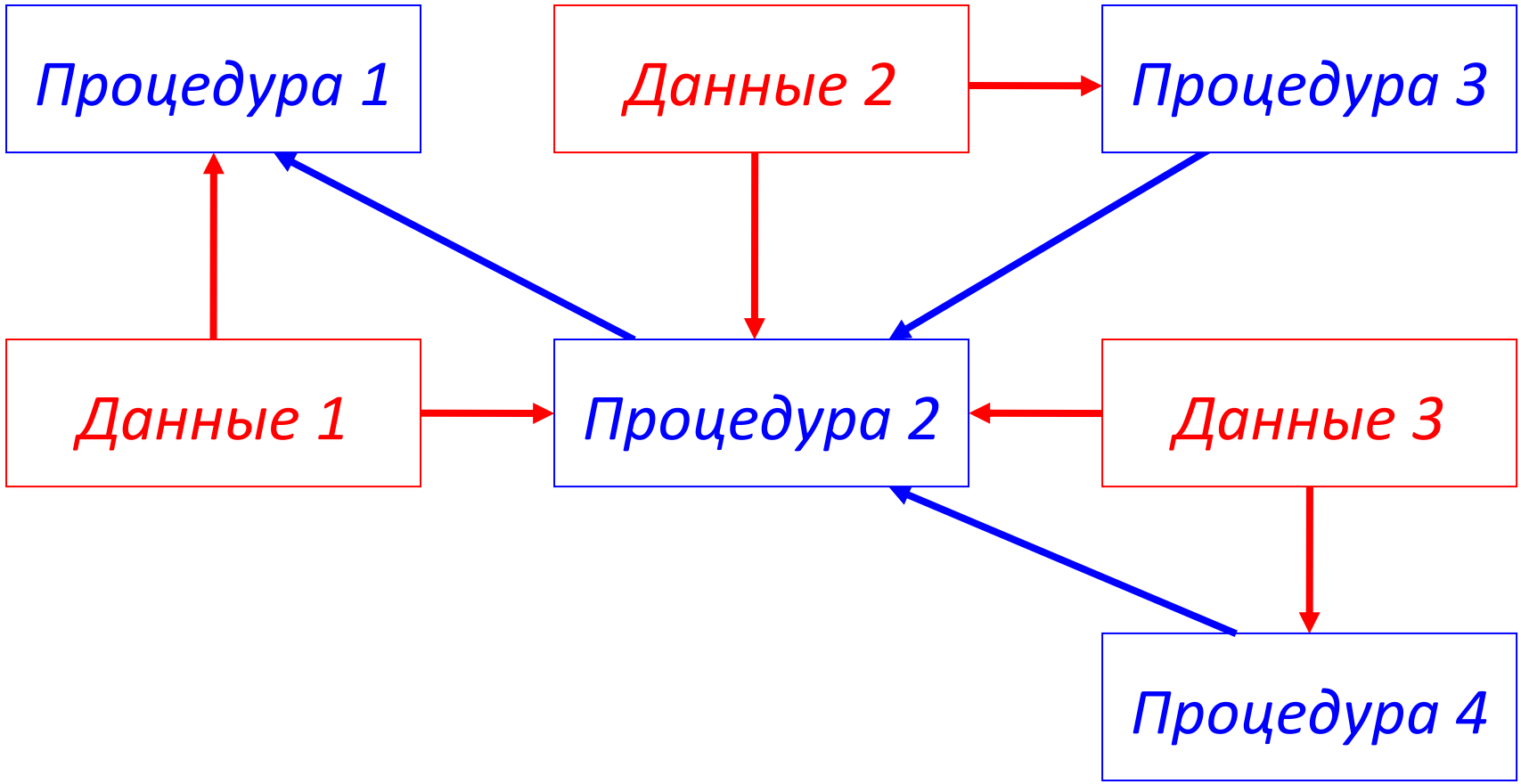
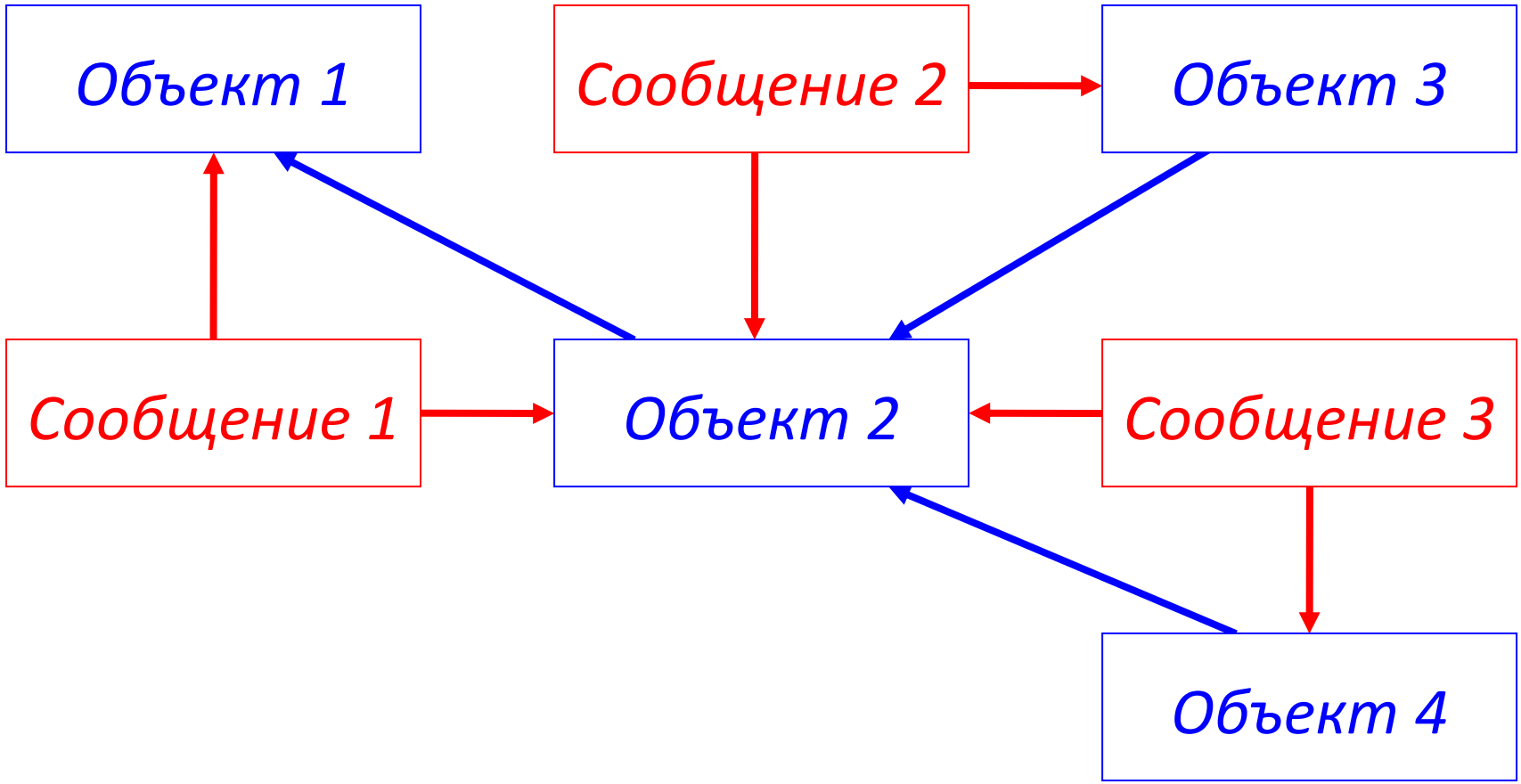
Технологии построения программ

- ***Процессно-ориентированный подход***: программа – это запись ряда последовательно выполняемых операций
  - Алгоритм (процесс выполнения) воздействует на данные
- ***Объектно-ориентированный подход***: программа состоит из объектов – элементов данных и фрагментов алгоритмов, обрабатывающих данные и взаимодействующих друг с другом через интерфейсы
  - Данные управляют доступом к связанным с ними алгоритмам
  - Статическая структура системы описывается в терминах объектов и связей между ними, а динамическое поведение системы описывается в терминах обмена сообщениями между объектами

Взаимосвязь элементов в традиционной парадигме



Взаимосвязь элементов в новой парадигме (ООП)



Словарь ключевых терминов объектно-ориентированного программирования

- ***Объект*** – компонент системы, представленный собственной памятью и набором операций
- ***Метод*** – описание того, как выполнять одну из операций объекта
- ***Сообщение*** – запрос объекту на выполнение одной из его операций (“***обращение к методу***”)
- ***Класс*** – описание группы подобных объектов
- ***Экземпляр*** – один из объектов, описываемых классом

Основное преимущество применения технологии ООП

Сокращение ***семантического разрыва*** – разрыва между принципами моделирования реальных объектов и принципами, лежащими в основе языков программирования

Основное определение

Энциклопедические словари:

“*Объект* – любой материальный предмет или явление, с которым связана познавательная, информационная или любая другая практическая деятельность человека”

Основные принципы ООП

- ***Объект*** – программная сущность, обладающая *состоянием* (связанные с объектом информационные свойства) и *поведением* (набор операций, присущих объекту)

- ***Объектно-ориентированное программирование*** – методология программирования, основанная на представлении программы в виде совокупности объектов, каждый из которых является экземпляром определённого класса, а классы образуют иерархию наследования

- Центральное звено ООП – ***абстракция***

  Благодаря абстракции сущности произвольной сложности можно рассматривать как единое целое, не вдаваясь в детали их внутреннего построения и функционирования

- Основные механизмы (постулаты) ООП:
  - ***Инкапсуляция***
  - ***Наследование***
  - ***Полиморфизм***

  Каждый из этих механизмов в отдельности и все они вместе взятые – это ***средства борьбы со сложностью программ***

Основные механизмы ООП
Инкапсуляция

- Обеспечивает сокрытие состояния объекта от остальных программных единиц
- Защищает данные от несанкционированного доступа со стороны алгоритмов, внешних по отношению к рассматриваемым
- С помощью интерфейса (формального описания способов доступа к алгоритмам и данным) жёстко контролирует доступ к алгоритмам и данным, связанным между собой

Основные механизмы ООП
Наследование

- Наследование – процесс, с помощью которого объект программы приобретает свойства другого объекта
- Наследование поддерживает концепцию иерархической классификации, то есть иерархического отношения типов объектов
- Наследование позволяет производному объекту наследовать от базового объекта общие атрибуты (состояние и поведение), а для себя определять только характеристики, делающие его уникальным в классе

Основные механизмы ООП
Полиморфизм

- Полиморфизм – свойство, позволяющее использовать одинаковый интерфейс для целой совокупности действий (“*один интерфейс* – *много методов*”)
- Различают
  - статический полиморфизм
  - динамический полиморфизм
  - параметрический (ти́повый) полиморфизм

Язык программирования Си++
Модульность

- Модульность и инкапсуляция тесно связаны
  - Модульность позволяет хранить абстракции раздельно
  - Классы и объекты составляют логическую структуру системы, они помещаются в модули, образующие физическую структуру
  - Необходимо соблюдать находить баланс между стремлением скрыть информацию и необходимостью обеспечить видимость абстракций в нескольких модулях
- *Модульность – это свойство системы, которая была разложена на внутренне связные, но слабо связанные между собой модули*

Язык программирования Си++
Типизация

- *Типизация – способ защититься от использования объектов одного класса вместо другого или управлять таким использованием*
- Пример слабой типизации в Си++:

```
typedef unsigned char uchar;          // новый тип не создаётся

struct Uchar { unsigned char x; }
unsigned char c;      /* c и x имеют одинаковые типы */
uchar v;              /* v и c имеют одинаковые типы */
Uchar u;              /* u и v имеют разные типы */
                      /* u и c имеют разные типы */
                      /* u и x имеют разные типы */
```

Язык программирования Си++
Типизация

- *Сильная типизация заставляет соблюдать правила использования абстракций, она тем полезнее, чем больше программа*
- Пример сильной типизации в Си++:

```
struct A      { /* ... */ };        // Базовый класс
struct B: A   { /* ... */ };        // Производный класс
A a1, a2;
B b1, b2;
a1 = a2;      // Объекты одного класса
a1 = b1;      // Объекту присваивается значение производного класса
b1 = a1;      // Неправильно
b1 = 5;       // Неправильно
```

Язык программирования Си++
Иерархия

- Число **абстракций** в реальной системе слишком велико
- **Инкапсуляция** позволяет в какой-то степени устранить это препятствие, скрыв внутреннее содержание абстракций
- **Модульность** упрощает задачу, объединяя логически связанные абстракции в группы
- Абстракции образуют иерархии
- *Иерархия – упорядочение абстракций, расположение их по уровням*
  - Основные виды иерархических структур сложных систем:
    - структура объектов
    - структура классов

Язык программирования Си++
Сравнение с языком Си

- Вид процедур практически полностью заимствован из языка Си:

```
int factorial (int n) { int i, f = 1;
                        for (i = 1; i <= n; i ++) f = f * i;
                        return f;
                      }
```

- Набор структурных операторов полностью заимствован из языка Си:

```
while  ( ... ) { ... }
do     { ... }          while ( ... );
if     ( ... ) { ... } else { ... }
switch ( ... ) { ... }
```

- Набор операторов перехода и операций в выражениях полностью заимствован из языка Си

Язык программирования Си++
Сравнение с языком Си

- Полностью разрешено использование типов

```
long long int n [] = { 3LL, 1ℓℓ };
unsigned long long int n [] = { 5uLL, 8Uℓℓ, 7ULL, 2uℓℓ , 0LLu, 4ℓℓU, 6LLU, 9ℓℓu};
```

- Введены типизированные перечисления

```
enum class E { V1, V2, V3 = 100, V4 /*101*/ };
if (E::V4 == 101) … /* Ошибка! */
```

- Тип констант не обязательно должен быть int, этот тип можно задать явно:

```
enum class E2 : unsigned int { V1, V2 };
```

Здесь значение E2::V1 определено, а V1 – нет

Язык программирования Си++
Сравнение с языком Си

- Для перечисления, заданного не строго:

  enum E3 : unsigned long { V1 = 1, V2 };

  определены оба значения: и E3::V1, и значение V1
- Возможно предварительное объявление перечислений, но только с указанием размера:

```
enum E1;   // Ошибка: низлежащий тип не определён
enum E2 : unsigned int;              // OK!
enum class E3;   // OK: низлежащий тип int
enum class E4 : unsigned long;   // OK!
enum E2 : unsigned short;
// Ошибка: E2 ранее объявлен с другим типом
```

Язык программирования Си++
Сравнение с языком Си

- В Си++ введено ключевое слово ***constexpr***:

```
constexpr   int   give5 () { return 5; }
int   mas [give5 () + 7];       // массив из 12 элементов
```

- Ограничения:
  - функция не может быть типа ***void***
  - тело функции должно иметь вид ***return*** *выражение*
  - *выражение* может вызывать только те функции, что также обозначены ключевым словом ***constexpr***, или просто использовать обычные константы
  - функция, обозначенная с помощью ***constexpr***, не может вызываться до её определения

Язык программирования Си++
Сравнение с языком Си

- В константных выражениях можно использовать переменные любых числовых типов

```
constexpr   double   a = 9.8;
constexpr   double   b = a/6;
```

- Операцию определения размера объекта разрешено применять к членам-данным классов независимо от самих объектов классов

```
struct A { some_type a; };   /* ... */
sizeof (A::a) ... // OK!
```

Язык программирования Си++
Сравнение с языком Си

- *fp ()*, *fr ()*, *ft ()* – функции, возвращающие значения некоторых типов, тогда *v1*, *v2*, *v3* будут иметь соответствующие типы:

  auto v1 = fp (); const auto & v2 = fr (); auto * v3 = ft ();

- Возможно также:

  auto v4 = 5; // v4 имеет тип int

- Допускаются также определения:

  int v5; decltype (v5) v6 = 5;

Язык программирования Си++
Сравнение с языком Си

```
int main ()
   {  auto  c = 0;              // тип c – int
      auto  d = c;              // тип d – int
      decltype (c) e;           // тип e – int, тип сущности по имени c
      decltype((c)) f = c;      // тип f –  int &, так как (c) является lvalue
      decltype (0) g;           // тип g – int, так как 0 является rvalue
      const int v[1] = { 0 };
      auto  a = v[0];           // тип a – int
      decltype (v[0]) b = 1; // тип b – const int & (тип возвращается
                  // операцией индексации operator [](size_type) const)
}
```

Язык программирования Си++
Важнейшие отличия от языка Си

- Важнейшее понятие языка Си++ – понятие ***класса***
  - Средство создания объектов, то есть описания типов данных
  - Любой объект, как представитель некоторого класса, характеризуется состоянием (значения полей данных) и поведением (определённые для объекта функции)
- При описании класса в Си++ одновременно описываются и данные, и алгоритмы, ими оперирующие
- Си++ использует все преимущества абстрактных типов данных, механизмов инкапсуляции, наследования и полиморфизма, строя сложные объекты и отношения между ними на основе иерархии классов и возможности переопределения операций

Язык программирования Си++. Приёмы декомпозиции

- *Декомпозиция* проектируемой системы есть последовательное выполнение следующих шагов:
  - Исследование статической структуры системы
    - Выделение используемых объектов
    - Фиксация связей между объектами
  - Исследование динамической структуры системы
    - Фиксация методов обмена сообщениями между объектами
- *Состояние объекта характеризуется перечнем (обычно статическим, неизменным) всех свойств данного объекта и текущими (обычно динамическими) значениями каждого из этих свойств*

Язык программирования Си++. Приёмы декомпозиции

- *Операцией* называется воздействие одного объекта на другой с целью вызвать соответствующую реакцию
- *Поведение объекта* – это его наблюдаемая и проверяемая извне деятельность, это то, как объект действует и реагирует, поведение выражается в терминах состояния объекта и передачи сообщений
- *Состояние* объекта представляет суммарный результат его поведения
- *Класс* – это множество объектов, имеющих общую структуру и общее поведение

Словарь ключевых терминов объектно-ориентированного программирования

- *Объект* – компонент системы, представленный собственной памятью и набором операций
- *Метод* – описание того, как выполнять одну из операций объекта
- *Сообщение* – запрос объекту на выполнение одной из его операций (“*обращение к методу*”)
- *Класс* – описание группы подобных объектов
- *Экземпляр* – один из объектов, описываемых классом

Язык программирования Си++. Виды операций над объектами

- *Модификатор* – операция, меняющая состояние объекта
- *Селектор* – операция, считывающая состояние объекта, но не меняющая его состояния
- Операция, возвращающая значение *итератора* – структуры данных, нужной для доступа к составным частям объекта в определённой последовательности
- *Конструктор* – операция создания объекта и (возможно) его инициализации
- *Деструктор* – операция, освобождающая состояние объекта и разрушающая сам объект

Концепция абстрактного типа данных и её реализация в Си++

- *Абстрактным типом данных* называется тип данных с полностью скрытым (инкапсулированным) внутренним устройством
- *Работа с переменными абстрактных типов данных* происходит только через специально предназначенные для этого функции
- *Абстрактные типы данных реализуются* с помощью классов и структур, в которых нет открытых членов этих классов и структур, то есть внутреннее устройство данных которых полностью скрыто от пользователя

Язык программирования Си++. Пример декомпозиции

```
struct student { char * name;     // Имя студента
                 int    year;     // Год обучения
                 double avb;      // Средний балл
                 int    student_id;  // Номер зачётки
                 char * studentName ();
                 int    studentYearNumber ();
                 int    studentID ();
};
```

Свойства

Операции (методы)

Определение класса в Си++

- Методы можно вызывать только для переменной соответствующего типа (класса), используя синтаксис доступа к членам структуры данных:

  Today.init (9, 2, 2012); Later.addm (5);

- При определении метода вне класса следует перед его именем указывать имя того класса, к которому он относится: void Date::init (int dd, int mm, int yy)
  { d = dd; m = mm; y = yy; };

- Для объекта *Today* оператор *m = mm* означает *Today.m = mm*, в вызове метода *init* для объекта *Later* этот же оператор означает *Later.m = mm*

Определение класса в Си++

- Можно разрешать или ограничивать доступ к элементам класса из любых функций, не являющихся членами этого класса (методы класса всегда имеют доступ ко всем элементам класса):

  class Date { int d, m, y; public: void init (int dd, int mm, int yy); };

  - ***public*** *– открытые элементы класса, то есть доступные всем внутри (методам класса) и вне определения класса*
  - ***private*** *– закрытые элементы класса, то есть доступные только внутри определения класса (методам класса)*
  - ***protected*** *– защищённые элементы класса, доступные только методам самого класса и его производных классов*
- По умолчанию элементы класса, введённые с помощью ключевого слова ***class***, являются закрытыми, поэтому первую метку ***private*** ставить не обязательно

Определение класса в Си++

- Структуры (***struct***) и объединения (***union***) от классов (***class***) отличаются только правилами определения прав доступа по умолчанию к переменным и функциям класса: методы и данные структур (и объединений) по умолчанию открыты (***public***), а для классов – закрыты (***private***)

- Запись ***struct*** *имя_класса { ... };*

  эквивалентна: ***class*** *имя_класса {* ***public****: ... };*

- Запись ***class*** *имя_класса { ... };*

  эквивалентна: ***struct*** *имя_класса {* ***private****: ... };*

Работа с состоянием объекта Встраиваемые функции

- Спецификатор ***inline*** указывает компилятору, что он должен попытаться вставить в место вызова функции саму её программу, а не команды формирования фактических параметров и обращения к функции с помощью стандартного (например, стекового) механизма:

```
inline bool get_declare   () { return declare; };
```

- В некоторых случаях встраивание функций может приводить к сокращению размеров программы

Указатели и ссылки на объекты

- Кроме объектов существуют указатели на объекты:

```
int *   p, i = 5;    // определение указателя и переменной
        p = & i;     // установка значения указателя
        i = i + 1;
        cout << i << * p;          // напечатается “6 6”
                                   // так как i и * p – одно и то же
```

- Допустимы обычные указатели, указатели на константы, константные указатели и константные указатели на константы:

```
int          *          p;     //   простой указатель
int          * const    cp;    //   указатель-константа
const  int   *          pc;    //   указатель на константу
int  const   *          pc1;   //   указатель на константу  (pc1 ≡ pc)
const  int   * const    cc;    //   указатель-константа на константу
int  const   * const    cc1;   //   указатель-константа на константу (cc1 ≡ cc)
```

Указатели и ссылки на объекты

- Объявление параметра константой запрещает функции менять его значение:

```
char * strcpy (char * p, const char * q);
```

- Присваивать адрес переменной указателю на константу разрешено, присвоить адрес константы простому указателю нельзя:

```
        int   a;          //  простая переменная
const   int   c = 2;      //  константа
const   int * p1 = & c;   //  указатель на константу                  (+)
const   int * p2 = & a;   //  указатель на переменную                 (+)
                          //  с запретом на её изменение
        int * p3 = & c;   //  простому указателю присваивается
                          //  адрес константы, что запрещено в Си++   (-)
            * p3 = 7;     //  делается попытка изменить константу с   (-)
```

Указатели и ссылки на объекты

- Тип “ссылка на переменную”:

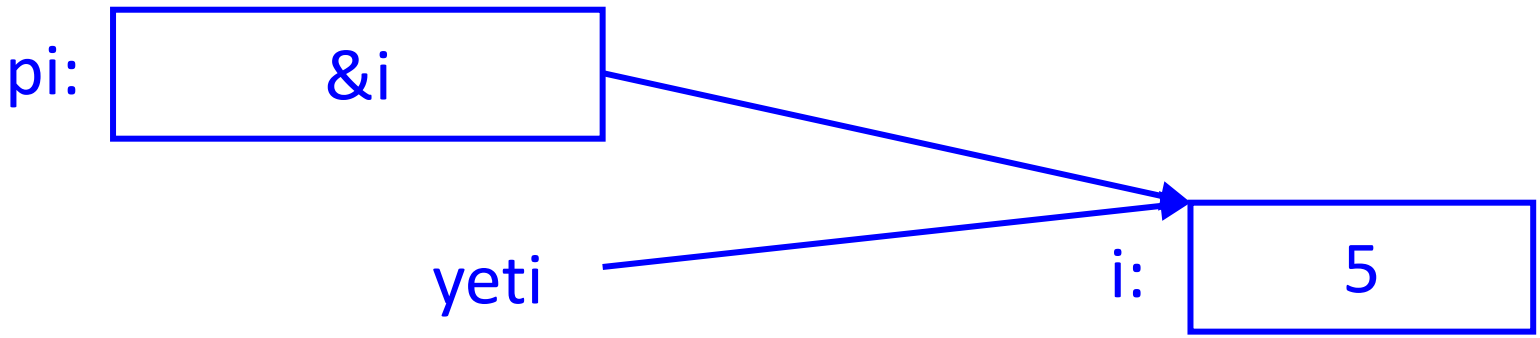
  <тип> & <переменная>;

- Ссылка является синонимом имени объекта и представляет сам объект:

```
int     i = 5;        //   Инициализация не обязательна
int & yet_i = i;      //   Ссылка обязана иметь начальное значение!
                      //   i и yet_i ссылаются на одно и то же целое число.
                      //   Инициировать ссылку константным значением можно,
                      //    если сама ссылка тоже константная:
const int & yet_1 = 1; //   ссылка на константу 1
          i = yet_i + 1;
    cout << i << yet_i;  //   напечатается “6 6”, поскольку
                         //   i и yet_i – одна и та же сущность
          yet_i = 10;    //   i == 10
       & yet_i == & i;   //   Адрес ссылки равен адресу самого объекта!
```

Указатели и ссылки на объекты

- Значение ссылки нельзя изменить после её инициализации
- Выражение `++yet_i` не приводит к изменению ссылки. Операция увеличения применяется непосредственно к значению объекта, с которым связана ссылка, в данном случае к целому значению `i`



Передача параметров по ссылке

- На языке Си процедура перемены местами двух объектов выглядит так:

```
void swap (int * px, int * py)
{ int temp;   temp = * px;  * px = * py;  * py = temp; }
```

- Вызов этой процедуры: `int a = 5, b = 6; swap (&a, &b);`
- Та же процедура на Си++:

```
void swap (int & x, int & y)
{ int temp;   temp = x;   x = y;   y = temp; }
```

- Вызов этой процедуры: `int a = 5, b = 6; swap (a, b);`

Конструкторы, как инициаторы полей данных классов

```
class Box    {  double len, wid, hei;
//для задания начальных значений всех трёх параметров параллелепипедов:
      public:    Box   (double l, double w, double h)
                                        { len = l; wid = w; hei = h; }

// если часто используются кубики, то достаточно одного параметра:
                 Box   (double s)      { len = wid = hei = s; }

// если часто используются коробки одного типа, параметры не нужны:
                 Box   ()             { len = 24; wid = 12; hei = 6; }
// ещё один вариант конструктора умолчания:
                 Box   (double l = 24, double w = 12, double h = 6)
                                        { len = l; wid = w; hei = h; }
};
```

Конструкторы, как инициаторы полей данных классов

- Вызов конструкторов объектов при определении:

```
Box b1 (1, 2, 3); Box b2 (5);
Box b3;        // конструктор умолчания
~~Box b31 ();~~  // нельзя употреблять как конструктор:
// возникает путаница с описанием заголовка функции!
Box (…);       // неопределённые параметры
```

- Конструктор вызывается при явном создании объекта:

```
Box * b4 = new Box (2.3);  // v1 = b4 -> volume ()
Box b5 = Box ();                  // конструктор умолчания
// здесь путаница с заголовком функции не возникает!
```

