<C*>(pb); // OK
}
```

Избегайте `downcast`-приведения типов:

```
    B b;
    pb = &b;
    pc = static_cast<C*>(pb); // Oops
```

Casting

crosscast

```
struct A { int p; };
struct B { int p; };
struct C : public A, public B {};

int main() {
    C* pc = new C;
    B* pb = pc;

    A* pa = static_cast<A*>(pb); // Error
}
```

`crosscast` не работает, так как в compile-time не всегда возможно определить тип объекта, на который указывает `pb`, например:

```
    pb = rand() ? new B : new C;
```

Casting

crosscast

```
struct A { int p; };
struct B { int p; };
struct C : public A, public B {};

int main() {
    C* pc = new C;
    B* pb = pc;

    A* pa = static_cast<A*>(static_cast<C*>(pb)); // OK
}
```

Null pointers

Особый случай с нулевыми указателями

```
int main() {
    C* pc = nullptr;
    B* pb = pc;
}
```

Вспомним примерно каким образом это работало:

```
    char* p = reinterpret_cast<char*>(pc) + offset(B);
    pb = reinterpret_cast<B*>(p);
```

Такой способ не работает с нулевыми указателями.

В compile-time проверить указатель на null не всегда возможно, поэтому есть небольшой оверхед в runtime:

```
    pb = (pc == nullptr) ? nullptr : /* applying offset
```

Runtime overheads

1. Расчет адреса подобъекта: например при вызова метода этого подобъекта
2. Проверка указателей на nullptr во время приведения

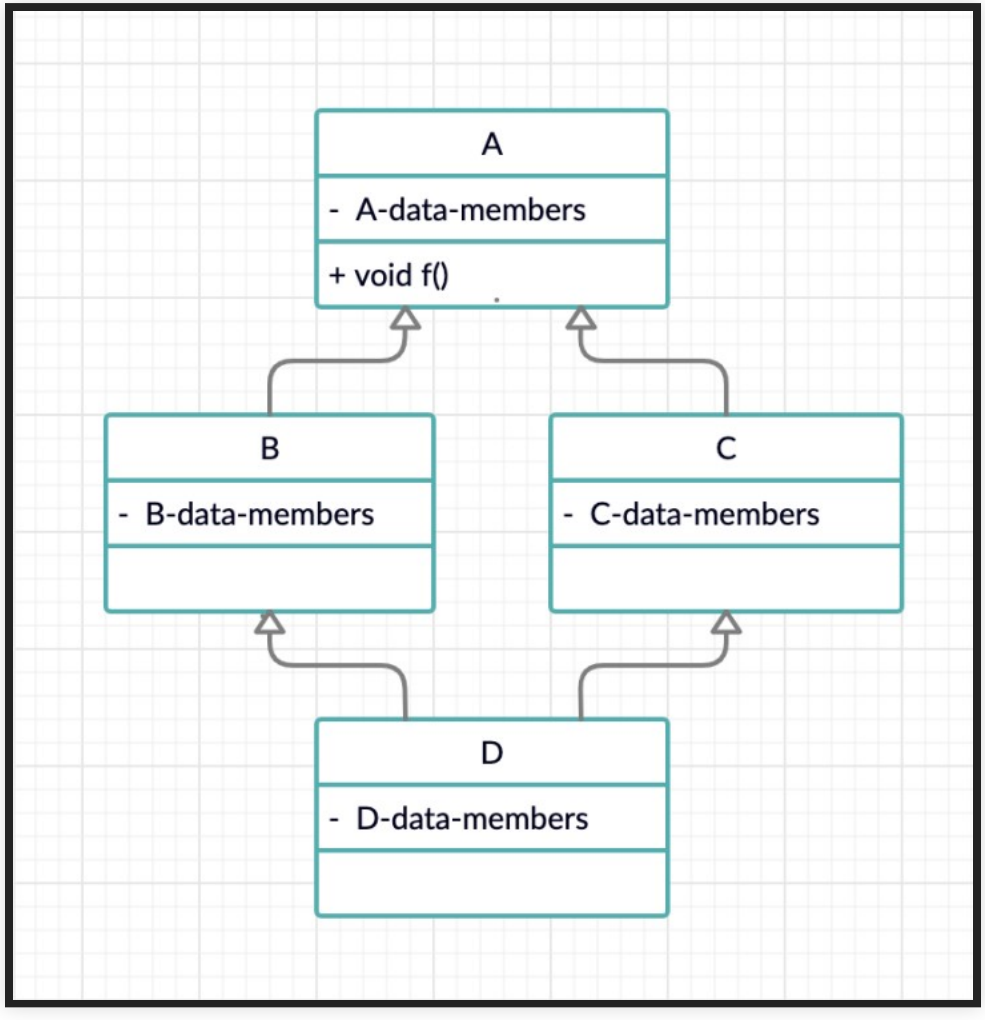
Множественное наследование - II

Повторяющийся предок

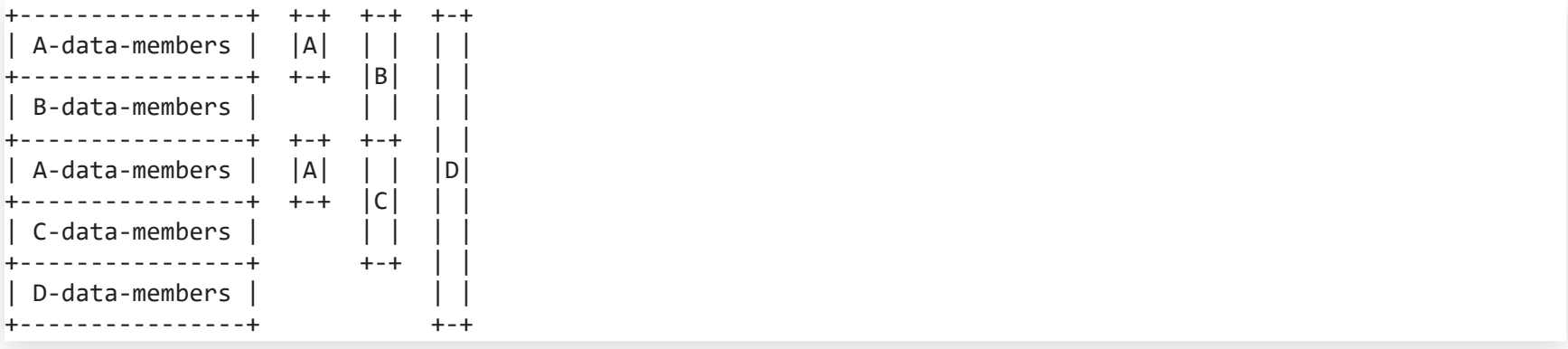
- публичное наследование
- нет виртуальности