Свойства конструкторов объектов

- У одного класса может одновременно существовать несколько разных конструкторов, каждый из которых используется для инициализации элементов особым образом. Одновременное существование нескольких конструкторов имеет специальное наименование – *перегрузка конструкторов*
- Все конструкторы должны отличаться друг от друга количеством и/или типами параметров
- Конструктор без параметров называется *конструктором умолчания*. Если в классе не описан никакой другой конструктор (и только в этом случае), конструктор умолчания генерируется автоматически
- Конструкторы не возвращают никаких значений

Конструкторы копирования значений объектов

- Прототип конструкторов копирования выглядит так:

  Box (Box &a); // или

  Box (**const** Box &a);

- Наличие спецификатора ***const*** означает, что сам копируемый объект при копировании не изменяется
- Если конструктор копирования не определён в классе *явно*, он будет сгенерирован автоматически, при этом производится поверхностное (почленное) копирование данных объекта:

Box (**const** Box &a) { len = a.len; wid = a.wid; hei = a.hei; }

Запуск конструктора копирования

- При определении новых объектов, инициируемых значениями ранее созданных объектов:

```
Box     b4 = Box (4, 7, 1);
```

- При создании временного объекта для инициализации указателя на него (без копирования объекта!), но с последующей инициализацией описываемого объекта значением, извлекаемым по указателю:

```
Box  *  b5 = new Box (2, 3, 5);
Box     b6 = * b5;
```

Свойства конструкторов копирования

- Конструкторы копирования используются при передаче параметров и при возврате результата функции по значению
- При передаче параметров по ссылке копирования нет!
- Наличие явно описанного конструктора копирования блокирует возможность автоматической генерации конструктора умолчания
- Наличие явно описанного конструктора умолчания никак не влияет на автоматическую генерацию конструктора копирования
- В некоторых компиляторах при обработке инициализации вида *Box b4 = Box (4, 7, 1)* вместо конструктора копирования используется конструктор *Box b4 (4, 7, 1)* с тремя параметрами без создания временного объекта и его копирования

Указатель ***this***

- Указатель ***this*** – это указатель на объект, от имени которого производится вызов метода
- Указатель ***this*** – это всегда указатель на самый первый (неявно заданный) операнд метода, который является объектом данного класса
- Пример использования указателя ***this***

```
Box (Box & a) { if (this != & a)
        { len = a.len; wid = a.wid; hei = a.hei; }
} //        это конструктор копирования
```

Использование указателя *this*

```
class string { char p [SIZE];                  // ...
    public: void    concat  (string &);  // конкатенация строк
            int     length  ();          // длина строки
            void    tolow   ();          // в нижний регистр
            void    trim    ();          // убрать пробелы
};
string s1, s2;
s1.concat (s2);          //   присоединение s2 к s1
s1.trim ();              //   удаление пробелов спереди и сзади
s1.tolow ();             //   перевод в нижний регистр
string s3 = s1;          //   копирование s1 в s3
```

- Здесь каждая последующая операция применяется к объекту *s1*, значение которого изменяется в результате предыдущей операции. Объект *s1* всегда является объектом класса *string*

Использование указателя ***this***

```
class string { char p [SIZE];                  // ...
    public: string & concat  (string &);  // конкатенация строк
            int      length  ();          // длина строки
            string & tolow   ();          // в нижний регистр
            string & trim    ();          // убрать пробелы
};
string & string::concat (string & s1) { strcpy (p + length (), s1.p);
      return * this; // разыменование this, возврат ссылки на сам объект
}
// ... теперь можно писать так:
string s1, s2;
string s3 = s1.concat (s2).trim ().tolow ();
```

- Результатом работы метода *string::concat()* является ссылка на его же объект *s1*, это позволяет сразу вызвать метод *string::trim()*, который аналогичным образом возвращает ссылку на *s1*

Вызов конструкторов класса

- При создании объекта (при обработке описания объекта, при создании временных объектов в выражениях, при создании локальных объектов для значений параметров функций):

```
Box b (3, 4, 5);
```

- При создании объекта в динамической памяти (**`new`**), при этом, сначала отводится необходимая память, а затем работает нужный конструктор:

```
Box * pb;
pb = new Box (3, 4, 5);
```

- При включении объектов в состав других объектов наряду с собственным конструктором вызывается конструктор объекта – члена класса
- При создании объекта производного класса дополнительно вызывается конструктор базового класса.
- Для статических объектов конструктор вызывается при запуске программы
- При возбуждении исключительной ситуации для создания временного объекта, передаваемого перехватчикам

При вызове конструктора класса

1. Вызываются конструкторы базовых классов (если есть наследование `class Z: public Y {...}`)
2. Автоматически вызываются конструкторы умолчания всех вложенных объектов в порядке их описания в классе
3. Вызывается собственный конструктор, при его вызове все поля класса уже существуют, они получили свои значения при их инициализации, под них выделена память, *следовательно*, их можно использовать в теле конструктора

Вызов конструкторов копирования

- В случае: `Box a (3, 4, 5);`
  `Box b = a;` // a – параметр конструктора копирования
- В случае: `Box c = Box (3, 4, 5);`
  Сначала создаётся временный объект и вызывается обычный конструктор (не копирования), а затем работает конструктор копирования при создании объекта ‘c’. В некоторых компиляторах временный объект может не создаваться, в этом случае вызывается обычный конструктор с нужными параметрами:
  `Box c (3, 4, 5);`
- При передаче параметров функции по значению (создание локального объекта)
- При возврате результата работы функции в виде объекта
- При возбуждении исключительной ситуации и передаче объекта-исключения перехватчику

Делегирующие конструкторы

- Вызов одних конструкторов из других
- Обычные конструкторы:

```
class A {   int n;        public:   A (int x)  { n = x; }
                                    A ()       { n = 4; }
};
```

- Делегирующий конструктор и конструктор-делегат:

```
class B {   int n;        public:   B (int x)  { n = x; }
                                    B () :       B (4)  {}
};
```

- Если до конца проработал хотя бы один конструктор-делегат, объект уже считается полностью созданным

Инициализация членов-данных класса

- Конструкторы
- Делегирующие конструкторы
- Непосредственная инициализация данных в области их объявления в классе:

```
class A {                int n = 6;
          public:        A (int x) :  { n = x; }
                         A ( )        {}
};
```

- Все конструкторы класса *A* будут инициировать поле *n* значением *6*, если это значение подходит

Деструкторы объектов

- Деструктор не имеет параметров и не возвращает никакого значения: `~<имя_класса>();`
- Если деструктор не описан, он генерируется автоматически
- Деструктор по умолчанию ничего не делает (его тело – пусто) и нужен только для парности соответствующему конструктору
- Деструктор вызывается:

1. При выходе из зоны описания объекта
2. При выполнении операции ***delete*** для указателя, получившего значение при выполнении операции ***new*** (при этом сначала работает деструктор, а затем освобождается память, занятая объектом)

Деструкторы объектов

- При выходе из блока для всех автоматических объектов вызываются деструкторы, в порядке, противоположном порядку выполнения конструкторов:

1. Собственный деструктор, при этом в момент начала работы программы деструктора поля данных класса ещё не очищены и, следовательно, доступны для использования, доступны в деструкторе также поля базовых классов (если есть наследование)
2. Деструкторы всех вложенных объектов в порядке, обратном порядку их описания в классе
3. Деструкторы базовых классов (если есть наследование)

Удаление ненужных конструкторов и деструкторов

```
struct A {      A () {}
                A (const A&) = delete;
                A (int) = delete;
  A (double);   // Разрешена инициализация только нецелочисленными значениями
                void f (int) = delete;
                void f (double x) = { cout << "A::f (double)\n"; }
};
int main() {    A d1, d2;
                A d4 (5); ;     // Ошибка: Вызов исключённого конструктора
                A d5 (6.0);
                A d6 ('p'); ;   // Ошибка: Вызов исключённого конструктора
                A d3 = d1;      // Ошибка: Вызов исключённого конструктора
                d1.f (1);       // Ошибка: Вызов исключённой функции
                d1.f (1.5);
                d1.f ('a');     // Ошибка: Вызов исключённой функции
                return 0;
}
```

Конструкторы и деструкторы по умолчанию

```
struct A {  float fl;       A () = default;
                            A (float f) { fl = f; }
                            A (const A &) = default;
                          ~ A () = default;
};

int main() { A a, b (1), c = b;
             return 0;
}
```

Правые и левые ссылки в Си++

- **int** a = 2; **const int** b = 6; **const int** & c = a + b;
- **int** f (**const int** & r) { **return** r; };
- a = f (a + 1) + f (b) + f (c); // **Три потенциальные ошибки!**

- **int** i = 8, j = 7, && ri = i + j; // ri – правая ссылка (r-value reference)
- **struct** Tp { **int** tp; Tp (**int** t = 0) { tp = t; };
  void RightRef (Tp && t) { **return** t; }
  int main () { Tp rf; RightRef (rf); **return** 0; } //Ошибка!

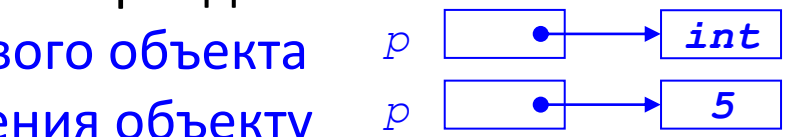
- **int** a = 2; **const int** b = 6; **const int** & c = a + b;
  int && d = a + 30;
  int Ref (**const int** & r) { **return** r; };
  a = Ref (a + 1) + Ref (b) + Ref (c) + Ref (d);

- **void** Ref (**int** && t); // нет модификатора const
  void Ref (**const int** & t); // есть модификатор const

Работа с динамической памятью

- Объекты размещаются в памяти аналогично данным языка Си: существуют статические объекты и автоматические объекты, выбор определяется местом определения объектов (не классов!)
- Вне процедур могут определяться только статические (***static***) и глобальные объекты , внутри – ещё и автоматические объекты
- Для создания объекта в свободной памяти используется операция ***new***, для его уничтожения применяется операция ***delete***
- Размер пространства, захватываемого при выполнении операции ***new***, точно соответствует размеру объекта-операнда

```
int * p = new int; // создание нового объекта
* p = 5;     // присваивание значения объекту
```



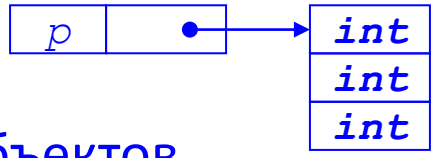
- Явное создание нового объекта в свободной памяти конструктором:

```
Box * b4 = new Box (2, 3, 5);
delete b4;
```

- Операции ***new*** и ***delete*** можно переопределять

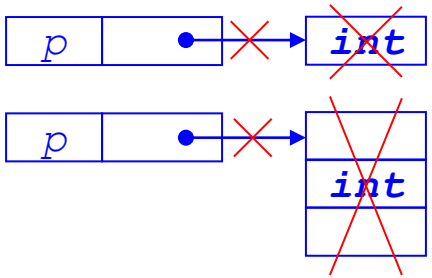
Работа с динамической памятью

- Создавать можно и массивы объектов. В этом случае операция создания обозначается как ***new[]***




```
int * p;
p = new int [3]; // создание массива из 3-х объектов
```

- Массив уничтожается операцией ***delete[]***
- Размер освобождаемой памяти контролируется системой и не указывается в операции ***delete[]***




```
delete p;    // уничтожение скаляра
delete [] p; // уничтожение массива
```

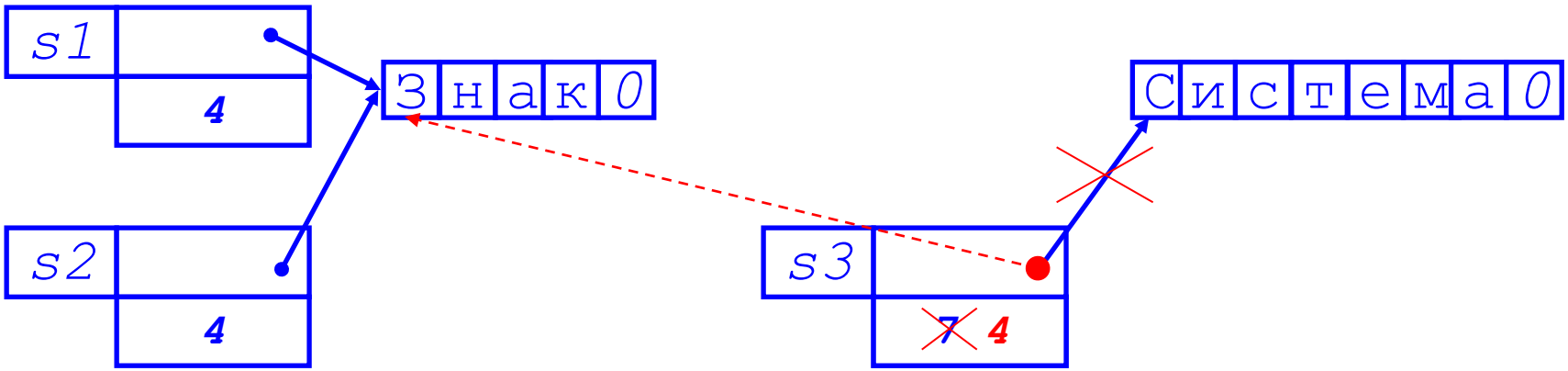
- Применение скалярного варианта операции освобождения памяти к указателю, по которому размещается массив приведёт во время работы программы к ошибке
- Операции ***new[]*** и ***delete[]*** можно переопределять

Работа с динамической памятью

```
class string { char * p; int size;
   public:    string (const char * str); // конструктор
                                  // выполняет выделение памяти под строку
                                  // и инициализацию этой памяти
              ~string ();  // освобождение памяти
};
string::string (const char * str) // для инициализации константами
        { p = new char [(size = strlen (str)) + 1];
          strcpy (p, str);
        }
string::~string () { delete [] p; }
void f()  { string s1 (“Знак”);
            string s2 = s1;
            string s3 (“Система”);  /* ... */    s3 = s1;     // …
}
```

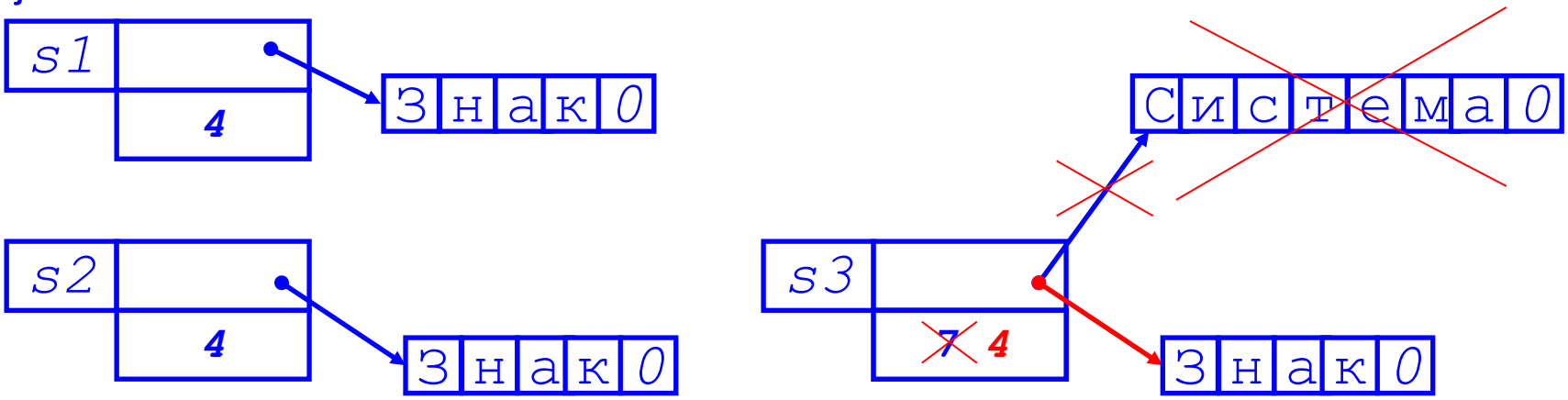
Работа с динамической памятью

```
void f() { string s1 (“Знак”);
           string s2 = s1;              // копирование полей p и size
           string s3 (“Система”);       /* ... */
           s3 = s1;                     // присваивание полей p и size
}
```



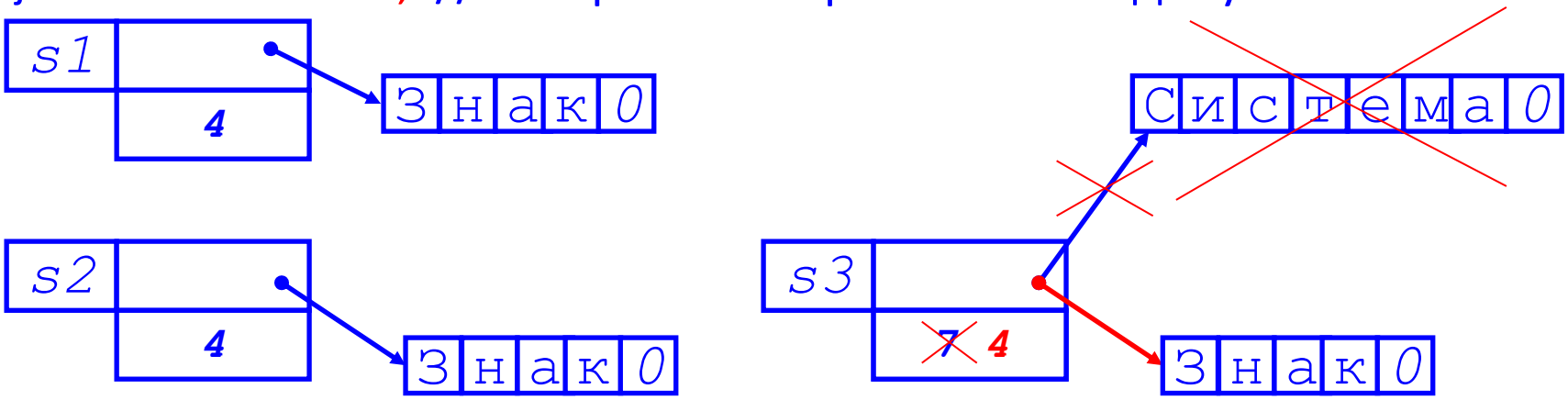
Работа с динамической памятью

```
string::string (const string & a)
{     // копируются не указатели, а значения:
      p = new char [(size = a.size) + 1];              strcpy (p, a.p); }
string::~string () { delete [] p; }        // деструктор не меняется
void string::operator=(string & a)
{     // присваиваются не указатели, а значения:
            delete [] p;    // уничтожение старого значения
            p = new char [(size = a.size) + 1];     strcpy (p, a.p);
}
```



Работа с динамической памятью

```
string::string (const string & a)
{     p = new char [(size = a.size) + 1];              strcpy (p, a.p); }
string::~string () { delete [] p; }
string & string::operator=(string & a)
{     if (this != & a) {
                delete [] p;    // уничтожение старого значения
                p = new char [(size = a.size) + 1];     strcpy (p, a.p);
      } return * this;
}       s3 = s2 = s1;  // теперь такое присваивание допустимо
```

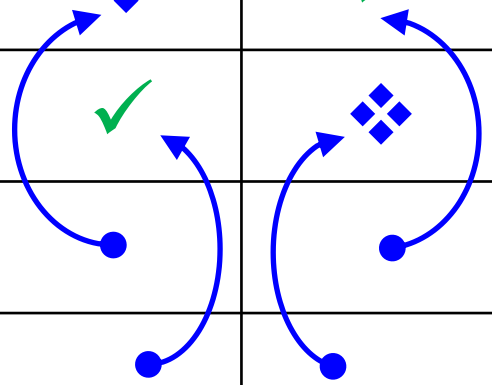


Семантика переноса

```
class Str {  char * s;
             int len;
      public:
             Str (const char * sss = nullptr);  // традиционный конструктор неплоского класса
             Str (const Str &);                 // традиционный конструктор копирования
             Str (Str && x)                     // конструктор переноса из временного объекта
                                  {   s = x.s;     // в заголовке конструктора нет слова const:
                                      x.s = nullptr;    // копируемый объект модифицируется!!!
                                      len = x.len;                  }
             Str & operator = (const Str & x);  // традиционная перегруженная операция =
             Str & operator = (Str && x)        // быстрый перенос временного объекта
                                  {   s = x.s;       // в заголовке функции нет слова const:
                                      x.s = nullptr;    // исходный объект модифицируется!!!
                                      len = x.len;
                                      return *this;                 }
             ~Str ();                           // традиционный деструктор неплоского класса
             Str operator + (Str x);            // ...
};           Str a ("abc"), b ("def"), c = a + b; c = c + a;
```

Автоматическая генерация

	Нет описанных методов	Есть деструктор	Конструктор копирования	Операция присваивания	Копирование переносом	Присваивание переносом
Деструктор	✓	❖	✓	✓	✓	✓
Конструктор копирования	✓	✓	❖	✓	×	×
Операция присваивания	✓	✓	✓	❖	×	×
Копирование переносом	✓	×			❖	×
Присваивание переносом	✓	×			×	❖



✓ автоматическая генерация	❖ явное описание	× блокировка генерации

Константные члены класса

- Иногда необходима уверенность, что метод не будет менять значения переданных ему параметров

```
string & string::concat (const string & s) { … }
```

- Ошибочными являются операторы, в которых меняется значение таких параметров, ошибочными являются вызовы методов для таких параметров (константных объектов), поскольку нет информации о том, какие операции они производят над своими объектами:

```
int string::length ();    // нет указания неизменности объекта
string & string::concat (const string & s)
        {  /* … */ s.length () /* … */ }     // Ошибка!
```

- В языке Си++ можно указывать, что некоторые методы не меняют состояния своих объектов (ключевое слово ***const*** после скобок группирования формальных параметров):

```
int string::length () const;
```

Константные члены класса

- Как только метод объявлен константным, ему явно разрешается быть вызванным для константных объектов типа *string*. Тем самым, станет допустимой реализация метода *string::concat ()* с константным формальным параметром:

```
int string::length () const;                    // длина строки
string & string::concat (const string &s) // конкатенация строк
        {  string temp = * this;
           delete [] p;
           p = new char [(size = temp.length () + s.length ()) + 1];
           strcpy (p, temp.p);      strcpy (p + temp.length (), s.p);
           return * this;
        }
```

разрешено для константы “s”,
если метод length() тоже константный!

Статические члены класса

- В классах допускаются статические члены (поля данных и методы)
- Статические методы классов не имеют неявного параметра, соответствующего указателю на активный объект, в теле статических методов класса нельзя использовать указатель ***this***
- Для статического члена класса память отводится один раз в момент запуска программы, как для обычной статической переменной
- Статическое поле представляется в единственном экземпляре для всех экземпляров этого класса
- Обращаться к статическому члену можно без указания имени объекта, во избежание неоднозначности можно использовать имя самого класса: `class A { public: static int x; static void f (char c); };`
  `/* … */` `A::x = 10; A::f ('a');`
- Для работы со статическими полями используют статические методы

Статические члены класса

- При работе со статическими полями классов не возникает необходимости выделять для них память в экземплярах класса:

```
class X { public: int a; static int count;
        X (int i) { a = i; count ++; }
};
```

- Константным статическим полям, инициируемым интегральными значениями внутри описания класса, дополнительное определение вне класса не требуется:

```
class X { public: const static int count = 9; };
```

- В иных случаях инициализация статических полей выполняется вне описания класса:

```
int X::count = - 1;
int main () { X g(1), z (10); cout << X::count; }
```

- Обращение к статическому члену класса может происходить с помощью какого-либо из объектов (*g.count*, *z.count*), либо с помощью имени класса (*X::count*), которое можно использовать даже до определения первого объекта: вызов через объект (*g.count*) возможен только после оператора определения этого объекта (*g*)

Статические члены класса

- Инициализацию вне класса можно использовать даже, если статическое поле определено в закрытой части класса:

```
class  X { static int count; public: int a;
        X (int i) { a = i; count ++; }
        void c_print () { cout << count << endl; }
};
int X::count = –1;
```

- Обычные методы нельзя вызывать до создания первого объекта, чтобы вызвать функцию до создания первого объекта, её следует объявить статическим членом класса:

```
static void c_print () { cout << count << endl; }
```

- Статическим методом класса можно объявить только такой метод, в котором используются только статические поля данных класса или другие статические методы
- Вызов статического метода: `X::c_print ();`

Статические члены класса

- Статические методы класса не могут вызывать нестатические методы, нестатические методы могут вызывать статические
- Константные методы класса не могут изменять значения полей данных класса, однако, они могут менять статические поля
- Статический метод может создавать экземпляры классов (объекты), в частности, экземпляры собственного класса:

```
class X {      X () {}    ~X () {}
    public: static X& createX ()  {     X * x1 = new X;
                                        cout << "X created";      return * x1; }
            static void destroyX (X & x1) { delete & x1;
                                        cout << "X destroyed";                 }
};
int main () { X & xx1 = X::createX ();    // . . .
              X::destroyX (xx1);  return 0;  }
```

Статические члены класса

- Объекты, имеющие статические члены, могут быть объявлены константами

```
class X { public: static int c;
};
const X xc;     // xc - константа
```

- Поле ‘c’ константой при таком определении объекта ‘xc’ не становится. С ним можно работать, как с обычной переменной
- Чтобы объявить статическое поле данных константой, это надо сделать явно:

```
class Z { public: const static int c;
};
const int Z::c = 25;      // задано значение поля ‘c’
const Z zc;               // ‘zc’ – константа, поле ‘c’ – тоже
```

Статические члены класса

- Распределение памяти для статических членов классов осуществляется так же, как и для обычных статических объектов:

```
class  X {static int count1; static long count2;
          static void print ();
};
int X::count1 = 25;
long X::count2;       // Каждый статический член класса
                      // должен быть определён
```

- Распределение памяти для статических методов классов осуществляется так же, как и для обычных процедур:

```
void X::print () { cout << count1 << ", " << count2 << endl; }
                      // Каждый статический метод класса
                      // должен быть определён
```

Перекрытие имён

- Разрешается использовать одинаковые имена для разных объектов (переменных, констант, функций)
- Области видимости в программах могут быть вложенными друг в друга, определение объекта во вложенной области видимости отменяет (перекрывает) определение одноимённого объекта в объемлющей области
- Перекрытие позволяет использовать в разных (вложенных друг в друга) областях видимости одинаковые имена для разных, но одновременно не используемых объектов

Перегрузка функций

- ***Перегрузка функций*** – механизм, позволяющий одинаково именовать функции, видимые в одной области
- ***Перегрузка функций*** – проявление статического (полностью разрешаемого на стадии компиляции программ) полиморфизма
- ***Перегрузка функций*** позволяет использовать в одной области видимости одинаковые имена для разных, но одновременно не используемых функций

Перегрузка функций. Конфликты

- Неоднозначность выбора нужной функции:
  void f (char); void f (double);
  void g () {... f (1); ...}
- Отсутствие подходящей функции:
  class X { ... }; class Y { ... };
  void f (int); void f (Y);
  void g () { ... X a; f (a); ...}
- Скрытая неоднозначность выбора функции:
  void f (int x = 1); void f ();
  void g () {... f (); ...}
- Тип возвращаемого значения функции не участвует в выборе обслуживающей функции:
  float sqrt (float); double sqrt (float);

Правила работы алгоритма выбора перегруженной функции

а). Точное отождествление

б). Отождествление при помощи стандартных целочисленных и вещественных расширений

в). Отождествление с помощью стандартных преобразований

г). Отождествление с помощью пользовательских преобразований

д). Отождествление по эллиптической конструкции “...” (обычно этот шаг выполняется только при вызовах функций с несколькими параметрами)

Выбор перегруженной функции а). Точное отождествление

- Точное совпадение типов
- Совпадение с точностью до ***typedef*** (новый тип не создаётся!)
- Тривиальные преобразования:
  - Параметр-массив: T [] <--> T *
  - Передача параметра по ссылке: T <--> T & (const T <--> const T &)
  - Передача переменной на месте формального параметра-константы: T --> const T (обратное преобразование не рассматривается)
  - Параметр-функция (через имя функции и через указатель на функцию): T (...) <--> (T*) (...)

Выбор перегруженной функции
а). Точное отождествление

```
void f (int);          void f (float);   void f (double);
void f (int unsigned);                   void f (unsigned long);
void g () {  f (1.0);  /* f (double) */  f (1.0F);  // f (float)
             f (1);    /* f (int) */     f (1U);    // f (unsigned int)
             f (1UL);  }                             // f (unsigned long)
```

```
void f (int * a);   <=   void g () {  int m [5]; f (m); f (& m [0]);  }
void f (int & a);   <=   void g () {  int m;                 f (m);  }
void f (int a);     <=   void g () {  int m, & k = m;         f (k);  }
```

```
void f (const int * a);   void g () { int k, * m = & k;       f (m);  }
void f (int * a) ;        void g () { const int k = 7;
                                      const int * b = & k;    f (b);  }
```

Выбор перегруженной функции б). Стандартные расширения

- Целочисленные расширения:
  - char (signed/unsigned), short (signed/unsigned), enum => int (unsigned int, если тип int слишком узок)
  - enum => long int (unsigned long int, если значения не могут быть представлены типом long int)
  - bool => int (false --> 0, true --> 1)
  - Если возможно, то битовые поля могут расширяться до int или unsigned int, иначе они не расширяются
- Расширения чисел с плавающей точкой:
  - float => double

Выбор перегруженной функции б). Стандартные расширения

- Расширения типов всегда имеют предпочтения перед другими стандартными преобразованиями

```
                    void f (int);          void f (double);
void g ()  {   short aa  = 1;          f (aa);              // f (int)
               float  ff   = 1.0;      f (ff);     }        // f (double)
```

- Нет неоднозначности, хотя:

short => int & double *float => int & double*

- Если бы стандартные преобразования не делились на пункты ***б*** и ***в***, то неоднозначность возникала бы, поскольку все преобразования одного шага работы алгоритма равноправны

Выбор перегруженной функции в). Стандартные преобразования

- Все оставшиеся стандартные преобразования:
  - все оставшиеся *неявные* стандартные целочисленные и вещественные преобразования
  - преобразования указателей и ссылок:
    - 0 => любой указатель
    - любой указатель => свободный указатель (void *)
    - указатель (ссылка) на производный тип => указатель (ссылка) на базовый тип (для однозначного доступного базового класса наследственной иерархии)

Выбор перегруженной функции в). Стандартные преобразования

- Все стандартные преобразования равноправны:

```
void f (char);
void f (double);

void g () { f (0); }
```

- Неоднозначность возникает из-за отсутствия явного совпадения (**пункт *а***) и отсутствия стандартного расширения для типа ***int*** (**пункт *б***): при выборе подходящей функции по правилам **пункта *в*** преобразования *int => char* и *int => double* равноправны

Выбор перегруженной функции
г). Преобразования пользователя

- Конструкторы преобразования (с одним параметром)
- Функции преобразования – нестатические методы класса с профилем “*operator <тип> ()*”, которые преобразуют объект класса к типу *<тип>*

```
struct S { S (long);              // конструктор преобразования:   long --> S
           operator int ();       // функция преобразования:       S --> int
};                  void f (char *);      void g (char *);      void h (char *);
                    void f (long);        void g (S);           void h (const S &);
void ex (S &a) { f (a);  //  f ((long) (a.operator int ())) = f (long)      (г и в)
                 g (1);  //  g (S ((long) (1)))             = g (S)         (г)
                 g (0);  //  g ((char *) (0))               = g (char *)    (в)
                 h (1);  //  h (S ((long) (1)))             = h (const S &) (г)
}
```

Выбор перегруженной функции г). Преобразования пользователя

- Разрешается один раз повторно искать подходящий тип (***а***), расширение (***б***) или преобразование (***в***)
- Пользовательские преобразования применяются неявно только в том случае, если они однозначны

```
struct A { int a; public: A (int i) { ... };   struct B { int b; public: B (int i) { ... };
int   f  (A x, int y) { return x.a + y; }      int   f  (B x, int y) { return x.b - y; }
```

Выражение *f (1, 1)* неоднозначно, поскольку может интерпретироваться двояко:

```
f (A (1), 1)   /* f (A, int) */          f (B (1), 1)    /* f (B, int) */
```

Выбор перегруженной функции г). Преобразования пользователя

- Допускается *не более одного* пользовательского преобразования для обработки одного вызова для одного параметра

```
class X { ... public: operator int (); ... };  // можно преобразовать в int
class Y { ... public: operator   X (); ... };  // можно преобразовать в X
void   f (int x, int y);
void   g () { Y a; int b;  f (b, a); }          // неправильно
```

- Требуется: a.operator X ().operator int () – два шага по пункту ***г***
- Если написать это явно, ошибки не будет: цепочки явных преобразований могут быть сколь угодно длинными

Выбор перегруженной функции г). Преобразования пользователя

- Для использования в неявных преобразованиях и при поиске подходящей функции конструктор должен иметь разрешение на неявный вызов
- Неявный вызов конструктора может быть запрещён спецификатором ***explicit***

```
class X { ... public: X (int); ... };
void f () {  X a (1);       // явный вызов, всегда правильно
             X b = 2;       // неявный вызов
             X c = X (2);  // явный вызов с тем же эффектом
}
```

Выбор перегруженной функции с несколькими параметрами

1. Отбираются все функции, которые могут быть вызваны с указанным в вызове количеством параметров
2. Для каждого параметра вызова строится множество функций, оптимально отождествляемых по этому параметру
3. Находится пересечение этих множеств:
   - если это ровно одна функция – она и является искомой,
   - если множество пусто или содержит более одной функции, генерируется сообщение об ошибке.

- При работе алгоритма для функций с несколькими параметрами обнаружение неоднозначности не приводит к немедленной остановке алгоритма, неоднозначность может быть снята рассмотрением других параметров функции

Выбор перегруженной функции д). Выбор по ...

- Функции с переменным числом параметров работают в Си++ с помощью макроопределений *va_list* и *va_arg*

```
class Real { /* ... */ public: /* ... */ Real (double); /* ... */ };
void f (int, Real);    void f (int, ...);
void g () {  f (1, 1);              // f (int, Real)              // пункт д даже
                                    // не привлекается к рассмотрению
             f (1, “Строка”); // f (int, ...)              // int, const char *
}
```

- Многоточие может приводить к неоднозначности

```
void f (int);          void f (int ...);
void g () { /* ... */ f (1); /* … */ }   // Ошибка, так как отождествление
                                        // по первому параметру даёт обе функции
```

Проблемы отождествления ссылок, а также константных и неконстантных типов

- Перекрёстная передача переменных и ссылок

```
int i=1;
int & ri = i;
void f(int x) { }
void f(int & y){ }
```

```
f(i);  // Ошибка
f(ri); // Ошибка
```

- Перекрёстная передача переменных и констант для формальных параметров-ссылок

```
int i=1;
const int ci=2;
void f(const int & x){ }
void f(int & y){ }
```

```
f(i);  // f(int &)
f(ci); // f(const int &)
```

- Аналогичные механизмы работают при использовании конструкторов копирования (варианты с ***const*** и без ***const***)

Проблемы отождествления ссылок, а также константных и неконстантных типов

- Переменные и константы для формальных параметров-ссылок

```
int i=1;
const int ci=2;
void f(const int & x){ }
void f(char & y){ }
```

```
f(i);  // f (const int &)
f(ci); // f (const int &)
```

- Передача константы по значению

```
const int ci=1;
```

```
void f(int y){ }
```

```
f(ci); // f (int y)
```

- Перекрёстная передача констант и переменных по значению

```
const int ci=1;
int i=0;
void f(int y) { }
void f(const int z) { }
```

```
f(ci); // Ошибка
f(i);  // Ошибка
```

Перегрузка операций

- Можно перегружать обычные арифметические и логические операции, операции отношения, операции присваивания, сдвиги, операции индексирования, разыменования указателей на структуры, операции доступа к членам класса через указатель на член класса, операции группировки параметров, захвата и освобождения свободной памяти (всего 42 операции):

	+	–	*	/	%	<<	>>	^	|	&
=	+=	– =	*=	/=	%=	<<=	>>=	^=	|=	&=
	==	!=	!	,	<	<=	>=	>	||	&&
	++	– –	–>	–>*	[]	()				
~	*new*		*new []*			*delete*			*delete []*	

Перегрузка операций

- Нельзя перегружать:

::	- разрешение области видимости
.	- выбор члена класса
.*	- выбор через указатель на член класса
?:	- тернарная условная операция
sizeof	- операция вычисления размера объекта
typeid	- операция вычисления имени типа
#	- начало макродирективы
##	- слияние или преобразование лексем

Перегрузка операций

- Для перегрузки операций используется ключевое слово ***operator***, например, запись "***operator==***" обычно используется для определения операции проверки на равенство для объектов невстроенных типов
- При определении операций лучше *сближать семантику* новых операций с семантикой аналогично записываемых операций встроенных типов

Перегрузка операций

- Все перегрузки операций, необходимых в программе, нужно делать явно, для каждой операции (даже если некоторые операции эквивалентны):

  ++ a a += 1 a = a + 1

- Имея функции, определяющие сложение *a.operator + ()* и присваивание *a.operator = ()* , нельзя автоматически, без явного определения, использовать операцию '**+=**', то есть функцию *a.operator += ()*
- Операции присваивания ('**=**'), индексирования ('**[ ]**') и доступа ('**->**') могут перегружаться только нестатическими методами классов

Перегрузка бинарных операций

- Определение метода конкатенации в классе, созданном для работы со строками:

```
class string { char * p; int size;                    /* … */
        public: string& concat (const string& s)  { /* … */ }
};
```

- Реализация бинарной операции увеличения ‘***+=***’:

```
string & operator+= (string & s1, const string & s2)
                                        { return s1.concat (s2); }
```

- Определение этой же операции в составе класса:

```
class string { /* … */   public:
        string & operator += (const string & s) { return concat (s); }
};                  string s1 (“ a”), s2 (“ b”);      s1 += s2;
```

Методы классов и функции-друзья классов

- Свойства (ограничения) обычных методов класса:
  1. Метод класса имеет право доступа к закрытой части объявления класса
  2. Метод класса находится в области видимости класса
  3. Метод должен вызываться только для объекта класса (имеется неявно присутствующий указатель ***this***)
- Статические методы не имеют указателя ***this*** и могут вызываться, когда объектов у класса не существует
- Функции-друзья, обладая доступом к закрытой части объявления класса, не обязаны находиться в области видимости этого класса

Функции-друзья классов

- Иллюстрация различий в определении и использовании методов класса и функций-друзей:

```
class X { int a; public: ...
          friend  void friend_f (X*, int);
                  void member_m (int);
}

void friend_f (X * p, int i) { p -> a = i; }
void X::member_m (int i) { a = i; }

void f ()
{   X obj;
    friend_f (& obj, 10);
    obj.member_m (10);
}
```

Функции-друзья классов

- Преимущества использования функций-друзей:
  1. Функции-друзья повышают эффективность программ, позволяя отказаться от использования функций доступа к закрытым членам класса
  2. Объявление функции другом сразу нескольких классов позволяет упростить интерфейсы сразу всех этих классов
  3. Функция-друг не накладывает ограничений на списки собственных параметров и не требует делать главный параметр (используемый объект) первым в списке параметров функции
  4. Функция-друг допускает преобразования главного параметра (используемого объекта), а методы класса этого не допускают

Функции-друзья классов

- Если другом объявляется перегруженная функция, только она из одноимённых функций является другом
- Дружба не обладает транзитивностью, она не передаётся по наследству производным классам

```
class A { friend class B; int a;          /* ... */ };
class B { friend class C;    /* ... */ };
class C { void f (A *p) { p -> a ++; } }; // ошибка
class D: public B { void f (A *p) { p -> a ++; } };
          // нет доступа к закрытому полю ‘a’
```

Перегрузка операций

- Перегрузка может производиться для операций с параметрами встроенных типов:

```
class complex { double re, im; /* ... */
      public: complex (double r = 0, double i = 0) { re = r; im = i; }
       friend complex operator* (const complex &a, double b);
      /* ... */ };
complex operator * (const complex & a, double b) {
                complex temp (a.re * b, a.im * b);
                return temp;
}
```

- Можно использовать операторы

```
complex y = 2, z;  double d = 5.3;
z = y * d; // вызывается функция operator*(y, d)
```

Перегрузка операций

- Ввиду отсутствия варианта перегрузки умножения с первым параметром, имеющим тип ***double***, остаётся неверным оператор

```
z = d * y; // Ошибка
```

- Следует определить ещё одну дружественную классу complex функцию:

```
complex operator * (double a, const complex &b) {
        complex temp (b.re * a, b.im * a);
        return temp;
}
```

Перегрузка операций

- Имея такие определения, можно написать программу:

```
complex x (1, 2), y (5,8), z;      const complex w (1, 3);   double d = 7.5;
z = x + y; /* x.operator + (y) */                  z = x + w; // const внутри скобок
z = z + d; /* z.operator + (complex (d)) */ z = w + x; // const после скобок
z = d + x;          // ошибка: вызов d.operator+ (x), но в классе double
                    // нет операции сложения с комплексными числами
```

- Методы класса в качестве своего первого параметра всегда имеют параметр, имеющий тип этого класса
- Функции, не являющиеся методами классов, свободны от этого требования
- Перегрузка операций членами класса обычно используется, когда оба операнда относятся к этому классу

Перегрузка операций

- Перегрузка операции ‘*+*’ с помощью друга класса:

```
class complex { double re, im; /* ... */
    public: complex (double r = 0, double i = 0) { re = r; im = i; }
     friend complex operator+ (const complex& a, const complex& b)
            { complex temp (a.re + b.re, a.im + b.im); return temp; }
};
complex x (1, 2), y (5,8), z;    const complex w (1, 3);    double d = 7.5;
z = x + y;      // operator + (x, y)
z = z + d;      // operator + (z, complex (d))
z = d + x;      // operator + (complex (d), x), нет ошибок
```

- Функции-друзья лучше использовать в тех случаях, когда в операциях участвуют операнды разных типов

Перегрузка операций

- Допускается не более одного пользовательского преобразования для обработки одного вызова для одного параметра

```
class X { public: operator int (); ... };  // можно преобразовать в int
class Y { public: operator   X (); ... };  // можно преобразовать в X
void f () { Y a; int b;
            b = a; }  // неправильно: b = a.operator X ().operator int ();
```

- Двойной шаг по пункту ***г*** алгоритма запрещён
- Если написать явные шаги преобразования типа, ошибки не будет: цепочки явных преобразований могут быть сколь угодно длинными
- Присваивание подчиняется тем же правилам, что и другие перегруженные функции

Операция индексирования

- Индексация ‘ ***[ ]*** ’ есть бинарная операция, её перегрузка выполняется только нестатическим методом класса, у которого неявный параметр – это сам объект, к которому применяется операция, а явный параметр – значение индекса

```
class string { char * p; int size; /* … */
      public: char & operator [] (int i);
            { if (i < 0 || i >= size) { cerr << “string:” << i << endl; exit (1); }
              return p [i];
            }
} s (“Системы программирования”);
char c = s [3];      // эквивалентно c = s.operator [] (3); => c == ‘т’
```

- Возвращаемое значение в виде ссылки позволяет использовать индексацию в присваивании и справа и слева

Перегрузка унарных операций

- Унарные операции перегружаются методом без параметров (точнее – с одним неявным параметром)

```
class complex { double re, im;
   public: complex (double r = 0, double i = 0) {re = r; im = i;}
     const complex operator– () const // –x = y   x = –ComplexConst1
           { complex temp (– re, – im); return temp; }
};


complex x (1, 2), z;
z = – x;     // z.re = – 1, z.im = – 2
z = – 2;     // здесь нет никакой перегрузки унарного минуса:
             // работает присваивание значения выражения –2
```

Перегрузка унарных операций

- Унарные операции перегружаются функцией-другом с одним параметром (допустимы и обычные функции)

```
class complex { double re, im;
   public: complex (double r = 0, double i = 0) {re = r; im = i;}
    friend const complex operator– (const complex & a);
};
const complex operator– (const complex & a)
    { complex temp (– a.re, – a.im); return temp; }

complex x (1, 2), z;
z = – x;     // z.re = – 1, z.im = – 2: результат тот же
```

Особенности операций ‘++’ и ‘––’

- При перегрузке нужно указывать, какой именно вариант перегружается (префиксный или постфиксный)
- Для двух операций языка определён специальный синтаксис:

++a ≡ a.operator++ () a++ ≡ a.operator++ (0)
––a ≡ a.operator–– () a–– ≡ a.operator–– (0)

- Для указания на постфиксную форму используется фиктивный аргумент с типом ***int***: *operator++ (int)*
- Как и все остальные унарные арифметические и логические операции (*они все префиксные*), префиксная операция определяется без фиктивного аргумента: *operator++()*
- Фиктивный аргумент используется только для “*необычных*” (единственных в своем роде) постфиксных операций ‘***++***’ и ‘***––***’

Особенности операций ‘++’ и ‘––’

- Префиксные операции обычно возвращают ссылки на объекты, а постфиксные – копии этих объектов
- Префиксная операция-функция получает ссылку на неконстантный объект, копия которого внутри функции не создаётся, а возвращает ссылку на константу, чтобы запретить операции вида *++++ z* или *++ z = …*
- Постфиксная операция-функция возвращает константное значение, чтобы запретить операции вида *z ++++* или *z ++ = …*; ссылка не возвращается: нужна копия неизменённого объекта

```
class complex { double re, im; /* … */
            const complex & operator++ () { ++ re; return * this; }
            const complex operator++ (int pusto)
              { complex temp = * this; re ++; return temp; }
};
```

Особенности операций ‘++’ и ‘––’

```
class complex { double re, im; /* … */
   public: complex (double r = 0, double i = 0) {re = r; im = i;}
           const complex & operator++ () { ++ re; return * this; }
           const complex operator++ (int pusto)
             { complex temp = * this; re ++; return temp; }
};
complex x (1, 2), y, z;

z = ++ x;          // z.re = 2, z.im = 2, x.re = 2, z.im = 2
z = x ++;          // z.re = 2, z.im = 2, x.re = 3, z.im = 2
++ ++ x;           // ОШИБКА: возвращается константное значение
y = (x + y) ++;    // ОШИБКА: сложение возвращает
                   // константное значение
```

Перегрузка операций

- Виды определений перегрузки операций:

```
class X {          // члены класса (имеют неявный параметр this)
  X    operator ++     (int);    // постфиксная унарная операция увеличения
  X &operator ++         ();    // префиксная унарная операция увеличения
  X * operator &         ();    // префиксная унарная операция взятия адреса (‘&’)
  X    operator &       (X);    // бинарная операция логического И (‘&’)
  X    operator &    (X, X);    // ошибка: заданы три операнда операции ‘&’
  X    operator /         ();    // ошибка: нет унарной операции деления (‘/’)
};                 // функции, не являющиеся членами класса
  X    operator --(X&, int);    // постфиксная унарная операция уменьшения
  X &operator --      (X&);    // префиксная унарная операция уменьшения
  X    operator -       (X);    // префиксная унарная операция изменения знака
  X    operator -    (X, X);    // бинарная операция вычитания (‘–’)
  X    operator -         ();    // ошибка: не заданы операнды операции ‘–’
  X    operator - (X, X, X);    // ошибка: заданы три операнда операции ‘–’
  X    operator %       (X);    // ошибка: нет унарной  операции остатка (‘%’)
```

Перегрузка операций. Пример

- Операция косвенного доступа к объектам:

```
class Ptr_Object { Object * operator -> () { } } p;      // p -> Object_field = 0;
```

- Преобразование в указатель:

```
Object * f (Ptr_Object p) { return p.operator -> (); } // p == 0 не допустимо!
```

- Для обыкновенных указателей операция доступа -> является синонимом некоторой комбинации операций разыменования * и индексации *[]*:

```
p -> m ≡ (* p).m          (*p). m ≡ p[0].m          p -> m ≡ p[0].m
```

- Операция косвенного доступа к объектам:

```
class Ptr_Object { Object  * p;
        public:      Object  * operator -> () { return p; }
                     Object & operator  *  () { return * p; }
                     Object & operator  [] (int i) { return p [i]; }
};
```

Виды отношений между классами

- Классы могут рассматриваться как автономные абстрактные сущности, однако
  - в безусловном большинстве существующих программ классы взаимосвязаны
- Разновидности взаимосвязей (в том числе – иерархий):
  - Ассоциация классов
  - Агрегация классов
  - Использование одним классом другого класса
  - Инстанцирование (наполнение) класса
  - Наследование одним классом свойств другого класса

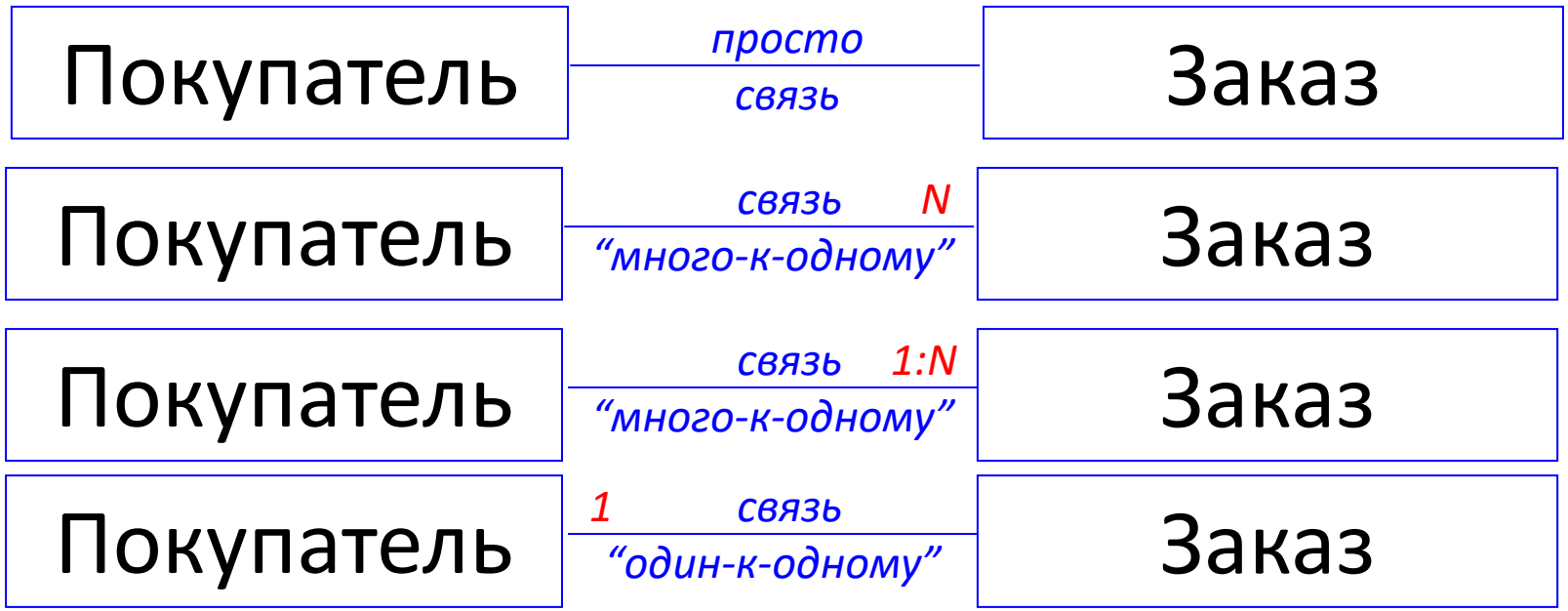
Основные понятия ER-модели

- *Сущность (Entity) –* абстракция, полученная на основе сходных объектов, информация о которых должна сохраняться и быть доступной
- В диаграммах ER-модели сущность представляется в виде прямоугольника, содержащего имя сущности

- Имя сущности – это имя типа (класса), а не некоторого конкретного *экземпляра* этого типа
- *Атрибут –* именованная характеристика сущности
- *Ключ сущности –* совокупность атрибутов, однозначно определяющая конкретный экземпляр

Основные понятия ER-модели

- *Связь (Relationship) –* графически изображаемая ассоциация, устанавливаемая между сущностями, связь – это типовое понятие, все экземпляры связываемых сущностей подчиняются единым правилам связывания



- *Модальность связи –* “***должен***” или “***может***”

Взаимодействие и иерархия классов. Ассоциация

- Ассоциация – наиболее общий вид взаимосвязи

  На первых стадиях проектирования вид этой связи никак не конкретизируется, а утверждается лишь наличие некоторой связи, которая затем может проявиться в одном из других видов межобъектных связей
- Ассоциация всегда является бинарной и может существовать между двумя разными сущностями или между сущностью и ею же самой (рекурсивная связь)
- При последующем проектировании связь, выраженная как ассоциация, превращается в другую, более точно выраженную связь

Взаимодействие и иерархия классов. Агрегация

- Агрегация выражает отношение между классами по формуле “***часть-целое***” (“***has a***”, “***содержит***”)
- При агрегации объект одного класса внутри себя содержит объекты других классов, как объект “*Треугольник*” содержит три объекта “*Вершина*”, а объект “*Самолёт*” содержит четыре объекта “*Двигатель*”
- Различают строгую (сильную) и нестрогую агрегацию. При строгой агрегации внутренний компонент существует только одновременно с объектом. Строгую агрегацию иногда называют композицией (в этом случае нестрогую агрегацию называют агрегацией без каких-либо уточнений)

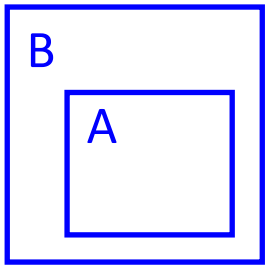
Взаимодействие и иерархия классов. Агрегация

- Нестрогая агрегация на языке Си++

```
class ShareHolder { ... Share * asserts; ... };  // Акции могут исчезнуть,
                                                 // но объект будет существовать
```

- Строгая агрегация или композиция на языке Си++

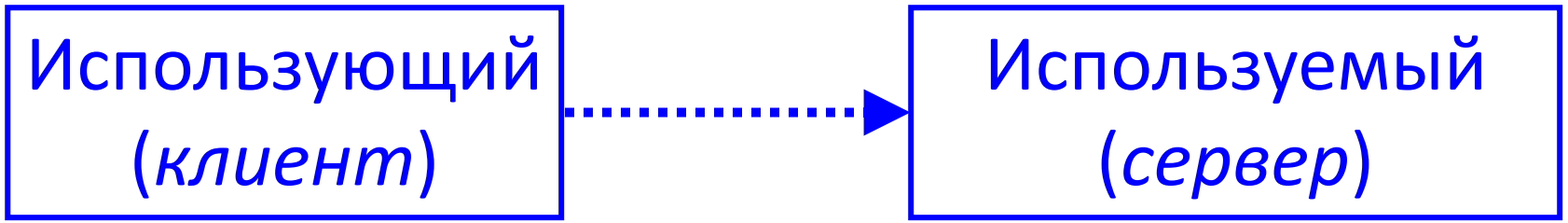
```
struct A { /* ... */ };
struct B {  struct A a; /* Класс B содержит класс A */  };
```




```
class Triangle { Point v1, v2, v3; ... }; // Вершины не могут исчезнуть,
                                          // пока существует экземпляр класса Triangle
```