```
struct A { int f(); /* A-data-members */ };
struct B : A { /* B-data-members */ };
struct C : A { /* C-data-members */ };
struct D : B, C { /* D-data-members */ };
```

UML диаграмма



Layout



- Объект типа `D` содержит два подобъекта типа `A`

```
(*) Layout не фиксирован и может отличаться у разных компиляторов
```

Layout

```cpp
// main.cpp
struct A { int f(); /* A-data-members */ };
struct B : A { /* B-data-members */ };
struct C : A { /* C-data-members */ };
struct D : B, C { /* D-data-members */ };

int A::f() {}

int main() {
    D d;
}
```

```
clang++ -Xclang -fdump-record-layouts -c main.cpp
```

```
...
Dumping AST Record Layout
        0 | struct D
        0 |   struct B (base)
        0 |     struct A (base)
        0 |       [A-data-members]
        4 |     [B-data-members]
        8 |   struct C (base)
        8 |     struct A (base)
        8 |       [A-data-members]
       12 |     [C-data-members]
       16 |   [D-data-members]
...
```

Access members

```
int main() {
    D* d = new D;
    d->f(); // Error
}
```

```
error: non-static member 'f' found in multiple base-class subobjects of type 'A'
```

Access members

```
int main() {
    D* d = new D;
    d->C::f(); // OK
}
```

(*) Access members

Что, если бы класс `C` имел функцию `f` с аналогичной сигнатурой? Как тогда вызвать `f` для подобъекта `A`, который находится в подобъекте `C`?