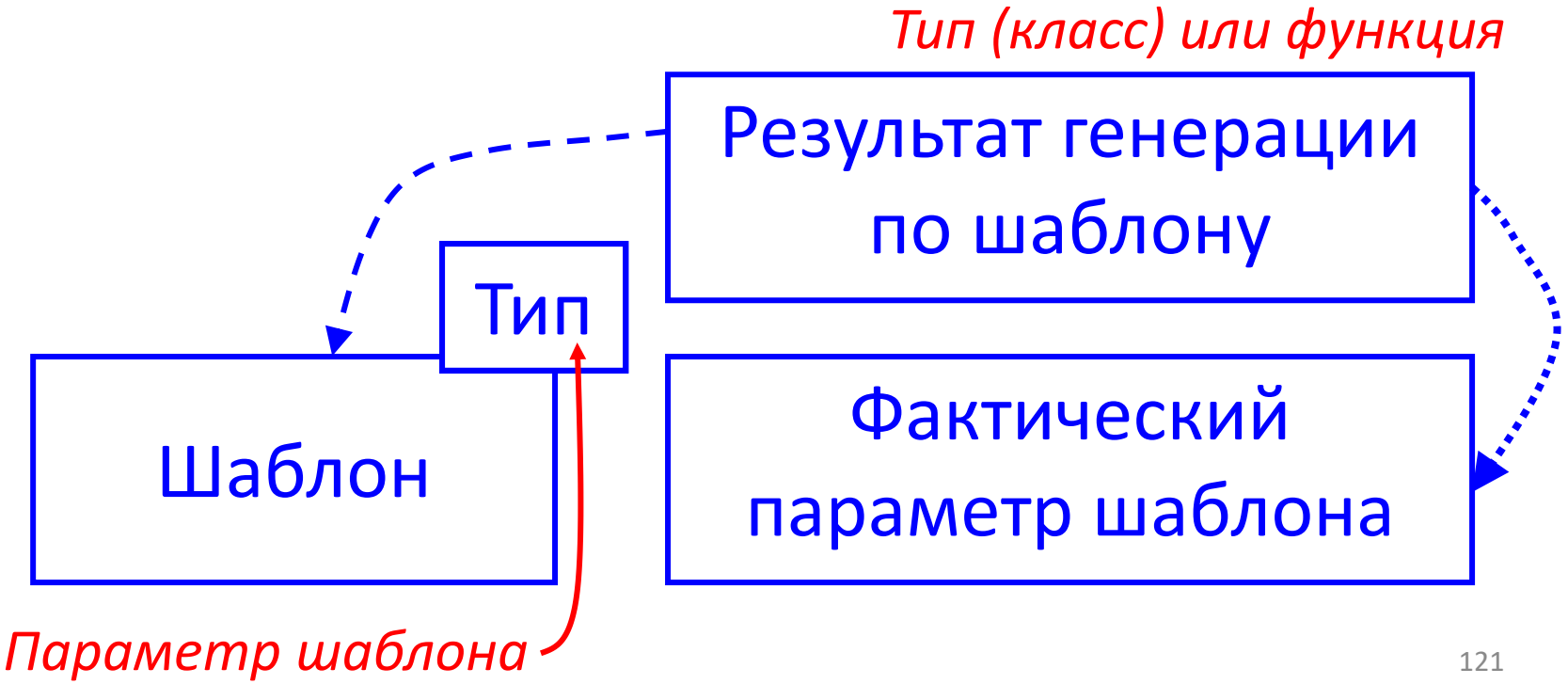
Взаимодействие и иерархия классов. Использование

- Имя одного класса используется в прототипе (профиле) метода другого класса
- В теле метода одного класса создаётся локальный объект другого класса
- Метод одного класса обращается к методу другого класса



Взаимодействие и иерархия классов. Инстанцирование

- Инстанцирование – проведение настройки шаблона с помощью типового параметра



Пример иерархии. Одиночное наследование

- *Концепция наследования*: один класс является разновидностью (“*частным случаем*”) другого
- Иерархия наследования образует иерархию структур классов
- Иерархия структур классов определяет отношение “обобщение/специализация” (“***is a***”, “***есть***”)
- В иерархии классов вышестоящая абстракция является обобщением, а нижестоящая – специализацией

Наследование в Си++

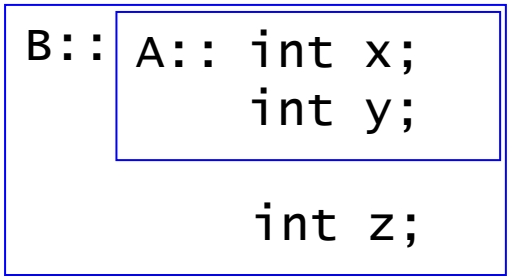
- Цель – формирование иерархических связей между пользовательскими типами путём расширения базовых классов классами-наследниками
- Наследование выражает отношение вида “*частное-общее*” (“***is a***”, “***есть***”, “роза” *есть* “цветок”):
  объекты производных классов рассматриваются как частные случаи объектов базовых классов
- Наследование – механизм создания нового класса (производного) из старого (базового):
  “уточняется” определение базового класса, расширяется его представление и поведение

Наследование в Си++

- Состояния и поведение базового и производного классов связаны между собой
  - Производный класс наследует состояние (набор данных) и поведение (набор методов) от уже существующего базового класса
  - Производный класс может расширять состояние и поведение базового класса, то есть дополнять унаследованную структуру данных и унаследованный набор методов
  - Производный класс может переопределять поведение базового класса, то есть содержание унаследованных функций
  - Производный класс может корректировать доступ к членам базового класса
  - Базовый класс ничего не знает о наличии производного класса, но может предполагать его наличие и принимать меры по облегчению его создания
- Возникающий при наследовании класс есть подтип базового класса, объекты класса-наследника могут использоваться везде, где могут использоваться объекты базового класса

Наследование в Си++

```
struct A     {  int x; int y;};   A a;
struct B: A  {  int z; };         B b;
                b.x = 1;          b.y = 2;      b.z = 3;
                a = b;
```

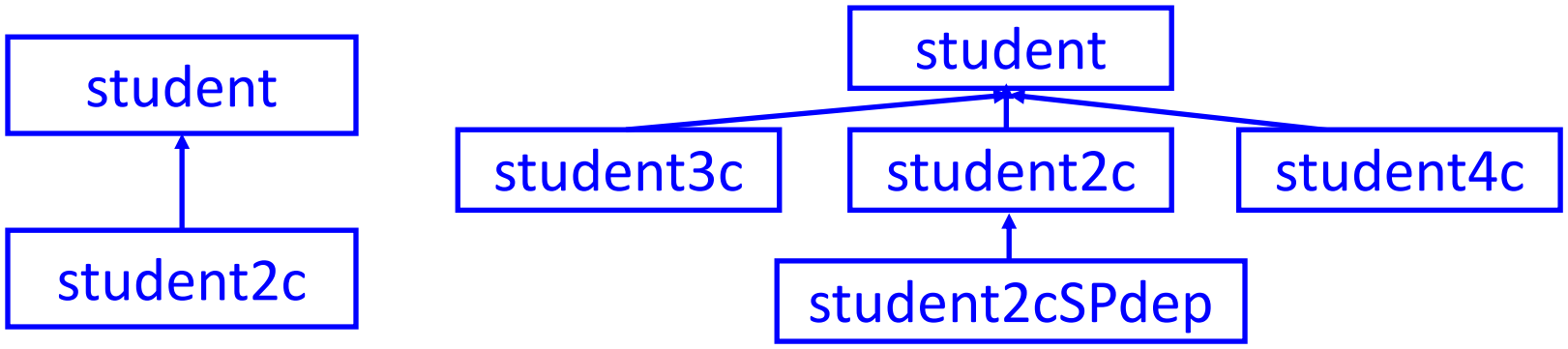


- Объект производного типа *B* наследует свойства базового типа *A*
- Допустимо присваивание *a = b*
- Обратное присваивание *b = a* неверно: у объекта *a* нет достаточной информации для заполнения полей объекта *b*
- Классы *A* и *B* могут служить базовыми классами для других классов без ограничения их числа:

```
struct C: A { int t; };        struct D: B { int t; };
```

Наследование в Си++

- Иерархия классов, описывающих данные о студентах:



- Самый младший наследник изображается внизу иерархии
- Стрелка направляется от производных классов к базовому
- Число входящих стрелок для любого базового класса может быть сколь угодно большим, от этого наследование для каждого из порождаемых классов в отдельности не перестаёт быть одиночным

Видимость при наследовании

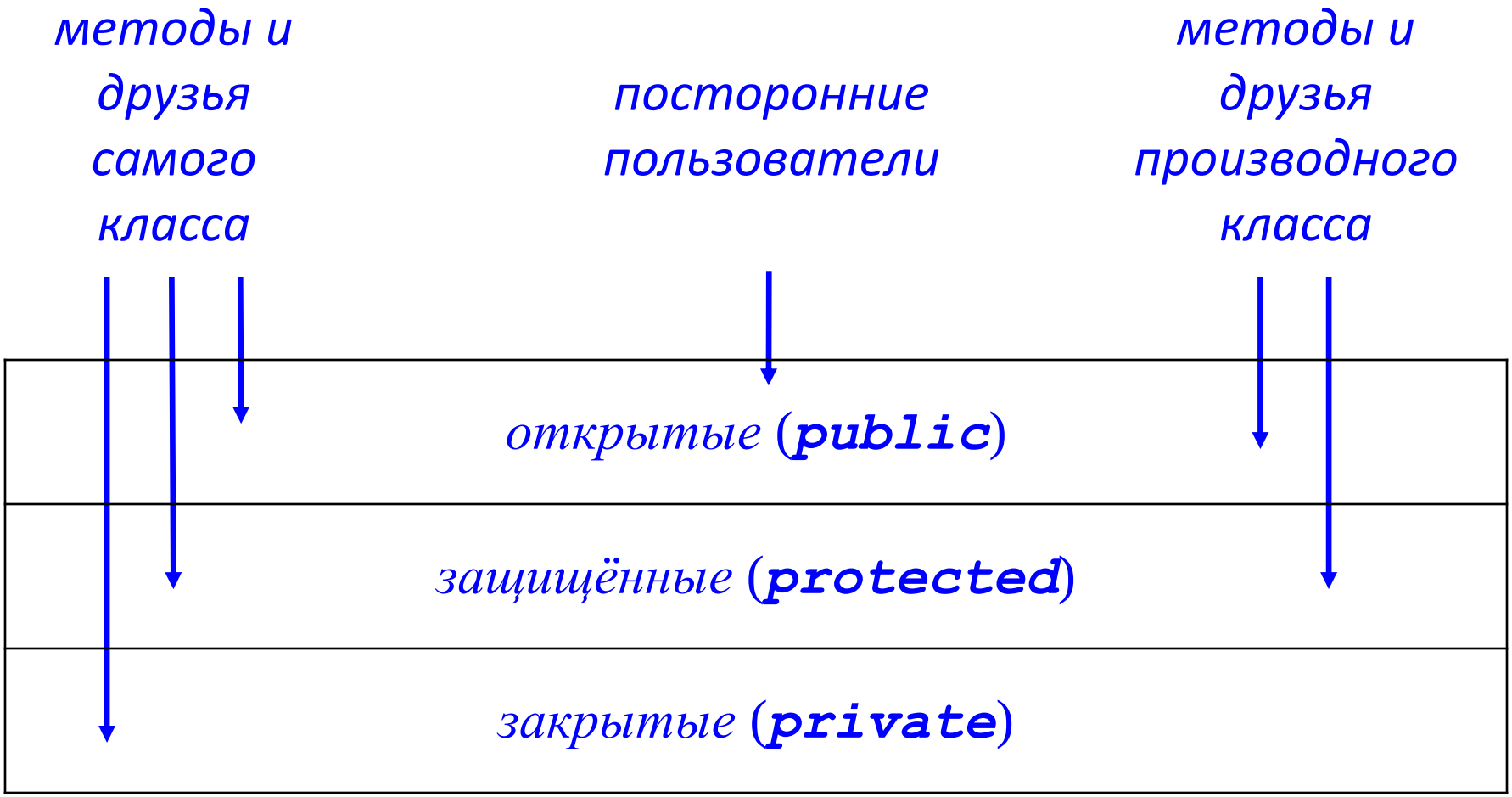
- Наследование контролируется с помощью ограничивающих видимость спецификаторов доступа
- Спецификаторы доступа могут только уменьшить видимость, но не расширить её
- По умолчанию структуры наследуют своим базовым классам открытым способом, а классы — закрытым:

```
class     C { public: int c; };
struct    S {         int s; };
class  CC: C { CC () { c = 1; /* ОШИБКА! */ }     // класс наследует закрытым
class  CS: S { CS () { s = 1; /* ОШИБКА! */ } };  //                образом,
struct SC: C { SC () { c = 1;  } };               //   а структура – открытым
struct SS: S { SS () { s = 1;  } };
class  CC: public C { CC () { c = 1; } };         // так надо исправить ошибки!
class  CS: public S { CS () { s = 1; } };
```

Видимость при наследовании

- Порождённый класс наследует все члены базового класса и имеет свободный доступ к открытым (***`public`***) и защищённым (***`protected`***) членам базового класса
- Причиной введения защищённых членов класса является необходимость открыть доступ к некоторым из элементов базовых классов, недоступным для посторонних
- Защищённые члены базового класса ведут себя как открытые по отношению к методам производных классов и как закрытые по отношению к другим функциям
- Закрытые (***`private`***) элементы базового класса недоступны для всех, включая методы производных классов

Видимость при наследовании



Видимость при наследовании

- Ограничение видимости действует только на данный производный класс и на его возможных потомков

```
struct A { int x; int y; };   class D: protected A { int t; };
D d, * pd = & d;   // строится указатель на производный класс
pd -> t;           // ОШИБКА: доступ к закрытому полю D::t (d.t)
pd -> x;           // ОШИБКА: доступ к защищённому полю D::x
```

- Работа с указателем происходит в контексте прав доступа этого указателя:

```
A * pa = (A*) pd;  // строится указатель на базовый класс
pa -> x;           // правильно: поле A::x – открытое
```

- Каждый класс создаёт собственную область видимости

Видимость при наследовании

- Если в производном классе объявлен метод, одноимённый методу базового класса с совпадающим профилем, то имеет место *перекрытие метода*

```
struct M { void f (int x); };          struct N: public M { int x; void f (int x); };
M m, *pm;                              N n, *pn;
pn = &n;              pn -> f (1);                 // вызывается N::f (1)
pm = (M*) pn;         pm -> f (1);                 // вызывается M::f (1)
```

- Если метод некоторого класса должен вызвать другой метод, описанный в одном из базовых классов, используется явная операция разрешения области видимости ‘*::*’

```
pn -> N::f (1);                                    // вызывается N::f (1)
pm -> M::f (1);       pn -> M::f (1);              // вызывается M::f (1)
```

- Явное использование объекта всегда трактуется однозначно:

```
n.f (1);                                           // вызывается N::f (1)
m.f (1);                                           // вызывается M::f (1)
```

Видимость при наследовании

```
int x = 7;  void f (int);
class P              {  int x; public:  void f (int);                  };
class Q: public P {                     void f (int);  void g    ();  };
void  Q::g()
{         f (1);       // Вызов Q :: f (1)
     P :: f (1);       // Вызов P :: f (1)
        :: f (1);      // Вызов глобальной void f (1)
        :: x = 1;      // Изменение глобальной переменной x
           x = 2;      // Кажется, что: ≡ ::x = 2, так как P :: x скрыто в базовом классе,
                       // Но ОШИБКА, так как x класса P перекрывает глобальную x,
                       // и в классе Q глобальная переменная x недоступна!
}
```

- При создании объекта типа *Q* вызывается конструктор *P::P ()*, затем собственный конструктор *Q::Q ()*
- При разрушении объекта типа *Q* вызывается деструктор *Q::~Q ()*, затем деструктор базового класса *P::~P ()*

Создание и уничтожение объектов при наследовании

- При создании объекта производного класса сначала создаются элементы данных базового класса, сам базовый класс, потом элементы данных производного класса, наконец, сам производный класс
- Уничтожение объектов проходит в обратном порядке: сначала уничтожается производный класс, его элементы, базовый класс, элементы базового класса
- Элементы данных создаются в порядке объявления в классе и уничтожаются в обратном порядке

Специальные методы при наследовании

- Конструкторы, деструкторы и операции присваивания (функции ***operator=()***) не наследуются, в каждом классе их определяют заново:

```
struct E  { E & operator = (int i) { /* ... */ }
            E (int i)                { /* ... */ }    /* ... */
};
struct F: E { /* ... */ };
void f ()  { F x (1);   // ОШИБКА: конструктор не наследуется
                        // и не проникает в производный класс
             x = 2;     // ОШИБКА: операция присваивания
}                       // не наследуется
```

Создание, инициализация и уничтожение подобъектов

- Объекты внутри объектов других классов:

```
class Point  { int x; int y; public: Point (); Point (int, int); };
class Z      { Point p; int z; public: Z (int); };
```

- Объекты создаются в порядке вхождения вложенных объектов в составной объект
- Конструктор составного объект вызывается, когда все подобъекты уже существуют и инициированы:

```
Z * z = new Z (1);          //    Point (); Z (1);
```

- Деструкторы вызываются в обратном порядке:

```
delete z;                   //    ~Z (); ~Point ();
```

Список инициализации

- Инициализировать вложенный объект до вызова собственного конструктора с помощью списка инициализации:

```
class Point      { int x; int y; public: Point (); Point (int, int); };
class Z          { Point p; int z; public: Z (int); };
Z::Z (int c): p (1, 2) { z = c; }  // есть аналогия с Point p (1, 2)
Z::Z (int c): p (1, 2), z (c) {}   // но нельзя делать одно определение
                                   // в составе другого определения
```

- Если задан список инициализации собственных полей, будут вызваны конструкторы из списка с заданными параметрами
- Если для члена класса инициализация в списке не указана, для инициализации используется конструктор умолчания
- Конструкторы из списка вызываются *в порядке включения элементов в состав класса, но не списка!*

Инициализация и присваивание

- Инициализация объекта отличается от присваивания этому объекту нового значения
- Присваивание может повторяться много раз, инициализация выполняется лишь однажды
- Присваивание константам невозможно, инициализация константы – процесс естественный
- Инициализация выполняется для ничем не заполненной памяти, присваивание должно правильно работать с уже созданным объектом, значение которого заменяется новым
- В инициализаторах членов класса возможно задание начальных значений ссылкам и константам

Инициализация и присваивание

- В инициализаторах членов класса возможно задание начальных значений ссылкам и константам:

```
class error { int i; const int ci; int & ri;
  public: error (int ii) {  i = ii;
        ci = ii;  // ОШИБКА – нельзя присваивать константе
        ri = i; } // ОШИБКА – ссылка должна быть инициирована
};
```

- Следует изменить конструктор и записать инициализацию таким образом, чтобы она не смешивалась с присваиванием:

```
error::error (int ii): ci (ii), ri (i) // здесь нет ошибок!
          { i = ii; }       // это обычное присваивание
```

Инициализация полей данных

- Инициализации полей, унаследованных производными классами от базовых классов, можно не делать, если для этих полей достаточно вызывать конструкторы по умолчанию
- В список инициализации, имеющийся у конструктора производного класса, необходимо включать обращение к конструктору базового класса с параметрами, обычно строящимися на основе значений параметров соответствующего конструктора производного класса:

```
class T { int n; double x; /* ... */
        public: T (int i, double y): n (i), x (y) { /* ... */ }
};
class U: public T { bool b; /* ... */
        public: U (bool t, int i, double y): b (t), T (i, y) { /* ... */ }
};
```

Инициализация полей данных

- Имена полей базового класса использовать в списке инициализации конструктора производного класса нельзя:

```
class T { int n; double x; /* ... */
        public: T (int i, double y): n (i), x (y) { /* ... */ }
};
class U: public T { bool b; /* ... */
        public: U (bool t, int i, double y): b (t),
                n (i), x (y) { /* … */ } // ОШИБКА
// так можно инициализировать только собственные поля
};
```

Одиночное наследование в Си++

- Определим базовый класс, описывающий атрибуты студентов, этот класс послужит основой создания некоторого производного класса, описывающего только студентов 2 курса

```
class student {  protected: char * name; int year; // год обучения
                            double avb;             // средний балл
                            int student_id;
                 public: student (char* nm, int y, double b, int id):
                                  year (y), avb(b), student_id (id)
                            { name = new char [strlen (nm) + 1];
                              strcpy (name, nm); }
                          char * get_name () const { return name; }
                          void print ();
                         ~student () { delete [] name; }
};
```

Одиночное наследование в Си++

- Студент второго курса обладает всеми атрибутами студента – именем, номером года обучения, средним баллом на экзаменах, у него есть и свои, только ему присущие атрибуты, например, наименование темы практической работы по Си++ и имя руководителя практикой:

```
class student2c: public student { // указание на базовый класс
        protected: char* pract;   char* tutor;
            public: student2c (char* n, double b, int id,
                                  char* p, char* t) : student (n, 2, b, id)
                { pract = new char [strlen (p) + 1]; strcpy (pract, p);
                  tutor = new char [strlen (t) + 1];  strcpy (tutor, t); }
                    void print ();
                  ~student2c () { delete [] pract; delete [] tutor; }
};
```

Одиночное наследование в Си++

- У нового класса, уточняющего ранее введённый класс, должны быть свои конструкторы и деструктор
- Функция *print ()* производного класса скрывает одноимённую функцию базового класса (из другой области видимости)
- Полностью унаследован производным классом и может в нём использоваться селектор *get_name ()*
- В новом классе можно заново строить все методы (может быть, копируя фрагменты текста из определения базового класса), но можно воспользоваться уже сформированными методами базового класса, как сделано в этом примере, где конструктор производного класса обращается к конструктору базового класса для инициализации унаследованных полей, которые нельзя инициировать поимённо

Одиночное наследование в Си++

- Производный класс может устанавливать дополнительные ограничения на доступ к унаследованным от базового класса элементам, которые будут распространяться и на него самого и на все те классы, которые станут его наследниками
- Все открытые и защищённые элементы базового класса рассматриваются в производном классе как защищённые, а все закрытые элементы остались бы закрытыми:

```
class student3c: protected student { /* ... */ };
```

- Все элементы, унаследованные производным классом от базового, становятся закрытыми:

```
class student4c: private student { /* ... */ };  // эквивалентно:
class student4c: student { /* ... */ };
```

Одиночное наследование в Си++

- Во вновь порождённом производном классе могут быть определены новые члены (как новые поля данных, так и новые методы): в конструкторе класса студентов 2 курса уже не нужно задавать год обучения, но необходимо задать тему и руководителя практикой
- При вызове конструктора для экземпляра класса студентов 2 курса сначала проработает конструктор базового класса *student ()*, а затем конструктор производного класса *student2c*, иерархически вложенного в базовый, который вправе ожидать, что имя студента, номер зачётной книжки, средний балл и год обучения будут уже определены, когда придётся заполнять поля темы и имени руководителя
- При работе производного деструктора *~student2c ()* поле года обучения ещё будет существовать

Одиночное наследование в Си++

- Функция *print ()* базового класса не видна объектам производного класса, но путём уточнения её имени именем класса, которому принадлежит функция, её можно сделать видимой, если она не имеет атрибута ***private***

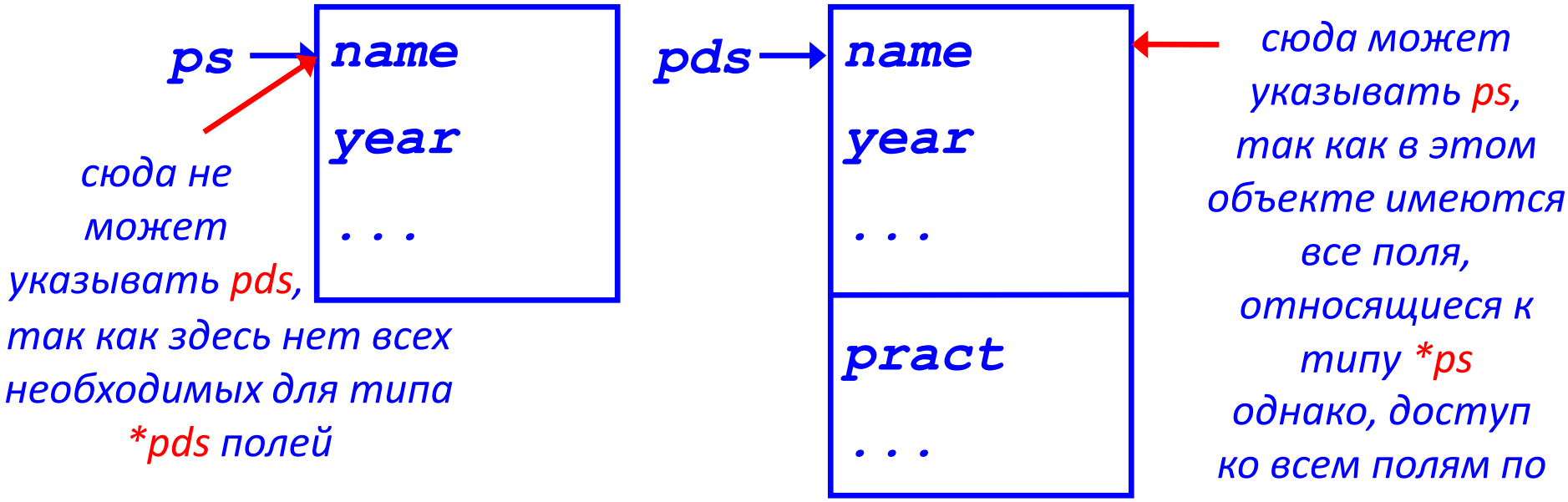
```
void student :: print ()
{ cout << “ФИО                = ”   << name        << endl;
  cout << “Курс               = ”   << year        << endl;
  cout << “Средний балл       = ”   << avb         << endl;
  cout << “Номер зачётки      = ”   << student_id  << endl;
}
void student2c :: print ()
{ student :: print (); // выдаёт в файл name, year, avb, student_id
  cout << “Тема курсовой      = ”   << pract       << endl;
  cout << “Преподаватель      = ”   << tutor       << endl;
}
```

Одиночное наследование в Си++

- Манипуляции с объектами классов в глобальной функции *f ()*:

```
void f ()
{ student    s (“Катя”, 2, 4.18, 20100210);
  student2c ds (“Таня”, 4.08, 20100211, “Компилятор Си++”,
                                        “Виктор Петрович”);
  student    * ps   = & s;      // указатель на базовый класс (курс = 2)
  student2c* pds = & ds;    // указатель на производный класс
  ps  -> print ();   // student     :: print () напечатает главное
  pds -> print ();  // student2c :: print () напечатает всё
  ps = pds;          // допустимо (стандартное преобразование)
  ps -> print ();    // student     :: print () выбирается
                     //                 статически по типу указателя
}
```

Генеалогические преобразования

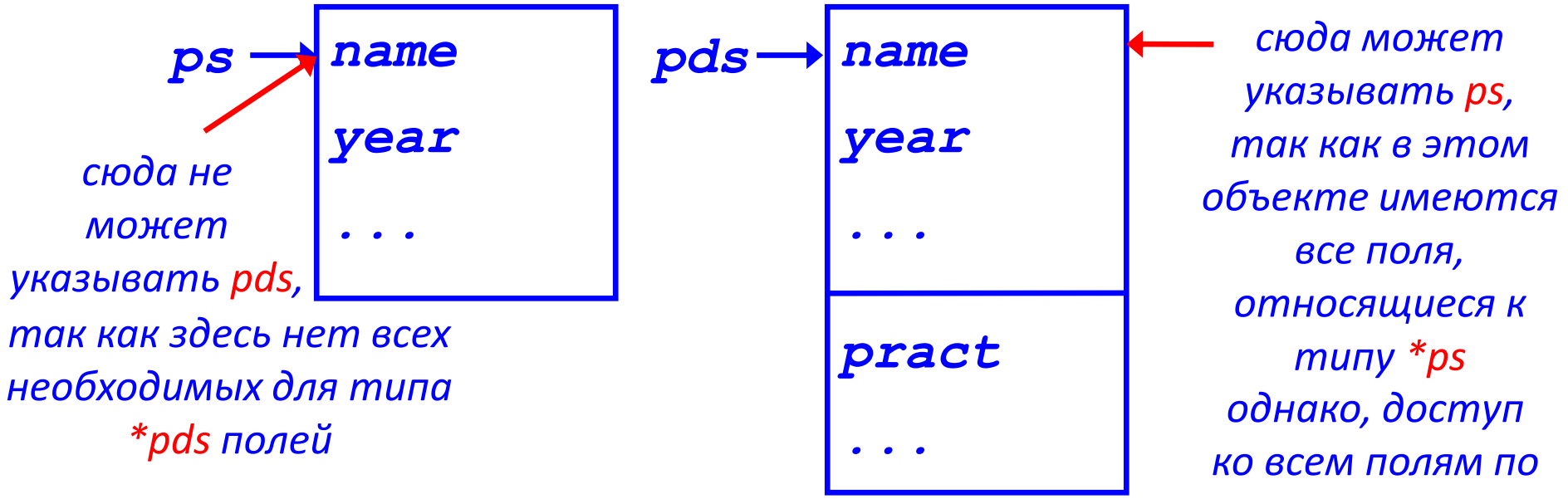


*сюда не может указывать pds, так как здесь нет всех необходимых для типа *pds полей*

*сюда может указывать ps, так как в этом объекте имеются все поля, относящиеся к типу *ps однако, доступ ко всем полям по указателю ps невозможен, полный доступ возможен только по указателю pds*

```
ps = &  s;  pds = & ds;  ps =  pds;    // допустимо!
pds =   ps;        // ОШИБКА: недопустимо!
pds =  & s;        // ОШИБКА: недопустимо!
```

Генеалогические преобразования



*сюда не может указывать pds, так как здесь нет всех необходимых для типа *pds полей*

*сюда может указывать ps, так как в этом объекте имеются все поля, относящиеся к типу *ps однако, доступ ко всем полям по указателю ps невозможен, полный доступ возможен только по указателю pds*

```
ps =  pds;      // base * = derived * (безопасно)
ps = & ds;      // base * = derived * (безопасно)
```

С объектом производного класса можно обращаться как с объектом базового класса при обращении к нему при помощи базовых указателей и ссылок

Генеалогические преобразования

- Возможность доступа к объектам по указателям определяется статически по типу используемого указателя
- Правило статического выбора объекта по типу указателя работает даже в условиях длинных цепочек производных классов:

```
class X1  {    public: void f (int);          /* ... */ };
class X2    :  public X1 { /* ... */ };       /* ... */
class X10  :  public X9 { public: void f (double); /* ... */ };
void g (X10 * p) { p -> f (2); } // X10::f или X1::f?
```

Наследование в Си++

- При явно описанном конструкторе копирования производного класса для базового класса вызывается конструктор умолчания (если в списке инициализации не указано иное), если же конструктор копирования производного класса получен автоматически, то для базового класса вызывается конструктор копирования (сгенерированный автоматически или написанный вручную):

- **class** A {…}; **class** B: **public** A { B () {} B (**const** B &) {} };
  B b; // вызов конструкторов умолчания *A ()* и *B ()*
  B b1 = b; // копирование *b* в *b1* – вызов конструктора умолчания *A ()*,
  // затем вызов конструктора копирования *B (**const** B &)*
  class C: **public** A {};
  C c; // вызов конструкторов умолчания *A ()* и *C ()*
  C c1 = c; // копирование *c* в *c1* – вызов конструктора копирования
  // класса *A*, затем вызов конструктора копирования класса *B:*
  // *A (**const** A &)*, затем *C (**const** C &)*

Виды полиморфизма

- ***Полиморфными*** называются методы, позволяющие выразить алгоритм один раз, но использовать его с множеством разных типов
- ***Статический полиморфизм*** действует только на этапе компиляции и характеризуется использованием одноимённых функций с разными профилями
- ***Параметрический (ти́повый) полиморфизм*** времени компиляции связан с введением шаблонов как средства параметрического описания классов
- ***Динамический полиморфизм*** реализуется с помощью виртуальных функций и доступа к функциям по указателям, когда на этапе компиляции не удаётся определить точную вызываемую функцию, так как значение указателя не известно

Динамический полиморфизм

- Поддержку динамического полиморфизма выполняют виртуальные методы, связанные с полиморфными объектами
- Виртуальные методы вводятся в классах, когда предполагается, что впоследствии будут определены производные от них классы, в которых эти виртуальные методы будут переопределены и сделаны конкретными, имеющими более точные реализации
- В каждом из производных классов переопределение виртуальных методов может быть своё, не похожее на сделанное в других классах
- Целью введения виртуальных методов является замена статического выбора метода (по типу указателя), на динамический выбор (по типу объекта, а не указателя)

Работа виртуальной функции

- *Полиморфным называется тип, в состав которого входят виртуальные функции*

```
class student {                          /* ... */ public: void print () const; };
class student2c: public student { /* ... */ public: void print () const; };
student    :: ~student ()   { delete [] name; }
student2c :: ~student2c() { delete [] pract; delete [] tutor; }
void student :: print ()
{ cout << “ФИО                = ”   << name        << endl;
  cout << “Курс               = ”   << year        << endl;
  cout << “Средний балл       = ”   << avb         << endl;
  cout << “Номер зачётки      = ”   << student_id  << endl; }
void student2c :: print ()
{ student :: print (); // выдаёт в файл name, year, avb, student_id
  cout << “Тема курсовой      = ”   << pract       << endl;
  cout << “Преподаватель      = ”   << tutor       << endl; }
```

Работа виртуальной функции

- Манипуляции с объектами классов в глобальной функции *f ()*:

```
void f ()
{ student    s (“Катя”, 2, 4.18, 20100210);
  student2c ds (“Таня”, 4.08, 20100211, “Компилятор Си++”,
                                        “Виктор Петрович”);
  student    * ps   = & s;      // указатель на базовый класс
  student2c* pds = & ds;    // указатель на производный класс
  ps  -> print ();   // student     :: print () напечатает главное
  pds -> print ();  // student2c :: print () напечатает всё
  ps = pds;          // допустимо (стандартное преобразование)
  ps -> print ();    // student     :: print () выбирается
}                    //                  статически по типу указателя
```

Работа виртуальной функции

- *Полиморфным называется тип, в состав которого входят виртуальные функции*

```
class student {                 /* ... */ public: virtual void print () const; };
class student2c: public student {/* ... */ public: void print () const; };
student    :: ~student ()   { delete [] name; }
student2c :: ~student2c() { delete [] pract; delete [] tutor; }
void student :: print () const
{ cout << “ФИО                = ”   << name        << endl;
  cout << “Курс               = ”   << year        << endl;
  cout << “Средний балл       = ”   << avb         << endl;
  cout << “Номер зачётки      = ”   << student_id  << endl; }
void student2c :: print () const
{ student :: print (); // выдаёт в файл name, year, avb, student_id
  cout << “Тема курсовой      = ”   << pract       << endl;
  cout << “Преподаватель      = ”   << tutor       << endl; }
```

Работа виртуальной функции

- Манипуляции с объектами классов в глобальной функции *f ()*:

```
void f ()
{ student    s (“Катя”, 2, 4.18, 20100210);
  student2c ds (“Таня”, 4.08, 20100211, “Компилятор Си++”,
                                          “Виктор Петрович”);
  student    * ps   = & s;      // указатель на базовый класс
  student2c* pds = & ds;    // указатель на производный класс
  ps  -> print ();   // student     :: print () напечатает главное
  pds -> print ();  // student2c :: print () напечатает всё
  ps = pds;          // допустимо (стандартное преобразование)
  ps -> print ();    // student2c :: print () выбирается
}                    //                  динамически по типу объекта
```

Правила создания виртуальных функций

1. Имеется иерархия классов (без иерархии нет виртуальности!), хотя бы из двух классов – базового и производного
2. В базовом классе функция объявлена с ключевым словом ***`virtual`***
3. В производном классе есть функция с таким же именем, с таким же списком параметров (количество, типы и порядок параметров в точности совпадают) и с таким же типом возвращаемого значения
4. Вызов функции осуществляется через указатель или ссылку на объект базового класса без указания самого объекта и уточнения области видимости

Правила создания виртуальных функций

- В производном классе слово ***`virtual`*** может отсутствовать
- Простое использование слова ***`virtual`*** в базовом классе не запускает механизм виртуальности
- Нарушение условий приводит к тому, что вместо виртуальной функции возникает обычное перекрытие имён базового класса производным
- В базовом классе, как таковом, никаких виртуальных функций существовать не может

Правила создания виртуальных функций

- Типы возвращаемых значений могут иметь отличия: если в базовом классе этот тип есть тип указателя (ссылки) на базовый класс, а в производном классе – тип указателя (ссылки) на производный класс, то виртуальность всё же достигается
- Допускается исключение: если в виртуальной функции базового класса типом возвращаемого значения является указатель на сам тип этого класса, то в функции производного класса допускается иметь в качестве возвращаемого значения также указатель на тип производного класса:

```
class student                          { public: virtual student     * cv () const; };
class student2c:public student { public: virtual student2c * cv () const; };
```

Правила создания виртуальных функций

- Если в производном классе нет объявления функции, одноимённой с функцией, обозначенной в базовом классе как виртуальная, функция из базового класса наследуется, причём со словом ***`virtual`***, то есть становится потенциальной виртуальной функцией на случай возникновения нового поколения наследующих классов

Правила создания виртуальных функций

- Вызов функции через объект (*x.f ()*) приводит к раннему связыванию даже для виртуальных функций, виртуальности не возникает
- При непосредственной работе с объектами (без указателей и ссылок) их тип всегда известен:

```
void fvirt ()
{ /* ... */
   s.print ();   // ≡ student     :: print (); // явные вызовы делают
  ds.print ();  // ≡ student2c :: print (); // полиморфизм ненужным
}
```

Преобразование указателя this

- Обращения к методам и полям объектов из методов класса реализуются с помощью указателя *this*:

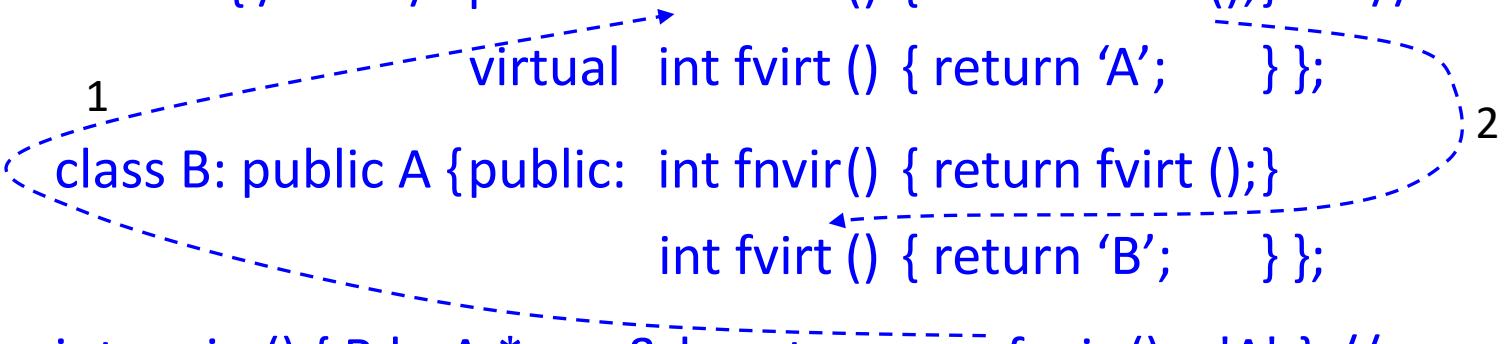
```
class A                { public: int f (); };
class B: public A { public: int f (); };
class C: public B { public: int f (); int g (); };

int C::g () { cout << this -> f ();                  // cout << f ()
              cout << ((B *) this) -> f ();          // cout << B::f ()
              cout << ((A *)(B *) this) -> f ();     // cout << A::f ()
              return B::f ();
};
```

Правила создания виртуальных функций

- При вызове методов из методов механизм виртуализации тоже работает, так как вызовы сопровождаются (часто неявными) операциями доступа '**->**' по указателю ***this***:

```
class A { /* ... */  public:  int fnvir() { return fvirt ();}      // this -> fvirt ()
                      virtual  int fvirt () { return 'A';      } };
class B: public A {public:  int fnvir() { return fvirt ();}
                            int fvirt () { return 'B';      } };
int main () { B b; A * p = & b; return p -> fnvir () – 'A';} // возвращается 1
```



- При явном указании класса виртуальность отключается, даже при вызове через указатель: ps -> student :: print ()

Виртуальные деструкторы

- Деструкторы не наследуются
- Деструкторы следует делать виртуальными
- Удаление объекта деструктором базового класса может привести к потере памяти, так как некоторые поля данных в наследнике не будут освобождены:

```
void f () { student2c  * pds = new student2c (“Таня”, 4.08, 20050211,
                                “Компилятор Си++”, “Виктор Петрович”);
        student     * ps = pds;                          /* ... */
        delete ps;
                // вызовется ~student (), и некоторые поля не будут
                // освобождены, так как компилятор не в состоянии
                // знать состав объекта, на который  указывает ps
}
```

Виртуальные деструкторы

- Виртуальные деструкторы:

```
virtual     ~student ();      // в классе student
virtual     ~student2c ();    // в классе student2c
```

- При выполнении операции ***`delete`*** *ps* будет вызван деструктор производного класса *~student2c ()* (сработает динамический полиморфизм)
- Особенность виртуальных деструкторов: имена у деструкторов базового и производного классов разные, но для деструкторов сделано исключение из общего правила (как если бы все они имели одно условное имя *“Деструктор”*)
- ***Конструкторы не могут быть виртуальными***: производные классы не должны и не могут подменять конструкторы базовых классов

Виртуальные деструкторы

```
class A { public:  virtual                    ~A ()          { final_procedure ();              }
                          void  init_procedure () const  { step1 (); step2 ();              }
                   virtual  void              step1 () const  { cout << "Step one.";          }
                   virtual  void              step2 () const  { cout << "Step two." << endl;  }
                   virtual  void final_procedure () const  { cout << "Step out." << endl;   }
};
class B: public A { public:
                   virtual  void              step1 () const  { cout << "Step new.";          }
                   virtual  void final_procedure () const  { cout << "Step off." << endl;   }
};
int main() {   A * array [] = { new A, new B };
               cout << "Base object: ";  array [0] -> init_procedure ();
               cout << "Derived obj: ";  array [1] -> init_procedure ();
               delete  array [0];  delete  array [1];                          return 0;
}
              //              Base object: Step one. Step two.
              //              Derived obj: Step new. Step two.
              //              Step out.
              //              Step out.              Но не Step off.
```

Пример виртуальной функции

- Виртуальные функции могут помочь при внедрении полиморфических свойств в такие объекты, которые изначально не обладали полиморфизмом
- Не являются полиморфическими операции ввода и вывода, определённые в стандартной библиотеке Си++ для потоков данных, что означает невозможность добиться полиморфности операции вывода в поток значения производного типа:

```
class Token                          { ... };
class ident:     public Token        { ... };
class number:    public Token        { ... };
class Parser { Token * lex; /* ... */
    public: /* ... */ { /* ... */ cout << lex; /* ... */}
                                  // ОШИБКА: операция не определена
```

Пример виртуальной функции

- Полиморфизм внедряется в объект с помощью виртуальной функции базового класса:

```
class Token { public: virtual ostream& print (ostream& s) { /*...*/ }
                    friend ostream& operator << (ostream & s, Token * t)
                                        { return t -> print (s); }
                };
```

- В производных классах функция определяется в том виде, который наиболее удобен для данного типа:

```
class ident:    public Token { public: ostream& print (ostream& s) {...}};
class number: public Token { public: ostream& print (ostream& s) {...}};
```

- Точный тип лексемы (объекта ** lex*) не известен, но вид значения объекта будет определяться его типом

Пример виртуальной функции

- Если первым параметром операции является параметр неполиморфного типа, она может обратиться к функции, первым параметром которой является указатель на полиморфный класс
- Функция *print ()* является виртуальной, выбор её реализации будет осуществляться в программе не статически по типу указателя, а динамически по типу объекта, на который построен указатель:

```
void f (Token * lex, ident * id, number * nmb)
                    { cout << lex << id << nmb; };
```

Управление наследованием

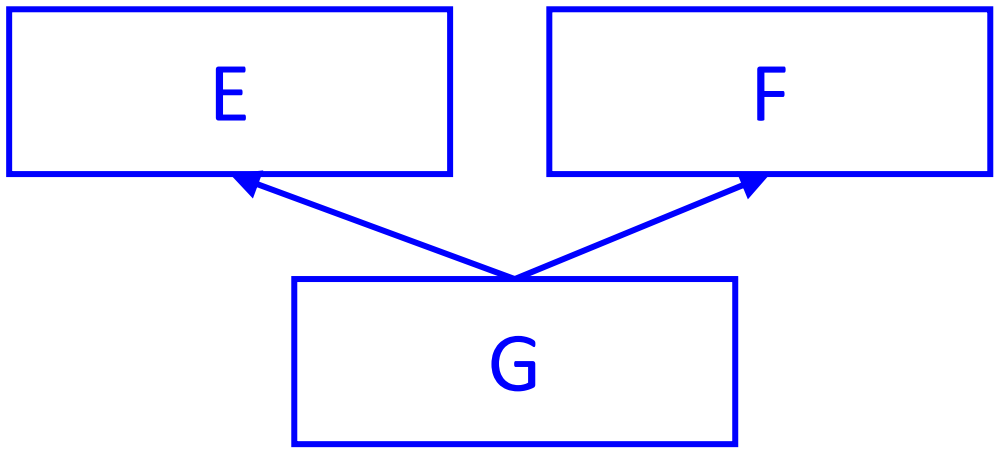
```
struct B { virtual void some_func ();
           virtual void f (int);
           virtual void g ()           const;
};
struct D1 : public B {
           virtual void sone_func ()       override;  // Ошибка: нет такой функции в B
           virtual void f (int)            override;  // OK!
           virtual void f (long)           override;  // Ошибка: несоответствие типа
           virtual void f (int)       const override;  // Ошибка: несоответствие
           virtual int  f (int)            override;  // Ошибка: несоответствие типа
           virtual void g ()          const final;     // OK!
           virtual void g (long);                      // OK: новая виртуальная функция
};
struct D2 : D1 { virtual void g ()     const;          // Ошибка: g () - финальная функция
};

struct F   final { int x,y; };
struct G :  F  {    int z;              // Ошибка: наследование от финального класса
};
```

Пример иерархии. Множественное наследование

- *Множественное наследование* есть одновременное наследование одним классом свойств сразу нескольких других классов

```
struct E        { /* ... */ };
struct F        { /* ... */ };
struct G: E, F  { /* ... */ };
```



Множественное наследование

- Производный класс может быть создан на основе произвольного числа базовых классов:

```
class A (/* ... */);      class B (/* ... */);      class C (/* ... */);
class D: public A,  protected B ,  private C (/* ... */);
```

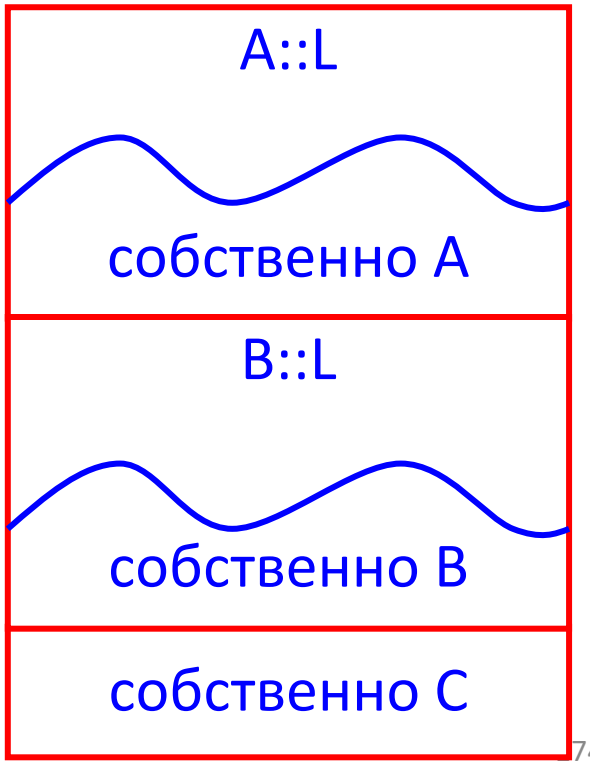
- При множественном наследовании сохраняются основные принципы действия механизма наследования, но возникают дополнительные проблемы, связанные с потенциальной неоднозначностью множественного наследования
- Каждый спецификатор уровня доступа действует только на одно упоминание базового класса, для последующих классов из списка базовых снова начинает действовать принцип умолчания (***`private`*** при наследовании для класса, ***`public`*** при наследовании для структуры):

```
class D: public A, B { /* ... */ };
```

Множественное наследование

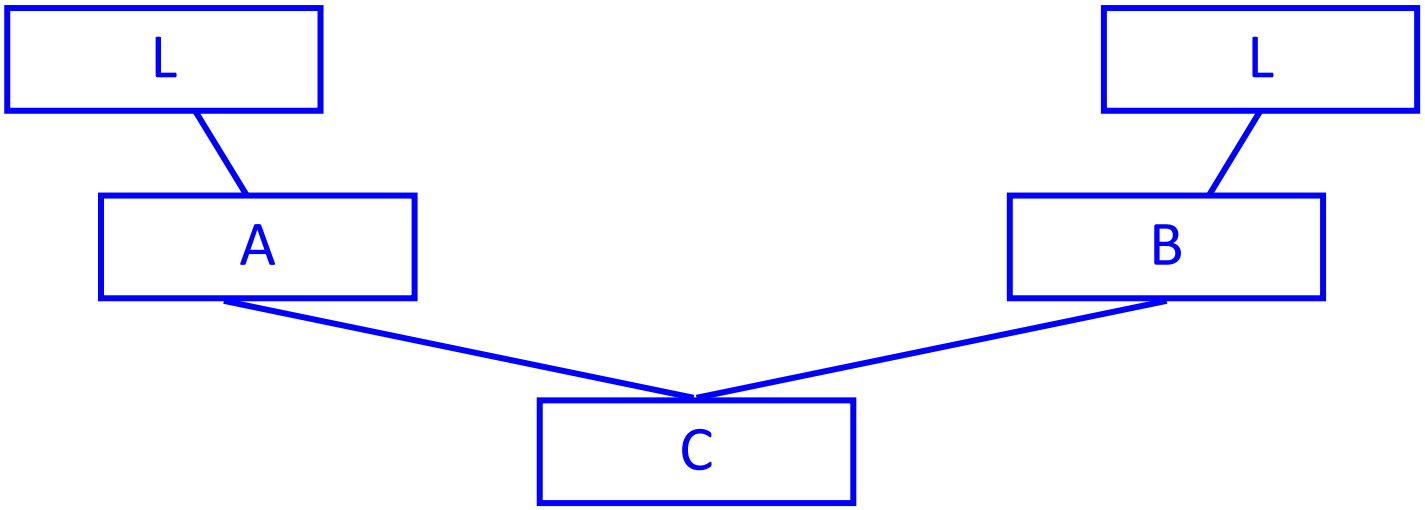
- В спецификации базовых классов ни один класс не может появиться дважды
- Непрямое повторное наследование вполне возможно и является обычной практикой программирования:

```
class L { public int n; /* ... */ };
class A: public L { /* ... */ };
class B: public L { /* ... */ };
class C: public A, protected B
                { /* ... */ void f (); /* ... */ };
```



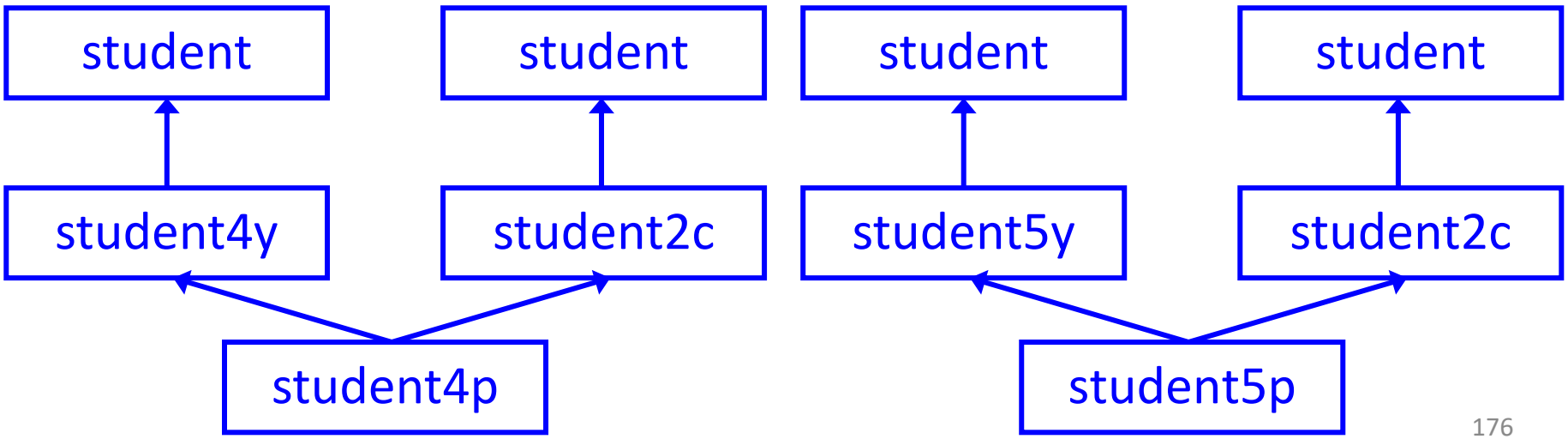
Множественное наследование

- Свойства класса *L* наследуются дважды (опосредованно), а значит, поля, относящиеся к этому типу, дважды войдут в состав полей класса *C*
- При работе с наследственными иерархиями составляют решётки смежности:



Множественное наследование

```
class student {protected: char * name;        /* … */ int student_id;    };
class student2c:  public student {protected: char* pract; char* tutor;};
class student3c:  public student { protected: /* ...  */ public:    /*…*/ };
class student4y: public student { protected: char* certificate;  /*…*/ };
class student5y: public student { protected: char* diploma;     /*…*/};
class student4p: public student2c,public student4y{ bool test;/*…*/ };
class student5p: public student2c,public student5y{ int exam; /*…*/ };
```