```
d->C::A::f(); // Будет ли такое работать?
```

(*) Access members

Вызов `d→C::A::f()` не скомпилируется, так как компилятор не понимает на каком подобъекте вызвать метод.

Объяснение

```
d->C::A::f()
```

можно интерпретировать как

```
int(A::*method)() = &C::A::f;
(d->*method)();
```

- Тип указателя на метод не хранит информацию о c, поэтому при вызове нельзя понять, какому подобъекту адресован вызов метода

(*) Access members

Продолжение объяснения

Случай

```
d->C::f()
```

можно интерпретировать как

```
int(C::*method)() = &C::f;
(d->*method)();
```

Так как метод может быть вызван для объектов типа `C`, то тип указателя `d` будет преобразован к `C*` — это преобразование однозначано.

Casting

upcast

```
D* d = new D;
A* a1 = d;                          // Error
A* a2 = static_cast<A*>(d);         // Error
```

Неявное и явное преобразования типов не работают, так как неоднозначен выбор подобъекта

Casting

upcast

Нужно явно указать компилятору, как разрешить неоднозначность:

```
    D* d = new D;
    A* a = static_cast<A*>(static_cast<C*>(d));   // OK
```

Casting

downcast

```
D* d = new D;
A* a = static_cast<A*>(static_cast<C*>(d));

d = static_cast<D*>(a); // Error
d = static_cast<D*>(static_cast<C*>(a));  // OK
```

(*) Будьте осторожнее с downcast-ами

Множественное наследование - III

Пример с виртуальными функциями

- публичное наследование
- среди предков нет дубликатов

```
struct A {
    virtual void f() {}
    /* A-data-members */
};
struct B {
    virtual void g() {}
    /* B-data-members */
};
struct C : A, B {
    void f() override {}
    void g() override {}
    /* C-data-members */
};
```

Пример с виртуальными функциями

Вызов виртуальных функций

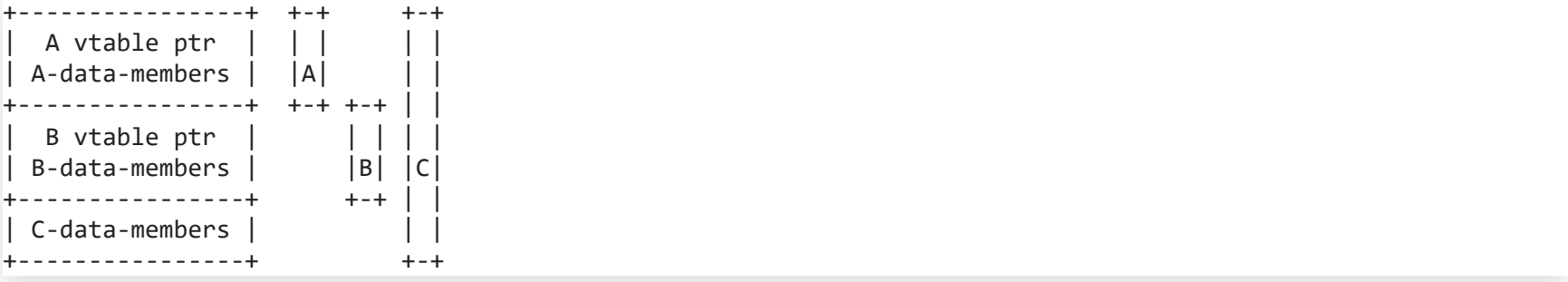
```
C* pc = new C;
A* pa = pc;
B* pb = pc;

pa->f();
// C::f() called because A::f() overridden

pb->g();
// C::g() called because B::g() overridden
```

(*) Слайд для того чтобы вспомнить, как работают виртуальные функции

Layout



- overhead: несколько указателей на виртуальную таблицу

virtual function call under the hood

```
int main() {
    C* pc = new C;
    B* pb = pc;