Множественное наследование

- Определение объекта производного класса:

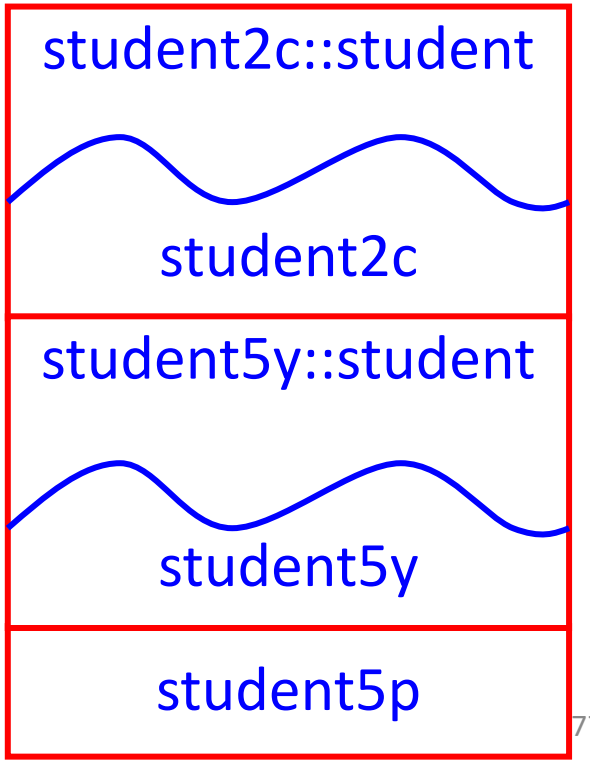
  student5p AB;

- Невозможно осуществить доступ к полю, содержащему средний балл, полученный студентом за время обучения (совершенно неясно, какое именно поле с именем *avb* имеется в виду):

  AB.avb = 4.7;

- Два таких варианта доступа к полям с этим именем:

  AB.student5y::avb = 4.7; // или
  AB.student2c::avb = 4.7;



Множественное наследование

- С учётом множественности наследования необходимо следить, чтобы неявное преобразование проводилось только тогда, когда базовый класс доступен и определяется однозначно:

```
void g ()
{ student4p* p4 =new student4p;
  student    * ps  =p4; // ОШИБКА, нет однозначности
  ps = (student *)  p4; // явное преобразование не помогает,
}                       // так как выполнено только условие доступности
```

- Возможно такое преобразование (явное преобразование может быть управляемым):

```
ps = (student *)(student4y *) p4; // => student4y => student
```

- Правильным будет и такое преобразование:

```
ps = (student *)(student2c *) p4; // => student2c => student
```

Множественное наследование

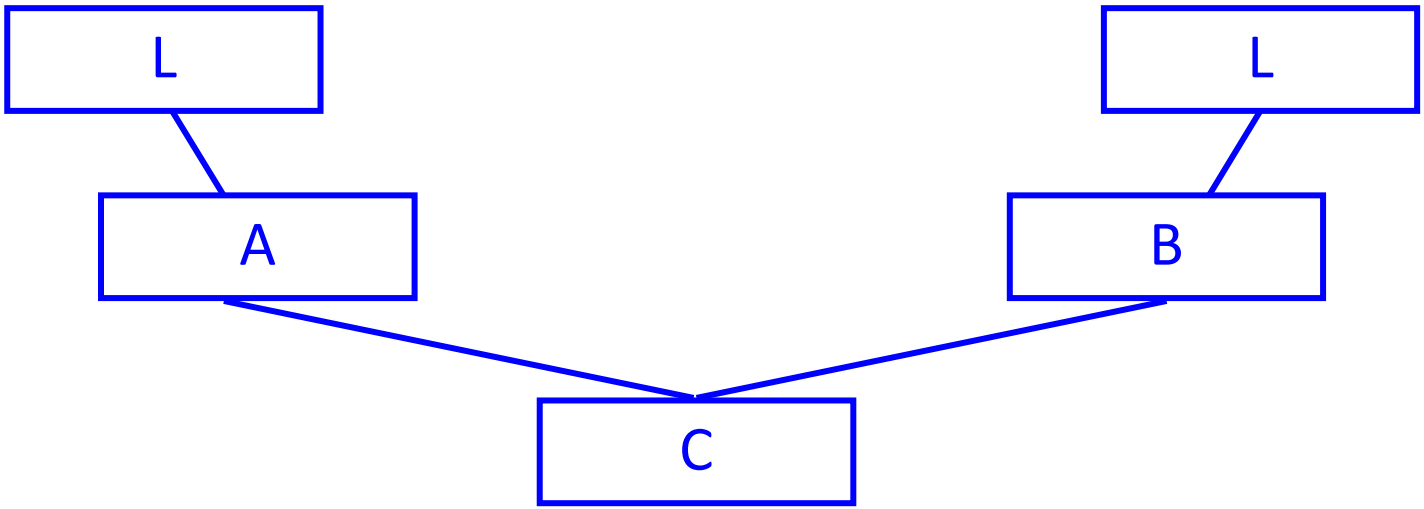
- Базовый класс считается доступным в некоторой области видимости, если доступны его открытые члены (поля и/или методы)

```
class B { public: int a; /* ... */ };
class D: private B { /* ... */ };
void g ()
{  D * pd = new D;
   B * pb = pd;     // ОШИБКА, так как в g () открытые члены B,
                    // наследуемые классом D, недоступны
}
```

- Показанное преобразование возможно, когда его выполняют метод класса *D*, либо функции-друзья класса *D*, так как в них класс *B* становится доступным

Виртуальное наследование

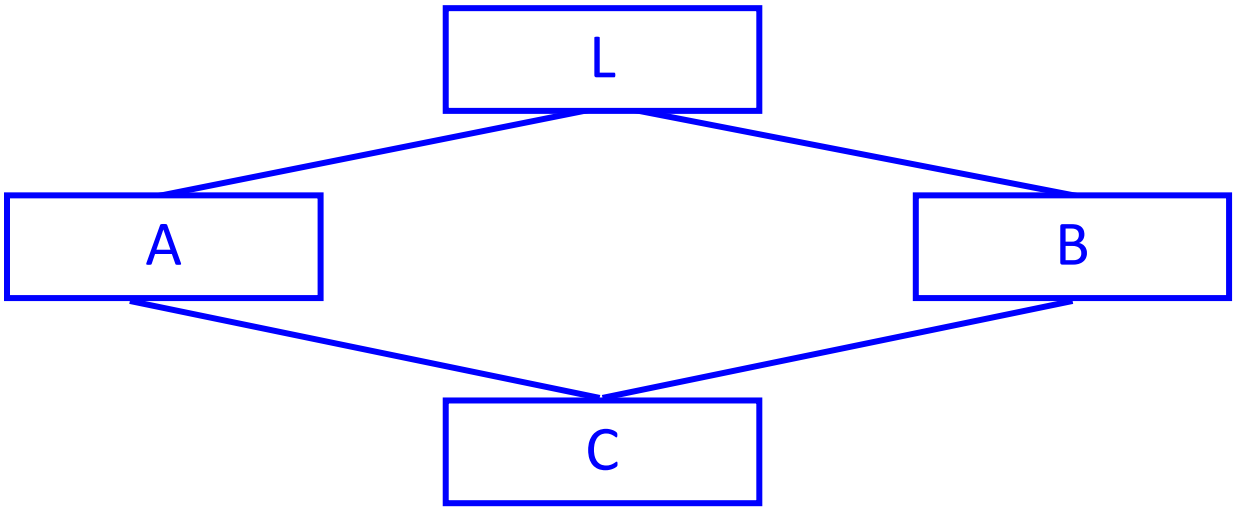
```
class L { public: int n; /* ... */ };
class A: public L { /* ... */ };
class B: public L { /* ... */ };
class C: public A, protected B
                { /* ... */ void f (); /* ... */ };
```




```
C c;    c.n = 1;      C * pc = new C;       L * pl = pc;
 // нет ошибки: всё доступно и однозначно
```

Виртуальное наследование

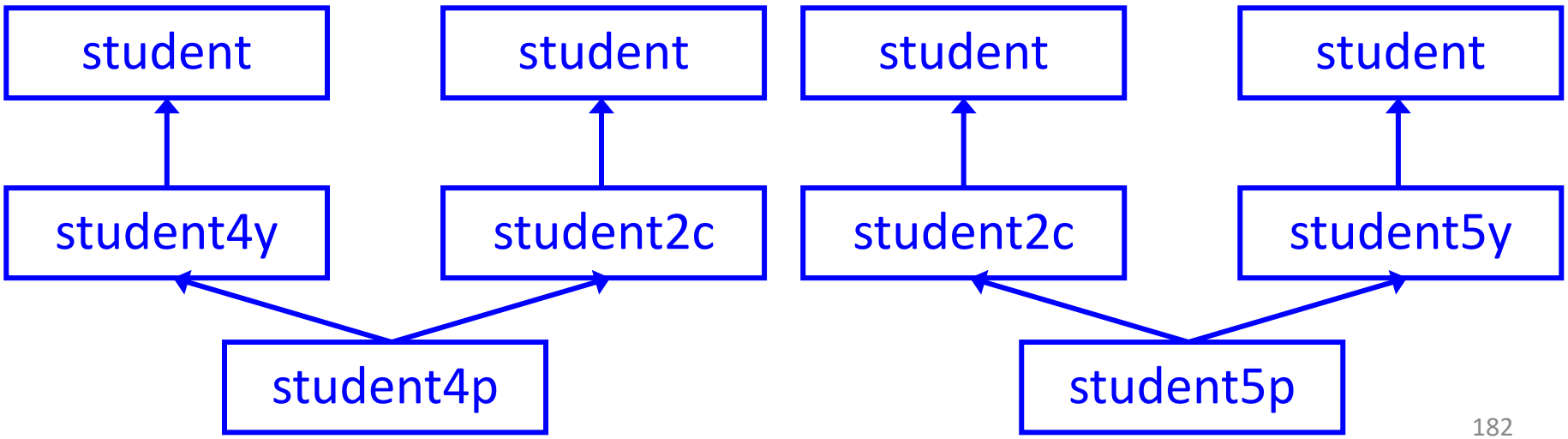
```
class L { public: int n; /* ... */ };
class A: virtual public L { /* ... */ };
class B: virtual public L { /* ... */ };
class C: public A, protected B
                { /* ... */ void f (); /* ... */ };
```




```
C c;    c.n = 1;      C * pc = new C;       L * pl = pc;
 // нет ошибки: всё доступно и однозначно
```

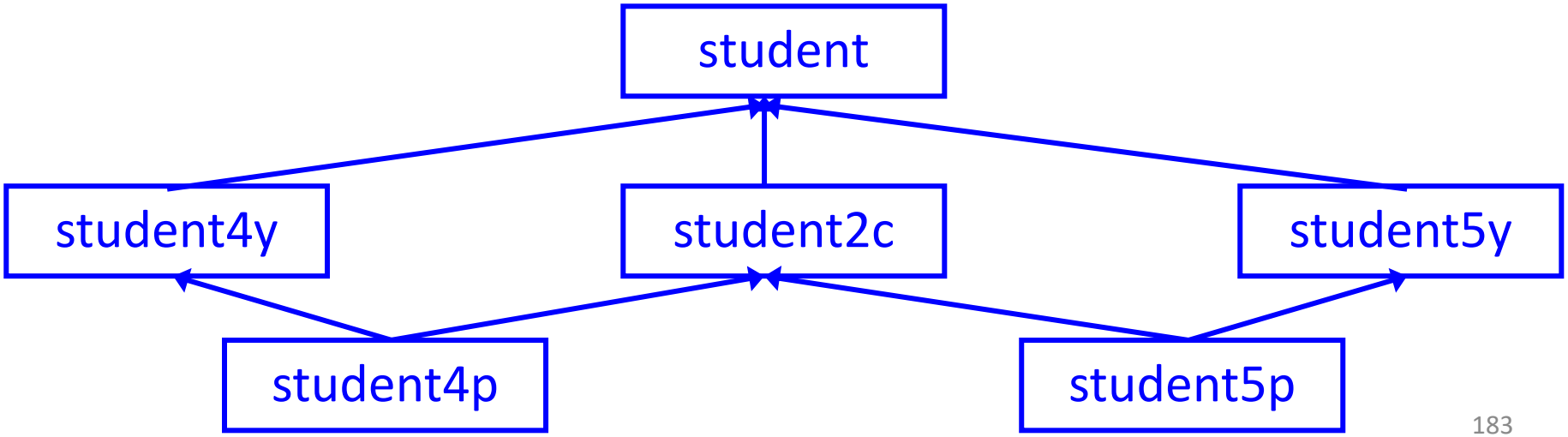
Виртуальное наследование

```
class student {    protected:    char * name;          /* … */ int student_id;          };
class student2c:          public student { protected: char* pract; char* tutor;        };
class student3c:          public student { protected: /* ...  */ public:        /*…*/  };
class student4y:          public student { protected: char* certificate;       /*…*/  };
class student5y:          public student { protected: char* diploma;           /*…*/  };
class student4p:          public student2c,public student4y    { bool test;    /*…*/  };
class student5p:          public student2c,public student5y    { int exam;     /*…*/  };
```



Виртуальное наследование

```
class student {     protected:    char * name;            /* … */ int student_id;          };
class student2c: virtual public student { protected: char* pract; char* tutor;            };
class student3c: virtual public student { protected: /* ...  */ public:          /*…*/   };
class student4y: virtual public student { protected: char* certificate;          /*…*/   };
class student5y: virtual public student { protected: char* diploma;              /*…*/   };
class student4p: virtual public student2c,public student4y     { bool test;      /*…*/   };
class student5p: virtual public student2c,public student5y     { int exam;       /*…*/   };
void g () { student4p * p4 = new student4p; student * ps = p4; } // Нет ошибок
```



Виртуальное наследование

```
class L { protected: int n;
          public: L (int x){ n = x;} // нет конструктора умолчания
};

class A: virtual protected L { public: A (int y) : L (7) {}   };

class B: virtual protected L { public: B (int y) : L (2) {}   };

class C: protected A, protected B { int m;
         public: C (int z) : L (z), A (z), B (z) { i = 3;}
         void print () {std::cout << n << ", " << m << std::endl;}
};

int main()
{  C c (5);
   c.print ();          // 5, 3
   return 0;
}
```

Виртуальное наследование

- При формировании наследственной иерархии с виртуальным наследованием нужно следить, чтобы функции виртуального базового класса вызывались только из самого “нижнего” производного класса
- Для класса *student* правильными будут операторы:

```
student5p n5p (“Иван”, 4.78, 20110217, “Память”,  “Пушкин”, “Транслятор”, 5);
student * n5 = & n5p;                n5 -> print ();
```

- Ответ на вызов функции может быть таким:

```
ФИО              =  Иван Петрович Белкин
Курс             =  2
Средний балл     =  4.78
Номер зачётки    =  20110217
Тема курсовой    =  Распределение памяти при трансляции выражений
Преподаватель    =  Александр Сергеевич Пушкин
Тема диплома     =  Транслятор Си++
Экзамен сдан     =  5
```

Неоднозначность при множественном наследовании

- Вторая проблема неоднозначности при множественном наследовании связана с возможным наличием одинаковых имён в разных базовых классах:

```
class A { public:   int  a;          void (* b) ();   void f ();        void g ();  /* ... */ };
class B {           int  a;          void b ();       void h (char);
          public:   void f (int);    void h ();       void h (int);    int  g;     /* ... */ };
```

- Классы *A* и *B* проблемы не создают, но наследующий им класс *C* выявляет неоднозначность:

```
class C: public A, public B { /* ... */ };
void gg (C * pc) { C c;  c.a = 1;     // ОШИБКА: неясно, A::a или B::a
                         pc -> a = 1;  }   // ОШИБКА: неясно, A::a или B::a
```

- *Неверны рассуждения*: в классе *A* поле *a* – открытое, в классе *B* оно закрыто, значит можно пользоваться открытым полем *A::a*

Неоднозначность при множественном наследовании

- Процесс поиска определяющего вхождения члена класса (поля или метода) начинается в точке использующего вхождения:
  - ***Шаг 1***: контроль однозначности
  - ***Шаг 2***: выбор перегружаемой функции
  - ***Шаг 3***: проверка доступности

Неоднозначность при множественном наследовании

- ***Шаг 1***: контроль однозначности
- Выясняется, определено ли анализируемое имя в одном базовом классе или сразу в нескольких
- Контекст использования имени не привлекается (неважно, что это за имя – в одном классе это может быть имя поля данных, а в другом – имя метода класса)
- Совместное использование имени в одном классе (определение одного имени в разных контекстах в одном из базовых классов) допускается

Неоднозначность при множественном наследовании

- ***Шаг 2***: выбор перегружаемой функции
- Если однозначно определённое имя есть имя перегруженной функции, делается попытка разрешить анализируемый вызов:
  - Ищется функция, способная обслужить данный конкретный вызов имени
  - Такая функция должна быть единственной
- ***Шаг 3***: проведение проверки доступности
- Контроль доступа проводится только, если два первых шага завершились успешно

Неоднозначность при множественном наследовании

- Каждый из последовательно выполняемых шагов может привести к фиксации ошибки:

Однозначность (с точностью до совместного использования) => Единственность перегруженной функции => Доступ

Неоднозначность при множественном наследовании

- Вторая проблема неоднозначности при множественном наследовании связана с возможным наличием одинаковых имён в разных базовых классах:

```
class A { public:   int  a;          void (* b) ();   void f ();        void g ();  /* ... */ };
class B {           int  a;          void b ();       void h (char);
          public:   void f (int);    void h ();       void h (int);    int  g;     /* ... */ };
class C: public A, public B { /* ... */ };
void gg (C * pc)       {
      pc -> a = 1;                                  // ОШИБКА: нет однозначности
      pc -> b ();                                   // ОШИБКА: нет однозначности
      pc -> f ();          pc -> f (1);             // ОШИБКА: нет однозначности
      pc -> g ();          pc -> g = 1;             // ОШИБКА: контекст не привлекается
      pc -> h ('a');                                // ОШИБКА: проверка доступности h(char)
      pc -> h ();          pc -> h (1);    } // нет ошибок: однозначно и доступно
```

Неоднозначность при множественном наследовании

- Вторая проблема неоднозначности при множественном наследовании связана с возможным наличием одинаковых имён в разных базовых классах:

```
class A { public:   int  a;          void (* b) ();   void f ();        void g ();  /* ... */ };
class B {           int  a;          void b ();       void h (char);
          public:   void f (int);    void h ();       void h (int);    int  g;     /* ... */ };
class C: public A, public B { /* ... */ };
void gg (C * pc)        {
        pc -> A::a = 1;
        pc -> A::b ();
        pc -> A::f ();      pc -> B::f (1);
        pc -> A::g ();      pc -> B::g = 1;
        pc -> h ('a');                          // ОШИБКА: проверка доступности h(char)
        pc -> h ();         pc -> h (1);    }  // нет ошибок: однозначно и доступно
```

Чистые виртуальные функции

- При программировании могут возникать ситуации, когда в базовых классах виртуальные функции не могут выполнять никаких реальных действий, становясь “чистыми” виртуальными функциями, например:

```
class shape     { public:    virtual double area ()    { return 0; } };
class rectangle: public  shape { /* ... */ private: double height, width;   /*...*/
                 public:    double area ()    { return height *width; }          };
class circle:    public  shape { /* ...  */ private: double radius;            /*...*/
                 public:    double area ()    { return PI * radius * radius;}    };
```

- Заданные описания позволяют создать массив указателей на базовый (абстрактный) класс и в одном цикле подсчитать сумму площадей разнородных геометрических фигур:

```
shape * p [N];   int i;   double total_area = 0.0;
for (i = 0; i < N; i ++) total_area += p [i] -> area ();
```

Чистые виртуальные функции

- Реально могут существовать только объекты производных классов, именно на них могут указывать элементы массива указателей
- Если будут введены дополнительные плоские фигуры и описаны их классы и методы вычисления площади, то указатели на них также можно внести в общий массив, и без изменения основной программы вычислить общую площадь
- Если тело виртуальной функции (например, функции *area ()*) из базового класса вообще не используется в программе, функция является “чистой” виртуальной функцией
- Для таких функций используется специальный синтаксис:

```
class shape { /* ... */ public: /* ... */ virtual double area () = 0; };
```

Абстрактные классы

- ***Абстрактным*** *называется класс, содержащий хотя бы одну* ***чистую виртуальную*** *функцию*
- *Чистая виртуальная функция – это функция вида:* ***`virtual`*** <тип_результата><имя_функции> (<параметры>) = 0;
- Абстрактный класс может использоваться только как база для построения других классов
- Объекты абстрактного класса создавать нельзя, а указатели на них заводить можно
- Абстрактный класс может содержать неконстантные члены-данные, описания конструкторов и деструкторов
- Класс, производный от абстрактного класса, может остаться абстрактным, если в нём конкретизированы не все чистые виртуальные функции базовых классов, поскольку чистые виртуальные функции наследуются и остаются виртуальными

Тело чистой виртуальной функции

```
class student {
  public: virtual void print () const = 0;
}; // объект ‘student’ создать нельзя!
void student :: print () const
{ cout << “ФИО                 = ”   << name        << endl;
  cout << “Курс                = ”   << year        << endl;
  cout << “Средний балл        = ”   << avb         << endl;
  cout << “Номер зачётки       = ”   << student_id  << endl;
  }
class student2c: public student { /* ... */
  public: virtual void print () const
      { student :: print (); // выдаёт в файл name, year, avb, student_id
        cout << “Тема курсовой   = ”  << pract << endl;
        cout << “Преподаватель   = ”  << tutor << endl; }
}; // объект ‘student2c’ создать можно!
```

Реализация виртуальных функций

- Для реализации аппарата виртуальных методов используется механизм косвенного вызова через специальные связанные с полиморфным типом объекта массивы указателей на функции-члены, такие массивы называются таблицами виртуальных методов (ТВМ)
- Таблица виртуальных методов создаётся в одном экземпляре для каждого класса, в каждый полиморфный объект компилятор неявно помещает указатель *tvm* ptvm* на соответствующую таблицу ТВМ, в которой хранятся адреса виртуальных методов (число ссылок на ТВМ соответствует числу созданных объектов)

Реализация виртуальных функций

- Пусть есть иерархия классов: A, B, C

```
class A { int a;
        public:  virtual void f (int);
                 virtual void g (int);
                 virtual void h (int);
};
class B:  public A { int b;
        public:  void g (int);
};
class C:  public B { int c;
        public:  void h (int);
};
```

```
A_TVM:
    &A::f
    &A::g
    &A::h
```

```
B_TVM:
    &A::f
    &B::g
    &A::h
```

```
C_TVM:
    &A::f
    &B::g
    &C::h
```

Таблица виртуальных функций

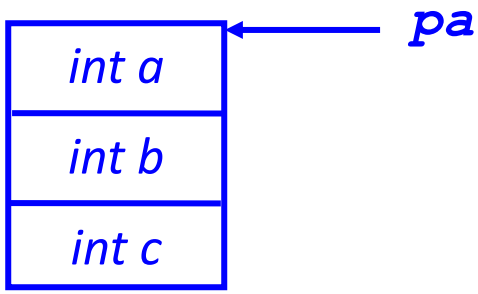
- Пусть есть иерархия классов: A, B, C
- Память для таблиц виртуальных функций автоматически отводится компилятором в статической области
- Ссылки на одноимённые функции в таблицах виртуальных методов всех классов одной наследственной иерархии всегда находятся на одном и том же месте

```
A_TVM:
    &A::f
    &A::g
    &A::h
```

```
B_TVM:
    &A::f
    &B::g
    &A::h
```

```
C_TVM:
    &A::f
    &B::g
    &C::h
```

Реализация виртуальных функций



- Виртуальная функция *g ()* может быть вызвана так:

C x; A * pa = & x; pa -> g (‘a’);

- Активный объект относится к типу *C*, но реализация метода полностью наследуется из класса *B*
- При работе функции *B::g ()* указатель ***this*** имеет доступ ко всем полям класса *B* и к открытым полям класса *A* (***this*** ≡ *pa*):

(* (pa -> c_tvm [index (g)])) (pa, ‘a’);

- Издержки по памяти для каждого полиморфного объекта выливаются в неявное хранение дополнительного указателя

Реализация виртуальных функций

- Сложнее реализовать виртуальные функции при множественном наследовании:

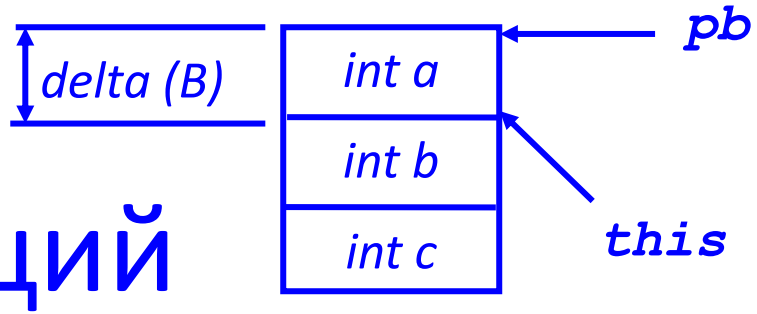
```
class A                                { public: virtual  void f ();  };
class B                                { public: virtual  void f ();
                                                 virtual  void g (); };
class C:  public A, public B { public:           void f ();  }

C x, * pc = & x;

   A * pa = & x;      B * pb = & x;

        pb -> g (1);
```

Реализация виртуальных функций



- Активный объект относится к типу *C*, но реализация метода полностью наследуется из класса *B*
- При работе функции *g ()* указатель ***this*** имеет доступ только к той части активного объекта *x* типа *C*, которая унаследована от класса *B* (но не от *A*):

this

```
(* (pb -> c_tvm [index (g)])) ((B *) ((void *) (pb) + delta (B)), 1);
```