    pb->g(); // how does it work?
}
```

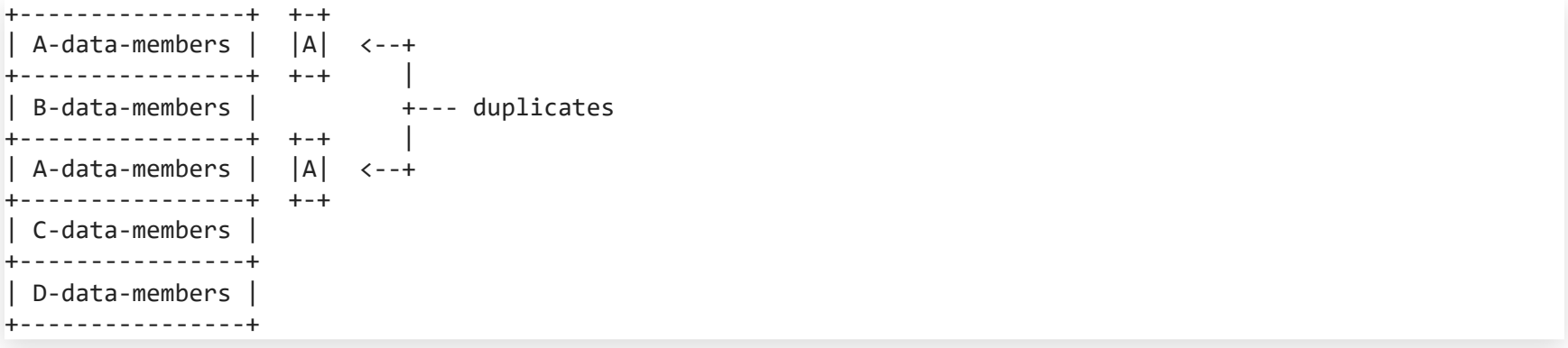
1. Таблица виртуальных методов предоставит нам нужный адрес метода `g`
2. Нужно получить указатель, который будет использован как `this` в `g`. Один из способов это сделать — это хранить в таблице смещение. Тогда: `this = pb + offset(g)`

```
(*) В общем случае, вычисления, описанные выше, нельзя сделать в compile-time,
    так как неизвестно, на какой объект/подобъект указывает `pb` на самом деле
```

Множественное наследование - IV

Проблема дублирующихся подобъектов

```
struct A { /* A-data-members */ };
struct B : A { /* B-data-members */ };
struct C : A { /* C-data-members */ };
struct D : B, C { /* D-data-members */ };
```



Обычно при таком наследовании хотелось бы иметь один подобъект типа A.

Виртуальное наследование

```
struct A { /* A-data-members */ };
struct B : virtual A { /* B-data-members */ };
struct C : virtual A { /* C-data-members */ };
struct D : B, C { /* D-data-members */ };
```

Virtual Inheritance Layouts

- Подобъекты B и C разделяют подобъект типа A (в объекте D)
- Так как A общий, он не может быть жестко зафиксирован относительно B и C. Поэтому B и C используют указатель для доступа к A.

Casting

upcast

```
struct A { /* A-data-members */ };
struct B : virtual A { /* B-data-members */ };
struct C : virtual A { /* C-data-members */ };
struct D : B, C { /* D-data-members */ };

int main() {
    D* d = new D;
    B* b = d;  // OK
    A* a = d;  // OK
}
```

Чтобы преобразовать к типу `A`, нужно воспользоваться `vtable`.

Casting

downcast

```
struct A { /* A-data-members */ };
struct B : virtual A { /* B-data-members */ };
struct C : virtual A { /* C-data-members */ };
struct D : B, C { /* D-data-members */ };

int main() {
    D* d = new D;
    A* a = d;

    d = static_cast<D*>(a); // compile-time error
}
```

- Подобъект `A` не содержит "статическую" информацию об объемлющем объекте.
- Добраться до `D` можно другими способами: `virtual function` или `dynamic_cast`

Virtual functions

```
struct A { virtual void f() {}; };
struct B : virtual A { int b; };
struct C : virtual A { int c; };
struct D : B, C { void f() override {}; };

int main() {
        D* d = new D;
        A* a = d;
        a->f(); // Будет вызван D::f()
}
```

```
+----------------+
|  B vtable ptr  |
| B-data-members |
+----------------+
|  C vtable ptr  |
| C-data-members |
+----------------+
| D-data-members |
+----------------+
|  A vtable ptr  | <--- Появляется указатель на vtable
| A-data-members |
+----------------+
```

Constructors & Destructors

- Конструкторы базовых классов вызываются до конструктора производного класса
- Деструкторы базовых классов вызываются после деструктора производного класса

Constructors & Destructors

порядок вызова

- Конструкторы виртуальных базовых классов вызваются в первую очередь в порядке объявления их классов в списке базовых классов
- Остальные конструкторы вызываются в порядке объявления их классов в списке базовых классов
- Деструкторы вызываются в порядке, обратном порядку вызовов конструкторов

Constructors & Destructors

example 1

```
struct A { };
struct B { };
struct C : B { };
struct D : A, C { };
int main() {
    D d; // A() -> B() -> C() -> D()
    // ~D() -> ~C() -> ~B() -> ~A()
}
```

Constructors & Destructors

example 2

```
struct E {};
struct A {};
struct B : virtual A {};
struct C : virtual A {};
struct D : E, B, C {};

int main() {
    D d;
    // A() -> E() -> B() -> C() -> D()
    // ~D() -> ~C() -> ~B() -> ~E() -> ~A()
}
```

Полиморфный объект

Объект, тип которого объявляет или наследует хотя бы один виртуальный метод.

Такие объекты хранят дополнительную информацию: обычно в виде указателя.

Проверка типа на полиморфность

```cpp
#include <iostream>
#include <type_traits>

struct T {};
struct P { virtual void f(); };
struct D : P { };

int main() {
    std::cout << std::boolalpha
        << "T: " << std::is_polymorphic<T>::value << std
        << "P: " << std::is_polymorphic<P>::value << std
        << "D: " << std::is_polymorphic<D>::value << std
}
```

Output:

```
T: false
P: true
D: true
```

RTTI

Run-time type information

- Позволяет пользоваться информацией о типе **полиморфного** объекта во время исполнения
- Используется для реализации `dynamic_cast` и `typeid`
- Обычно у компиляторов есть возможность отключения этого механизма: `-fno-rtti`

`dynamic_cast` & `polymorphic types`

- Используется со ссылками и указателями на полиморфные типы
- Позволяет делать upcast, downcast, crosscast
- Если приведение невозможно, возвращает `nullptr` для указателей и выбрасывает исключение `std::bad_cast` для ссылок
- Работает при downcast-е от полиморфной виртуальной базы
- `dynamic_cast<void*>` возвращает указатель на начало объекта в памяти

The "dark side" of `dynamic_cast`

`dynamic_cast` не бесплатен и оверхед зависит от того, как устроен механизм RTTI в компиляторе

Нельзя определенно сказать насколько плох `dynamic_cast`, так как его реализации разнятся от компилятора к компилятору

typeid operator

Syntax:

```
typeid( type )          (1)
typeid( expression )    (2)
```

- Выражение имеет тип, который преобразуется к `const std::type_info&`
- Если `expression` возвращает объект полиморфного типа, который имеет адрес [1], то выражение будет вычислено и `typeid` вернет `type_info` для динамического типа выражения. Иначе выражение вычислено не будет.

```
(1) glvalue expression
```

`std::type_info`

- содержит имя типа (не фиксировано стандартом)
- содержит хэш-код для типа
- задает порядок на типах: `type_info::before(const type_info&)`
- позволяет определить равны ли типы: `operator==`

Пример 1

```
struct A { };
struct B { };

int main() {
    const std::type_info& a_info = typeid(A);
    const std::type_info& b_info = typeid(B);

    std::cout << a_info.name() << " "
        << a_info.hash_code() << " " << a_info.before(b_

    assert(a_info == typeid(A));
    assert(a_info != typeid(B));
}
```

Пример 2

```
struct A { };
int i = 0;
A makeA() { i = 1; return A(); }

int main() {
    // The expression will not be evaluated
    // because has non-polymorphic type
    const std::type_info& info = typeid(makeA());
    assert(i == 0);
}
```

Пример 3

```
struct A { virtual ~A() = default; };
struct B: A {};

int main() {
    A* a = new B;
    assert(typeid(a) == typeid(A*));

    assert(typeid(a) != typeid(A));
    assert(typeid(a) != typeid(B));

    // The expression `*a` will be evaluated
    // 1) It has polymorphic type
    // 2) The result object has an address
    assert(typeid(*a) == typeid(B));
}
```

Пример 4

```
struct A { virtual ~A() = default; };
struct B: A {};

int i = 0;
B createB() { i = 1; return B{}; }

int main() {
    // The expression `createB()` will not be evaluated
    // 1) It has polymorphic type
    // 2) But the result object has no address
    assert(typeid(createB()) == typeid(B));
    assert(i == 0);
}
```