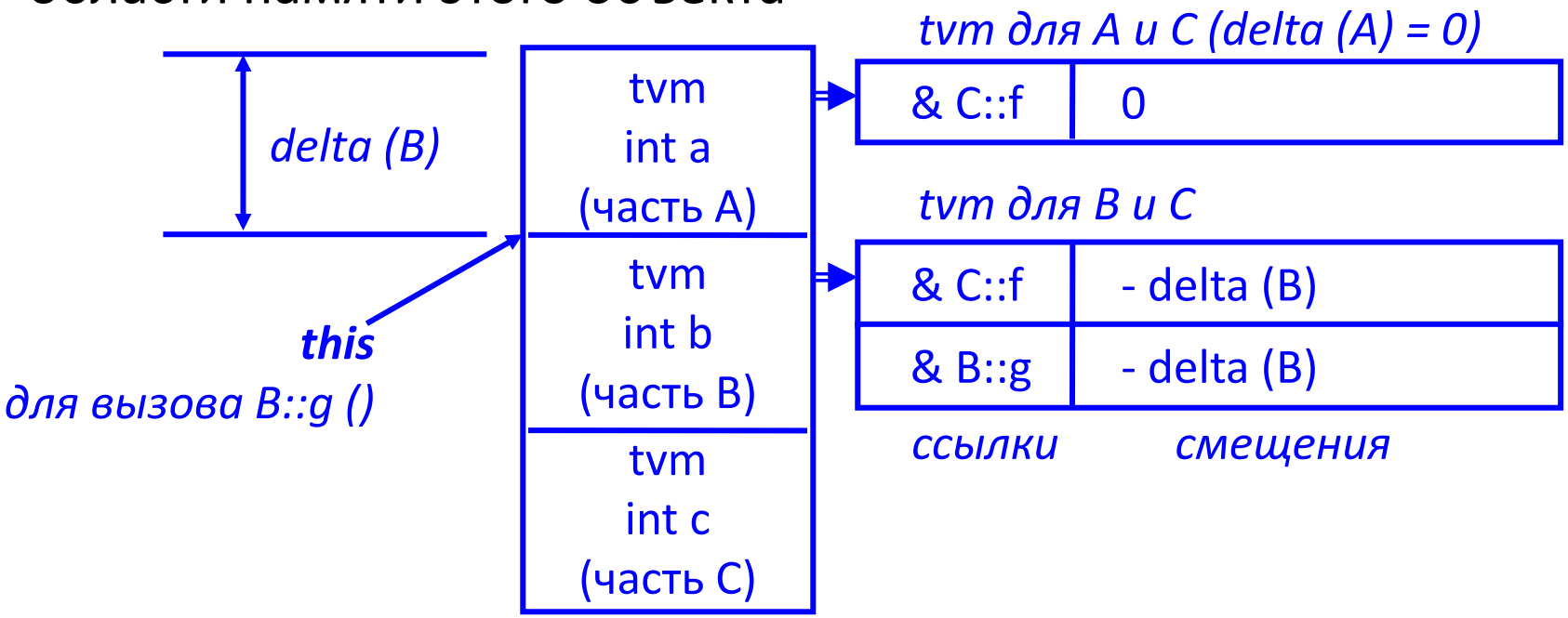
- Смещение *delta (B)* определяет место в объекте типа *C*, начиная с которого размещаются поля, унаследованные от класса *B*

Реализация виртуальных функций

- В таблице виртуальных методов класса *A* размещается одна запись, так как в этом классе имеется только одна виртуальная функция *f ()*
- В таблице виртуальных методов класса *B* размещаются две записи: в этом классе определены сразу две виртуальные функции – *f ()* и *g ()*
- В классе *C* имеются две функции
  - функция *g ()* унаследована от класса *B*
  - функция *f ()* есть переопределение виртуальных функций *f ()*, имеющихся в базовых классах *A* и *B*

Таблица виртуальных функций

- При множественном наследовании в строке таблицы виртуальных методов находятся сразу два значения: адрес тела функции и смещение начала доступной части данных объекта в области памяти этого объекта



- Строка таблицы имеет структуру:

```
struct tvm_entry { void * (* fct) (); int delta; };
```

Реализация виртуальных функций

- Значения смещений известны во время компиляции, они вычисляются непосредственно компилятором
- Во время компиляции неизвестно, какое именно из заранее рассчитанных смещений надо использовать (указатель *pb* ссылается на часть объекта *C*, унаследованную от класса *B)*
- Во время исполнения вызовов *pa -> f ()* или *pb -> f ()* формируется доступ к нужной функции *f ()*, например:

```
tvm_entry * vt = & pb -> tvm [index (f)];
(* vt -> fct) ((B *) ((void*) (pb) + vt -> delta));
```

Пространства именования

- Программные элементы (классы, объекты, функции), относящиеся к обработке связанной информации можно объединять в единое пространство имён:

```
namespace Student {  class student                        { ... };
                     class student1c: public student      { ... };
                     class student2c: public student      { ... };
                     class student3c: public student      { ... };
                     class student4c: public student      { ... };
                     class student5c: public student      { ... };
}

Student :: student2c :: print () { ... }
```

Пространства именования

- Объявления функций можно объединять в пространствах имён, создавая описания интерфейсов:

```
namespace Trigon
{  double acos   (double x);
   double asin   (double x);
   double atan   (double x);
   double atan2 (double y, double x);
   double cos    (double x);
   double sin    (double x);
   double tan    (double x);
}
```

Пространства именования

- Отдельно даются определения функций, описывающие реализацию функций:

```
double Trigon :: acos   (double x) { ... }
double Trigon :: asin   (double x) { ... }
double Trigon :: atan   (double x) { ... }
double Trigon :: atan2 (double y, double x) { ... }
double Trigon :: cos    (double x) { ... }
double Trigon :: sin    (double x) { ... }
double Trigon :: tan    (double x) { ... }
```

Пространства именования

- Новый член пространства имён нельзя объявить вне определения этого пространства имён:

```
double Trigon :: ctg  (double x);      // ОШИБКА!
```

- Такой подход позволяет обнаруживать ошибки на стадии компиляции программы:

```
double Trigon :: cas  (double x);      // ОШИБКА! Нет функции
double Trigon :: sin  (float x);       // ОШИБКА! Неверный тип
```

Пространства именования

- Пространства имён есть область видимости
- Обычные локальные и глобальные области видимости, а также классы являются пространствами имён
- Все имена могут относиться к некоторому пространству имён, единственное исключение – функция *main ()*
- *Пространства имён могут вкладываться друг в друга*

Пространства именования

- Имена из других пространств именования следует дополнительно специфицировать именами этих пространств:

```
double Trigon :: tan (double x)
{   double c = cos (x);
    if (c) return sin (x) / c;
    return Error :: error;
}
```

- Объявление используемого пространства именования:

```
double Trigon :: tan (double x)
{   using Error :: error;
    double c = cos (x);
    if (c) return sin (x) / c;
    return error;
}
```

Пространства именования

- Объявления об использовании некоторых элементов из других пространств именования вводят локальные синонимы для имён этих элементов, их можно сосредоточить непосредственно в определении собственного пространства имён:

```
namespace Trigon
{  double acos  (double x);   /* ... */
   double tan   (double x);
   using Error::error;
}
```

Пространства именования

- Одно пространство имён можно сделать полностью доступным из другого:

```
namespace Trigon
{  double acos  (double x);   /* ... */
   double tan   (double x);
   using namespace Error; // таких директив может быть много
}
```

- Директива ***using*** выполняет композицию пространств имён
- Одинаковые имена в разных пространствах именования снабжаются спецификаторами и не приводят к конфликтам

Пространства именования

- В каждой единице трансляции может быть одно неименованное пространство именования, в разных единицах трансляции неименованные пространства считаются разными:

```
namespace { double my_cos (double x);    /* ... */   }
```

- Имена, введённые в неименованных пространствах, доступны в объемлющих их областях видимости:

```
namespace Уникальное_имя { double my_cos (double x); ... }
using namespace Уникальное_имя;
```

- Глобальные объекты могут стать доступными из вложенных пространств именования при помощи спецификатора без имени:

```
:: p ++; // обращение к глобальной переменной p
```

Пространства именования

- Псевдонимы пространств именования:

```
namespace MSU = Moscow_State_University;
/* ... */
MSU :: double count_avb (const & student);
```

- Пространства имён открыты: в любом месте программы можно продолжить определение ранее определённого пространства именования:

```
namespace Student { ... }
#include <list>
namespace Student { ... }
```

Пространства именования

- Пространства именования не создают границ, препятствующих работе механизма перегрузки функций:

```
namespace A { void f (int);      /* ... */ }
namespace B { void f (char);     /* ... */ }
namespace C {
        using namespace A;
        using namespace B;
        void g ()
        {   f ('a');             // вызовется f (char)
            /* ... */
        }
}
```

Пространства именования

- Пространство *std* используется для группирования функций стандартной библиотеки:

```
printf (“Привет\n”);        // ОШИБКА, нет глобальной printf ()
std::printf (“Привет\n”);   // правильно
```

- Средства стандартной библиотеки доступны через стандартные заголовочные файлы, например, функция *printf ()* доступна после выполнения вставки:

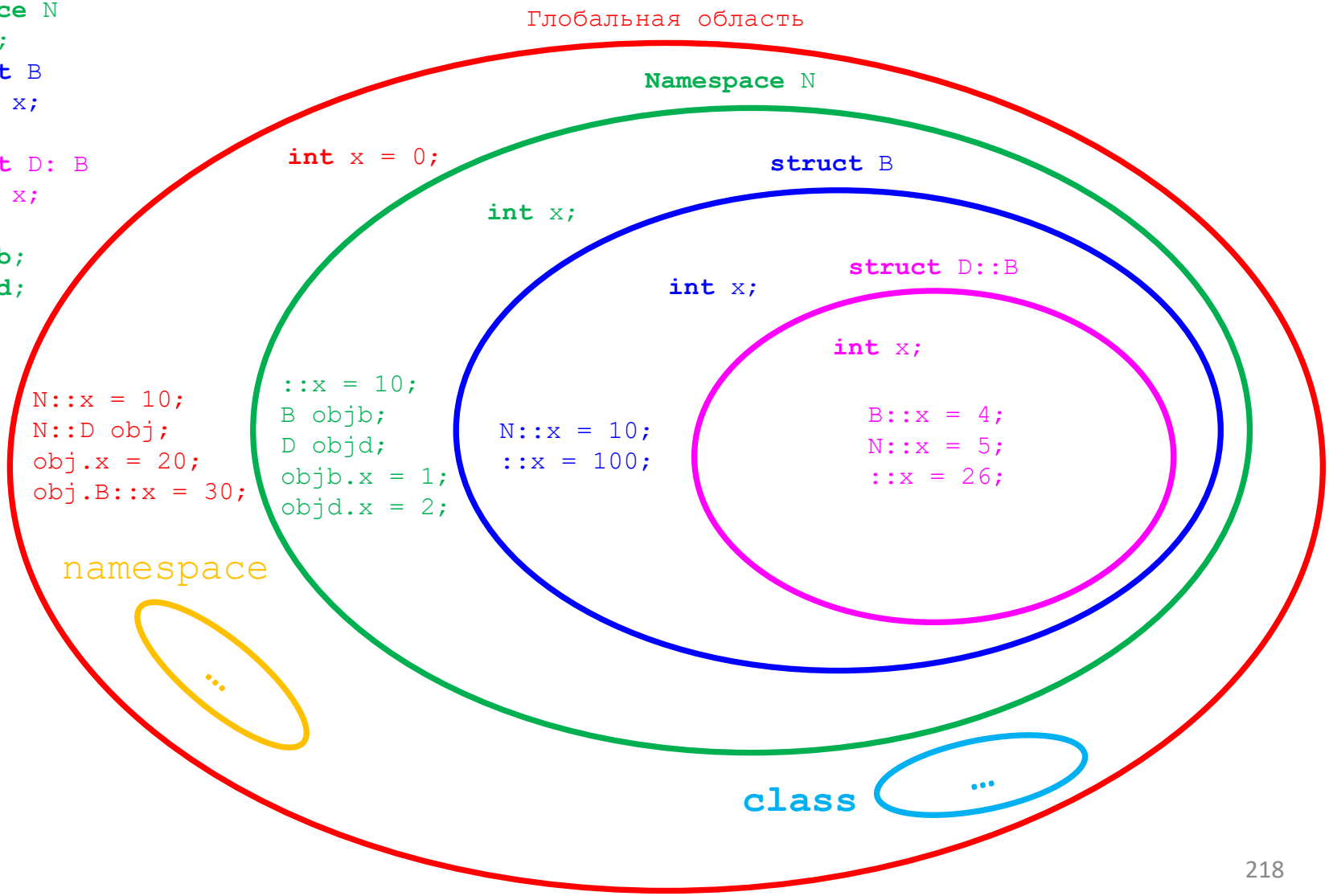
```
#include <cstdio>
```

- Для работы с именами библиотечных функций, рекомендуется использовать директиву

```
using namespace std;
```

Области видимости

```
int x = 0;
namespace N
{ int x;
  struct B
  { int x;
  };
  struct D: B
  { int x;
  };
  B objb;
  D objd;
}
```



Ошибки в программных продуктах

- Ошибки, обнаруживаемые компиляторами (или другими компонентами системы программирования)
  - Ошибки в записи лексем (*55Ident*)
  - Нарушение баланса скобок в арифметических выражениях
  - Использование в операторах операндов с неподходящими типами
  - Бесконечная рекурсия
  - Использование одной функции там, где следует вызывать другую
- Ошибки, обнаруживаемые при исполнении программ
  - Ошибки в программах, не обнаруживаемые компонентами систем программирования
  - Ошибки в данных, поступающих в программу
  - Ошибки и сбои в работе аппаратного обеспечения

Типовы́е реакции на ошибки во время исполнения программы

- Прекращение выполнения программы (например, вызовом системной функции *exit ()*)
- Возврат в вызвавшую функцию значения “*ошибка*” и/или установка специального признака (например, ненулевого значения глобальной переменной *errno*)
- Возврат в вызвавшую функцию какого-либо допустимого значения и продолжение работы
- Вызов специальной функции для обработки ошибочной ситуации, которая реализует те же три первых вида реакции на ошибку
- Выдача диагностических сообщений, затем – продолжение по одному из ранее упомянутых решений

Исключительные ситуации в языке Си++

- Функция, обнаружившая проблему, генерирует исключительную ситуацию («*исключение*»), чтобы передать решение проблемы той функции, которая её вызвала (непосредственно или опосредованно)
- Функция, которая готова решать данные проблемы, заранее указывает, что будет перехватывать такие исключения

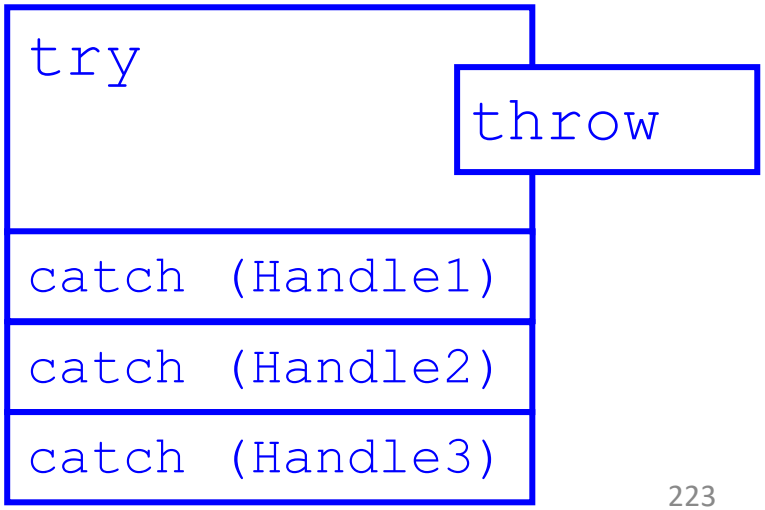
Исключительные ситуации в языке Си++

- Фиксация ошибочной ситуации отделена от обработки
- Этапы управления исключительными ситуациями:
  1. Выделение блока программы, в котором возможно возникновение исключительной ситуации и для которого организован перехват этой ситуации
  2. Фиксация исключительной ситуации и передача управления обработчику
  3. Обработка исключительной ситуации обработчиком

Исключительные ситуации в языке Си++

- *try*-блок – блок, в котором возможно возникновение исключительной ситуации
- *catch*-блок – блок обработки исключения
- *throw* – операция возбуждения исключения

```
void f ()
{ /* ... */
  try
     { /* ... */ throw Exception ();
     }
  catch (Handle) { /* ... */ }
}
```



Переопределение операции индексации в классе срок

```
char & string::operator [] (int i)  // С остановкой работы
{  if (i < 0 || i >= size) { cerr << "ошибка:" << i << endl; exit (1); }
   return p [i];
}
char & string::operator [] (int i)  // С возбуждением исключения
{  if (i < 0)       throw "string: задан отрицательный индекс";
   if (i >= size)  throw i;           // слишком большой индекс
   return p [i];
}
void g (int i) { /*...*/  try { string a (i), b (7); b [i] = a [i – 1]; /*...*/ }
                          catch (int n) { /* ... */ }
                          catch (const char * diagn) { /* ... */ } }
```

Исключительные ситуации в языке Си++

- Некоторый обработчик ***`catch`*** *(Handle)* будет вызван:
  1. Если тип *Handle* имеет тот же тип, что и *Exception*
  2. Если тип *Handle* является однозначным доступным базовым типом для типа *Exception*
  3. Если *Handle* и *Exception* являются указателями, и условия *1)* или *2)* выполняются для типов, на которые они ссылаются
  4. Если *Handle* является ссылкой, и условия *1)* или *2)* выполняются для типа, на который ссылается *Handle*
- Любой указатель совместим со свободным указателем: перехватчик ***`catch(void*)`*** пригоден для обработки любого указателя, не перехваченного предыдущими перехватчиками

Действия при возбуждении исключения

```
class X { /* ... */ public:   X (char, double);     X (const X&);
                              ~X ();                              /* ... */  };
void f (double y)  { /* ... */   X z ('+', y);      throw z;      /* ... */  }
main ()            { /* ... */   try { /* ... */    f (1.2);      /* ... */  }
                                  catch (X) {                     /* ... */  }
    /* ... */      }
```

- ***Шаг 1.*** При выходе из функции *f ()* из-за возбуждения исключительной ситуации, создаётся временный объект (копия объекта *z*), с которым работает обработчик
- Копия существует всё время до тех пор, пока исключение не будет обработано (произойдёт выход из ***`catch`***-блока)

Действия при возбуждении исключения

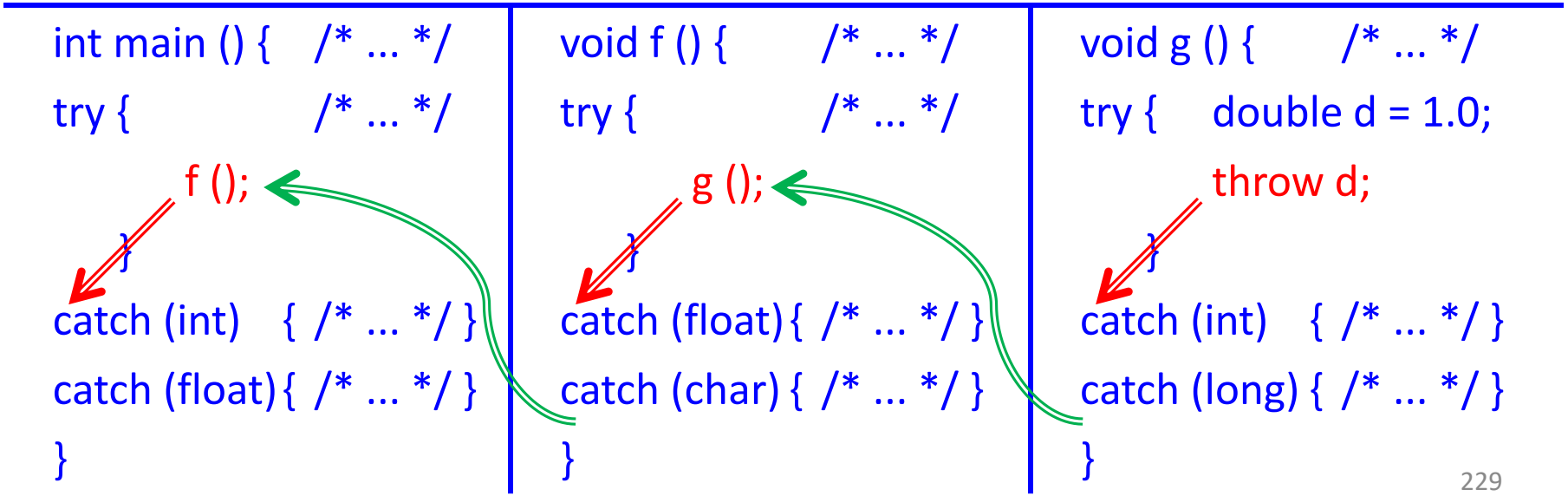
- ***Шаг 2.*** Выполняется “свёртка стека”: для объектов ***try***-блока это эквивалентно выходу из блока с помощью оператора ***goto***
- Конструктор копирования для типа *X* и все необходимые деструкторы должны быть доступны в точке возбуждения исключения
- Внутри обработчика исключения само это исключение можно возбудить повторно: внутри обработчика (либо внутри функции, вызываемой из обработчика) можно вставить операцию ***throw*** без операнда

Действия при возбуждении исключения

- ***Шаг 3.*** При возбуждении исключения (выполнении операции `throw` с операндом-исключением) в списке обработчиков объемлющего блока ищется нужный обработчик (*статическая ловушка*)
- Если подходящий перехватчик найден, выполняется его составной оператор (тело перехватчика), затем управление передаётся оператору, расположенному следом за последним перехватчиком той группы перехватчиков, в которую входит сработавший перехватчик

Действия при возбуждении исключения

- ***Шаг 4.*** Если нет подходящего перехватчика, осуществляется выход в объемлющий блок
- Далее выполняется свёртка стека с чередованием *статических и динамических ловушек*



Действия при возбуждении исключения

- При перехвате исключений обработчиком *ссылочного типа* дополнительных копий перехваченных объектов-исключений не создаётся
- Перехваченный объект уничтожается при выходе из обработчика

```
try { /*...*/} catch (A&) { /*...*/}    /* Перехватчик ссылочного типа */
```

- При перехвате исключений обработчиком *нессылочного типа* создаётся дополнительная копия перехваченного объекта-исключения, которая может использоваться внутри обработчика и уничтожается при выходе из обработчика перед уничтожением перехваченного объекта

```
try { /*...*/} catch (A) { /*...*/}      /* Перехватчик нессылочного типа */
```

- Операция throw уничтожает все копии исходного объекта-исключения
- Операция throw без операнда выбрасывает в объемлющий блок исключение в его исходном виде (первую копию)
- Операция throw с операндом-исключением выбрасывает в объемлющий блок новое исключение, создавая его копию

Действия при возбуждении исключения

- ***Шаг 5.*** Если ни один обработчик вплоть до функции *main ()* не перехватил возбуждённое исключение, работа программы прекращается: вызывается функция завершения работы *terminate ()*
- Работа функции *terminate ()* по умолчанию состоит в вызове системной функции остановки *abort ()*, но её можно подменить, обратившись заранее с нужным параметром к функции *set_terminate ()*:

```
typedef void (* pf) ();
pf set_terminate (pf);  // возвращается предыдущая функция
```

Вызов функции terminate ()

- Функция *terminate ()* вызывается:

1. Если в программе нет подходящего обработчика возбуждённого исключения
2. Если делается попытка повторно возбудить исключение (выполняется операция **`throw`** без операнда), а активного исключения нет (то есть перевозбуждение происходит не в перехватчике и не в вызванной из него функции)
3. Если деструктор, вызванный в процессе свёртки стека, сам пытается завершить свою работу, возбуждая исключительную ситуацию
4. Если система не в состоянии справиться со свёрткой стека (стек разрушен)

Исключительные ситуации

- В программе можно организовать перехват вообще всех исключительных ситуаций, которые могут в ней возникнуть, использование синтаксической конструкции “эллипс” (*catch (...)*) означает присутствие любого аргумента:

```
void f (){ /*...*/ try { /*...*/}    // Основная работа f ()
                   catch (...)       // Перехват “всех остальных ситуаций”
                       { /*...*/}    // Обработка исключений, в том числе
                       { /*...*/}  } // возможно использование throw;
```

- С ***try***-блоком можно связать несколько блоков обработчиков исключений
- При поиске подходящего обработчика они просматриваются в том текстуальном порядке, в котором записаны в программе
- Перехват производных типов должен предшествовать перехвату базового
- Перехват “всех остальных исключений” с помощью эллиптической конструкции *catch (...)* должен всегда находиться в списке обработчиков последним

Исключительные ситуации

- В обработчике исключения в качестве параметра перехвата можно указывать не только тип, но и имя формального параметра исключения, имеющего перехватываемый тип (это приведёт к повторному копированию объекта-исключения с возможным преобразованием типа от производного к базовому):

```
char  lex () { char c; /*...*/ if (c < 21) { /*…*/ throw c;} /*…*/ return c; }
try   { char m = lex (); /* ... */ }
catch (char c)      { cout << “неверный символ ” << c << endl; }
```

или

```
catch (char &c)    { cout << “ссылка на плохой символ ” << c << endl; }
```

- К типу, используемому для перехвата исключения, можно добавить спецификатор ***const***, запрещая модификацию параметра в перехватчике
- Указание в заголовке обработчика ссылочного типа блокирует повторное копирование. В этом случае возможно изменение (c += ‘0’) значения исходного объекта-исключения, точнее его первой копии, которое может быть заметно при выполнении операции ***throw*** без операнда

Исключительные ситуации

- Ошибки разных типов можно разделить между исключениями с различными именами, передавая их обработку разным обработчикам:

```
struct Except { int i;     Except (int k) { i = k; }}; /* ... */
try   { /* ... */ throw     Except (67); }
catch (const Except Err) // Обработка исключительной ситуации
        {  cerr << "Exception (" << Err.i << ")\n"; }
```

- Исключительная ситуация считается обработанной в самый начальный момент входа в обработчик
- Любые исключения, возникшие во время выполнения обработчика, обрабатываются обработчиками объемлющих блоков, циклов обработки не возникает:

```
class Overflow {          /*  ...  */ };
void f () {      try {        /*  ...  */          /* ... */ throw Overflow (); }
                 catch (Overflow) {          /* ... */ throw Overflow (); }
                  // Обработка исключения вне функции f ()
}
```

Список исключений

- Можно заранее предусмотреть, какие исключительные ситуации в ней могут возбуждаться в определяемой функции, и указать их в заголовке функции (пустой список означает запрет возбуждения любых исключений):

```
class Overflow { /*  ...  */ };
void f () throw (ex1, ex2)
{   try {     /* ... */       /* … */ throw Overflow (); }  // Конструктор объекта
    catch (Overflow) {  /* ... */ throw Overflow (); }  // Обработка исключения
}
```

- Попытка передать из функции *f ()* необработанное внутри какое-либо исключение, кроме *ex1* или *ex2*, приведёт к вызову стандартной функции *std::unexpected ()*, что по умолчанию означает остановку программы
- Функцию *unexpected ()* из стандартного пространства имён можно переопределить, обратившись к функции *set_unexpected ()*:

```
typedef void (* pf) ();
pf set_unexpected (pf); // возвращается предыдущая функция
```

Список исключений

- Если список типов исключений, указанный в заголовке функции пуст, то функция не имеет право возбуждать какие-либо исключения ни прямо, ни косвенно, это будет проверяться компилятором
- Если такой список не указан, разрешено возбуждать любые исключения
- Эквивалентны следующие два фрагмента:

```
void f () throw (ex1, ex2)
{   /* ... */
    // операторы функции f ()
     /* ... */
}
```

```
void f ()
{   try {  /* ... */
    // те же операторы функции f ()
            /* ... */    }
    catch (ex1)  { throw; }
    catch (ex2)  { throw; }
    catch (...)     { std::unexpected (); }
}
```

Список исключений

- Наличие спецификатора исключений в заголовке функций приводит к ограничениям в использовании указателей на такие функции, указатель на функцию с более ограниченным списком исключений можно присвоить указателю на функцию с менее ограниченным списком, но не наоборот:

```
void f () throw (X);
void (* pf1) () throw (X, Y) = & f;     // правильно
void (* pf2) () throw () = & f;         // ОШИБКА
```

- Нельзя присваивать указатель на функцию без спецификации исключений указателю на функцию, который её имеет:

```
void g ();                              // может возбудить любое исключение
void (* pf3) () throw (X) = & g;        // ОШИБКА
```

- Спецификация исключений не является частью типа функции, поэтому в операторе назначения синонима типа её употреблять нельзя:

```
typedef void (* pf4) () throw (X);      // ОШИБКА
```

Запрет исключений

- Наряду со спецификатором исключений в заголовок функций можно включать спецификатор запрета исключений:

```
void f () noexcept;
```

- Нельзя присваивать указатель на функцию с разрешением исключений указателю на функцию, который его не имеет:

```
void g ();                          // может возбудить любое исключение
void (* pf3) noexcept = & g;        // ОШИБКА
```

- Спецификация исключений считается не возбуждающей исключений, если она имеет вид ***throw()*** или ***noexcept***.

Стандартные исключения

- В языке Си++ имеются стандартные исключительные ситуации, генерируемые при выполнении тех или иных операций:

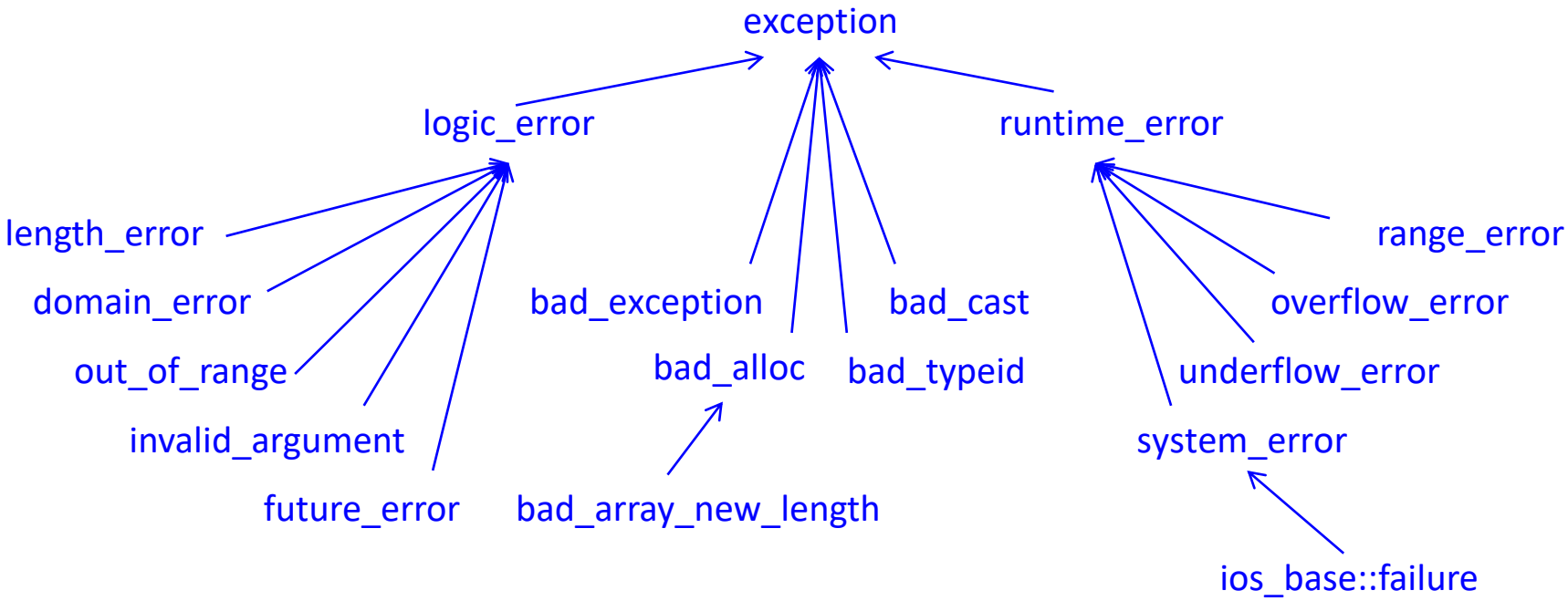
Имя	Генерирующая операция	Заголовочный файл
`bad_alloc`	***new***	`<new>`
`bad_cast`	***dynamic_cast***	`<typeinfo>`
`bad_typeid`	***typeid***	`<typeinfo>`
`out_of_range`	`at (); bitset<>::operator []()`	`<stdexcept>`
`bad_exception`	спецификация исключения	`<exception>`
`invalid_argument`	конструктор bitset	`<stdexcept>`
`overflow_error`	`bitset<>::to_ulong ()`	`<stdexcept>`
`ins_base::failure`	`ins_base::clear ()`	`<ios>`

Стандартные исключения

- Стандартные исключения объединены в иерархию классов, базой которой является абстрактный библиотечный класс *exception*, описанный в заголовочном файле <exception>

```
class exception {          // base of all library exceptions
public:   exception () throw ();
          exception (const exception &) throw ();
          exception & operator=(const exception &) throw ();
          virtual ~exception () throw ();
          virtual const char * what () const throw ();
          /* ... */
};
```

Иерархия стандартных исключений



- Примечание. Исключение *bad_alloc* возбуждается, если орерация ***new*** не может выделить динамическую память
- Если использовать при обращении к операции ***new*** параметр ***nothrow***

new (nothrow) Type;

при невозможности выделения памяти возвращается *0* (*NULL*)

Стандартные исключения

Пример использования

```
void f () {  try { /* ... */  // использование стандартной библиотеки
             }
             catch (exception & e) {
                    cout << “Стандартное исключение” << e.what() << ‘\n’;
             }
             catch (...) {
                    cout << “Другое исключение” << ‘\n’;
             }
}
```

- Иерархию классов стандартной библиотеки можно брать за основу для своих исключений

Операция throw

- Ключевое слово ***throw*** обозначает не оператор, а операцию
- Различие этих двух понятий видно на примере:

```
try   {  throw 1, 2; }
catch (const int i)
        {  cout << “Exception (” << i << “)\n”; }
```

Динамическое преобразование

- Бинарная операция языка динамического преобразования типа возвращает правильный указатель (или ссылку) в случае правильного предположения о типе объекта:

dynamic_cast *<T *> (p)* ***dynamic_cast*** *<T &> (r)*

- Операция имеет смысл только при работе с виртуальными функциями и указателями на объекты:

```
class student                          { /* ... */ }; // полиморфный класс
class student2c : public student { /* ... */ }; // производный класс
int main ()
{   student s, * ps;    student2c ds, * pds;
    pds  = & ds;  // derived * = derived *
    ps    =  pds;  // base      * = derived *
    pds =   ps;   // опасно, но возможно после предыдущего присваивания
}
```

Динамическое преобразование

- Обычно динамическое преобразование типа указателя проводится непосредственно в условном операторе:

```
void f (student * ps) { // ps указывает на некоторый класс
      student2c * pds;
      if ((pds = dynamic_cast<student2c*> (ps)) != 0)
            { pds -> print ();
            }
      else
            { // реакция на получение объекта другого типа
            }
}
```

Динамическое преобразование

- Результат операции динамического приведения типа указателя ***dynamic_cast*** *<T*> (p)* эквивалентен приведению типа указателя *p* к типу указателя *T**
- Динамическое приведение типа не допускает нарушений правил доступа к закрытым и защищённым базовым классам
- Операция возвращает *нулевое значение*, если обнаруживается:
  1. Передача в качестве исходного значения преобразования нулевого операнда (*p == 0*)
  2. Неоднозначность при поиске базового класса типа *T*

Динамическое преобразование

- Параметр операции должен быть ссылкой или указателем на полиморфный тип
- Результирующий тип не обязан быть полиморфным (исходный объект при этом всё равно должен быть полиморфным):

```
student   * ps;    student2c * pd;    int * pi;
void * pv1 = dynamic_cast<void *> (ps);   // правильно
void * pv2 = dynamic_cast<void *> (pd);   // правильно
void * pv3 = dynamic_cast<void *> (pi);   // ОШИБКА
```

Статическое преобразование

- Статическое приведение типа не анализирует объект, который оно приводит
- Статическое приведение типа формирует новый указатель нужного типа:

```
student2c * g (void * p) {
    student * ps = static_cast<student*> (p);
                // ps указывает на неизвестный класс
    return dynamic_cast<student2c*> (ps);
                // результат не может быть предсказан
}
```

Статическое преобразование

- Ограничения, наложенные на возможности статического приведения типов, позволяют проводить такое преобразование только для:

(1) родственных типов из одной иерархии классов (проверка родства классов отсутствует лишь при преобразовании указателя из типа ***void****)

(2) арифметических типов (даже не очень близких), например,

float => ***int***, ***int*** => ***enum***

Преобразование типов ссылок

- Динамическое приведение *ссылок* имеет особенности, отличающие его от приведения *указателей*
- Приведение указателя к новому типу может привести к получению нулевого значения, означающего, что полученный указатель не указывает ни на какой объект
- Динамическое приведение указателя *p* к новому типу *T* ***dynamic_cast<T*> (p)*** отвечает на вопрос: “*Может ли указатель p указывать на объекты типа T?*”
- Ссылка всегда связана с некоторым объектом, нулевых ссылок в программах быть не может
- Для ссылки *r* операция динамического приведения типа ***dynamic_cast<T&> (r)*** является утверждением: “*Ссылка r может быть связана с объектом типа T!*”

Фундаментальные отличия между указателями и ссылками

- Если операция динамического приведения ссылки не принадлежит ожидаемому типу, возбуждается стандартная исключительная ситуация *bad_cast*:

```
void f (student * p, student & r)
   {  student2c *pp;      student2c & pr;
      if (pp = dynamic_cast<student2c*> (p))
            {  /* использование указателя pp */ }
      else  {  /* указатель pp не имеет нужного типа */ }
      pr = dynamic_cast<student2c&> (r);
            /* использование ссылки pr */
   }
```

Фундаментальные отличия между указателями и ссылками

- Для защиты от неудачных приведений к ссылке необходимо организовывать перехват стандартного исключения:

```
void g ()
   {  try {  f (new student2c, * new student2c);
                        // нормальный вызов с нужным типом
             f (new student5c, * new student5c);
                        // неверный тип, выход в перехватчик
          }
      catch (bad_cast) { /* обработка исключения */ }
   }
```

Операция определения типа

- Унарная операция ***`typeid`***, имеющая смысл для указателей и ссылок на объекты полиморфных типов, позволяет точно определить тип исследуемого объекта
- Если операнд нужного типа имеет значение 0, операция возбуждает исключительную ситуацию *bad_typeid*
- Результатом операции является ссылка на класс стандартной библиотеки по имени *type_info*
- Библиотечными средствами гарантируется, что в этом классе обязательно определены операции сравнения на равенство и на неравенство, а также метод, выдающий указатель на строку, содержащую символьное представление имени типа объекта (зависящее от реализации)

Операция определения типа

- Предполагается, что операция ***typeid*** должна использоваться примерно в таком контексте:

```
class type_info          // это определение есть часть библиотеки!
    { /* ... */    public: bool operator== (const type_info &) const;
                   public: bool operator!=  (const type_info &) const;
                   const char * name () const; // выдаёт имя типа
    };
…
#include  <typeinfo>  // это фрагмент программы пользователя
if (typeid (* pb) == typeid (D))
    {  /* … */
       pd = dynamic_cast<D*> (pb); // на 0 можно не проверять
       cout << typeid (* pb).name () << “, ” << typeid (* pd).name ();
       // Будет напечатано, например:
       //                                class student, class student2c
    } // Показанные преобразования лучше, чем pd = (D*) pb
```

Виды преобразования типов

- Кроме динамического и статического преобразований типов, имеются ещё два вида преобразования:
  - небезопасная операция ***const_cast*** отменяет константность или произвольную изменяемость объекта:

```
const int * q = /* ... */; int * p = const_cast<int *> (q);
```

  - ещё более опасная операция ***reinterpret_cast*** присваивает указателю значение, относящееся к другой иерархии наследования, то есть может преобразовывать несвязанные указатели (или числа в указатели):

```
int t = 0xf0;
p = (int *) t;                          // так пишут на языке Си
p = reinterpret_cast<int *> (t);  // так пишут на языке Си++
```

Виды преобразования типов

- Все преобразования типов, унаследованные от языка Си, могут в Си++ выражаться с помощью некоторых комбинаций операций ***`static_cast`***, ***`const_cast`*** и ***`reinterpret_cast`***
- Этот стиль преобразований более точно указывает различия между исходным и результирующим типами
- В преобразовании вида *(T) expr* невозможно предсказать, какое именно преобразование выполняется, поэтому от него следует отказываться, выбирая одно из преобразований, характерных для Си++
- Наиболее безопасным является преобразование полиморфных типов ***`dynamic_cast`*** с динамической проверкой во время выполнения программы

Обобщённое программирование

- Концепция обобщённого программирования подразумевает использование типов в качестве параметров определений классов и функций
- Механизм шаблонов позволяет описывать произвольные обобщения множества алгоритмов
- Шаблон класса определяет данные и операции потенциально неограниченного множества родственных классов, а шаблон функции определяет неограниченное множество родственных функций
- Особенно полезно использование шаблонов при проектировании и реализации стандартной библиотеки

Обобщённое программирование

- ***Инстанцирование*** – это процесс формирования описания класса или функции по шаблону и его фактическим параметрам
- Получаемое для конкретного значения фактических параметров шаблона описание типа называется ***специализацией шаблона***
- Сформированные классы или функции становятся самыми обычными классами и функциями, которые подчиняются всем правилам языка для классов и функций

Обобщённое программирование

- Шаблон может иметь несколько параметров (не менее одного),
- Стандарт языка Си++ допускает параметры шаблонов:
  - ти́повые (***typename***, ***class***)
  - параметры, которые сами являются шаблонами
  - интегральные типы: знаковые и беззнаковые целые типы, ***bool***, ***char***, ***wchar_t***
  - перечислимые типы (не относятся к интегральным, но их значения приводятся к интегральным в результате целочисленного расширения)
  - указатели на объекты, функции или на члены классов
  - ссылки на объекты или функции

Обобщённое программирование

- Параметр шаблона не может иметь тип ***void***, не может быть объектом пользовательского типа или иметь плавающий тип:

```
template <double* d>  class X;   // ОК
template <double& d> class X;   // ОК
template <double  d>   class X;   // ОШИБКА
```

- Фактические параметры, соответствующие формальным параметрам интегральных и перечислимых типов, должны быть константами
- В теле шаблона все параметры, не являющиеся типами рассматриваются как константы
- Параметры шаблонов могут использоваться также и для определения следующих параметров этих же шаблонов:

```
template <class T, T par2_name> class C { /* … */ }
```

Шаблоны функций

- Шаблон функции объявляется следующим образом:

template <*список_формальных_параметров_шаблона*>
возвращаемый_тип
имя_функции (*список_формальных_параметров_функции*)
{ /*...*/ }

- Примером может служить шаблон функции вычисления степени целого числа, имеющий в качестве параметра значение целого типа:

```
template<int n> inline int power (int m)
    { int k = 1;
      for (int i = 0; i < n; ++ i) k *= m;
      return k;
    }
```

Шаблоны функций

- При обращении к функции-шаблону после имени функции в угловых скобках указываются фактические параметры шаблона – имена реальных типов или значения объектов, и лишь затем обычные фактические параметры функции:

имя_функции<*список_фактических_параметров_шаблона*>
(*список_фактических_параметров_функции*)

- Пример обращения к функции-шаблону с параметром:

```
int main() { int m = 4; cout << power<3> (m) << endl; }
```

Шаблоны функций

- Имея обычную функцию, можно определить для неё шаблон, который позволит использовать данные различных типов:

```
int max (int x, int y) { return x > y ? x : y; }
template<class T> T max (T x, T y) { return x > y ? x : y; }
```

- При вызове функции автоматически определяется, какая версия шаблона будет использована, то есть фактические параметры шаблона выводятся из фактических параметров функции
- При вызове `void f () { /*…*/ max (1, 2); /*…*/ }` // *T ≡ int* формируется вариант функции *int max (int, int)*
- При вызове `void f () { /*…*/ max ('a', 'a'); /*…*/ }` // *T ≡ char* формируется второй вариант функции *char max (char, char)*

Шаблоны функций

- Параметры могут иметь разные типы:

```
void f () { /* ... */   max ('a', 100);   /* ... */ }
void f () { /* ... */   max (2.5, 1);     /* ... */ }
```

1. Перед одним из параметров можно употреблять операцию приведения типа, которая сделает возможным использование нужного шаблона и формирование нужного варианта функции, то есть *double max (double, double)*:

```
void f () { ... max (2.5, (double) 1); ... }
```

Шаблоны функций

- Параметры могут иметь разные типы:

```
void f () { /* ... */   max (‘a’, 100);   /* ... */ }
void f () { /* ... */   max (2.5, 1);     /* ... */ }
```

2. Можно написать новый шаблон, который умеет сравнивать данные различных типов
3. Можно явно указывать выбираемый шаблон с помощью спецификации типом:

```
void f () { ...  max<int> (‘a’, 100);
                 max<double> (2.5, 1);
                 max<long> (4455, 777777);
           ... }
```

Шаблоны функций

- Параметры могут иметь разные типы:

```
void f () { /* ... */   max ('a', 100);   /* ... */ }
void f () { /* ... */   max (2.5, 1);     /* ... */ }
```

4. Можно перегрузить шаблон функцией, то есть к определению шаблона добавить определение одноимённой функции:

```
int max (char x, int y) { return x > y ? (int) x : y; } // или так:

int max (int x, int y)    { return x >= y ? x : y; }
```

Шаблоны функций

- При конфликтах шаблонов и функций работает модифицированный алгоритм определения перегруженной функции, отличающийся тем, что в нём дополнительно применяется шаг ***а'***, который рассматривается после того, как не сработал шаг по пункту ***а*** алгоритма
- Если будет обнаружена функция с формальными параметрами, в точности соответствующими фактическим параметрам вызова (без каких-либо дополнительных преобразований фактических параметров), она и будет вызвана
- Только в противном случае будут искаться пригодные для вызова шаблоны функций, так как явно написанная с точными параметрами функция всегда имеет предпочтение перед шаблонами функций

Шаблоны функций

- Исследование возможности генерации функции по шаблону может привести к генерации новой функции или к использованию уже сгенерированной по шаблону функции:

```
void f () { /* ... */ max (‘a’, ‘a’); /* ... */ }
        ==>          max<char> (‘a’, ‘a’);
```

- Следующие шаги модифицированного алгоритма будут обычными: расширения целочисленных и вещественных параметров, другие стандартные, а затем пользовательские преобразования параметров, именно в соответствии с этими шагами алгоритма будет обрабатываться вызов

```
void f () { /* ... */ max (‘a’, 100); /* ... */ }
```

Вывод типа возвращаемого функцией

- Можно определять типы возвращаемых значений функций:

```
template <typename T, typename E>
        auto compose (T a, E b) -> decltype (a + b)
            { return a + b; }

auto cd = compose (2, 3.14);
            // объект ‘cd’ имеет тип double
auto ci = compose (2, ‘3’);
            // объект ‘ci’ имеет тип int
```

Перегрузка шаблонов функций

- При выборе подходящей функции осуществляется поиск специализации, наилучшим образом соответствующей списку фактических параметров вызова, фактически выбор функции проводится по её собственным уже специализированным параметрам, что позволяет вводить несколько шаблонов функций с одним и тем же именем:

```
template<class T>          T    max (T* p, int size)    { /* ... */ }
template<class T>          T&   max (T&X, T&Y)          {return (  X < Y ? Y : X);}
template<class T,class Pr> T&   max (T&X, T&Y, Pr P)    {return (P (X, Y)?Y : X);}
```

- Шаблонной функцией можно пытаться находить максимум в классе комплексных чисел complex:

```
complex a (1, 2), b (3, 4); void f () { /*...*/ max (a, b); /*...*/ }// T≡complex
```

Шаблоны функций

- Механизм шаблонов обеспечивает проверку отсутствия ошибок не только при определении, но и при проведении их инстанцирования
- Если в шаблоне предполагается использование некоторых операций, определённых для одного типа данных, но не определённых для другого, то выявить возможные ошибки можно, при проверке конкретных специализаций шаблона
- Для комплексных чисел можно создать, например, такую операцию сравнения на “больше”:

```
#include <math.h>
bool complex::operator > (const complex & a) const
        { return re * re + im * im > a.re * a.re + a.im * a.im; }
```

Шаблоны классов

- Шаблоны создаются не только для функций, но и для классов (структур), имеющих общую логику работы:

```
template
<список_формальных_параметров_шаблона_типа>
 class имя_класса { /*...*/ };
```

- Шаблоны классов могут иметь не только ти́повые параметры, но и обычные параметры-переменные разрешённых типов (интегральные, перечислимые, указатели и ссылки), использующиеся в дальнейшем в теле шаблона:

```
имя_класса<список_фактических_параметров>объект;
```

Шаблоны классов

- Класс векторов лучше оформлять шаблоном класса:

```
template <class T> class Vector { T * p; int size; /* … */
        public:   explicit Vector  (int);
                  T & operator [] (int); // индексация
};
Vector<int> X (20);          // Для массивов нужен
Vector<complex> y (10);  // конструктор умолчания!
```

- Любой метод шаблонного класса есть шаблонная функция:

```
template <class T> T & Vector <T> :: operator [] (int) { ... }
```

Шаблоны классов

- Инстанцирования шаблона и определения объектов:

```
template<class T, int size> class buffer { /* ... */ };
buffer <char, 1024> X;
buffer <char, 512*2> Y;
buffer <int, 1024> Z;       // Объекты X и Z имеют разные типы!
```

- Типы *X* и *Y* считаются одинаковыми
- Значения перечислимых типов при инстанцировании шаблона приводятся к интегральным типам
- Значения неинтегральных типов не могут быть параметрами шаблонов

Шаблоны классов

- Шаблон может в качестве своего параметра иметь другой шаблон (это может быть только шаблон класса):

```
template<class T, template<class> class C> class Cont
        { C<T>  mem;      C<T*> ref;        /* ... */ };
```

- Такое определение класса *C*, заданного как класс-шаблон с одним ти́повым параметром, даёт возможность создавать специализации этого типа во время инстанцирования типа *Cont*:

```
Cont<Entry, vector> vect1;    // ссылки в виде вектора
Cont<Record,  list> list2;    // ссылки в виде списка
```

Шаблоны классов

- Шаблоны классов (как и классы вообще) нельзя перегружать
- Если в программе имеется определение шаблона, попытка включить в ту же область видимости этой программы любое из последующих определений класса с тем же именем будет ошибкой:

```
template<class T> class Tmax { T * p; int size; public: Tmax (); };
template<class T> class Tmax                { ... };   // ОШИБКА
template<class T> struct Tmax               { ... };   // ОШИБКА
template<class U> class Tmax                { ... };   // ОШИБКА
template<class T, class U> class Tmax       { ... };   // ОШИБКА
                           class Tmax       { ... };   // ОШИБКА
```

Шаблоны классов

- Внешние шаблоны:

```
template class array<MyArray>;

extern template class array<HisArray>;
```

Метапрограммирование

```
template<unsigned N> struct factorial {
    static const unsigned value = N * factorial<N-1>::value; };
template<> struct factorial<0> { static const unsigned value = 1; };
            int i = factorial<5>::value; // 120

template<unsigned N, unsigned K> struct C {
    static const unsigned value=factorial<N>::value /
                        factorial<K>::value / factorial<N-K>::value; };
            int j = C<5,2>::value; // 10

template<unsigned N> struct _1_pow {
    static const int value = N % 2 == 0 ? 1 : -1; };
            int k = _1_pow<5>::value; // -1
```

Метапрограммирование

```
double pow(double x, int N) {  if (N < 0) return 1 / pow (x, −N);
                               else if (N == 0) return 1;
                               else if (N % 2 == 0) { double p = pow (x, N/2); return p ∗ p; }
                               else return pow (x, N−1) ∗ x;
}
```

```
template<bool B, typename T> struct enable_if { typedef T type; };
template<typename T> struct enable_if<false, T> { };

template<int N, typename T>
        typename enable_if<(N < 0), T>::type pow (T x)    { return 1 / pow<−N>(x); }
template<int N, typename T>
        typename enable_if<(N == 0), T>::type pow (T x ) { return 1; }
template<int N, typename T>
        typename enable_if<(N > 0) && (N % 2 == 0), T>::type pow (T x)
                                                        { T p = pow<N/2>(x); return p ∗ p; }
template<int N, typename T>
        typename enable_if<(N >0) && (N % 2 == 1), T>::type pow (T x)
                                                        { return pow<N−1>(x) ∗ x; }
double y = pow<3>(x);
```

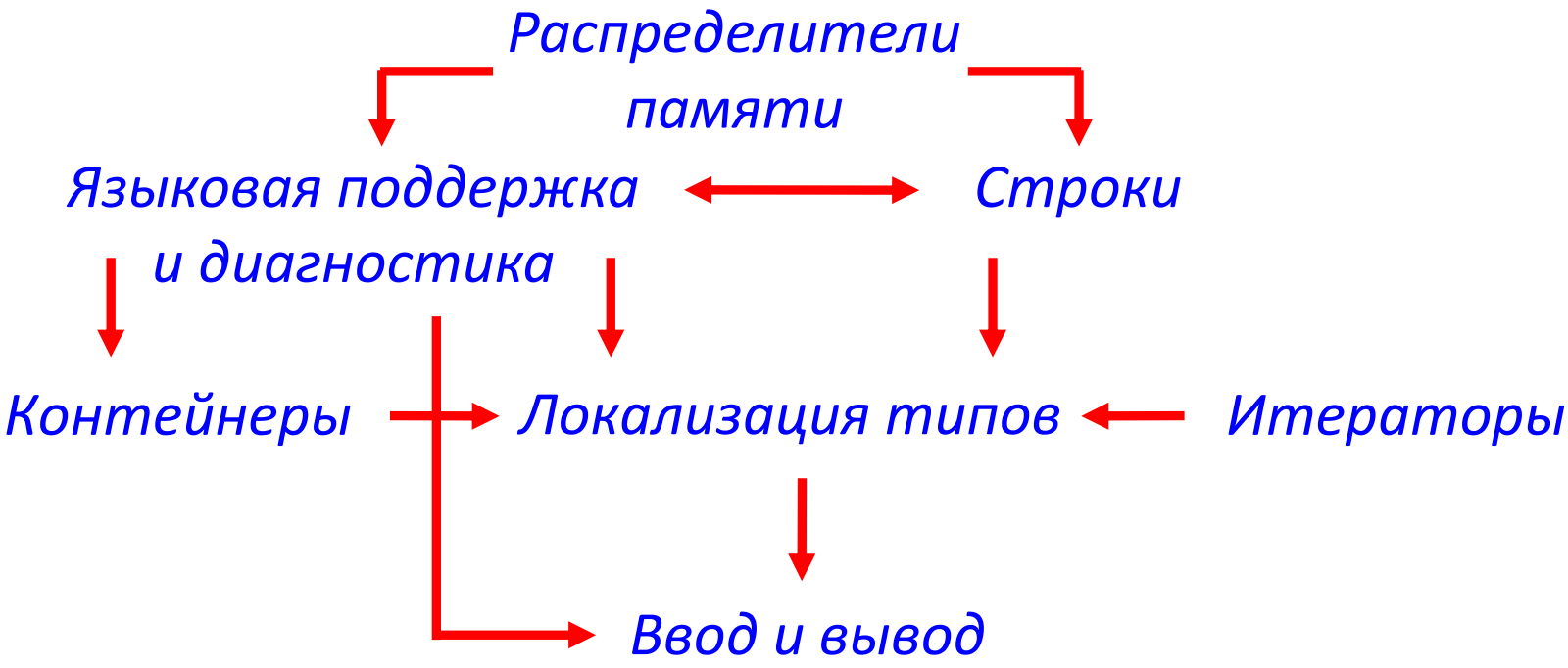
Стандартная библиотека

- Адекватная поддержка объектно-ориентированного программирования, проектирование библиотечных элементов в виде иерархий классов, использование абстрактных классов и виртуальных функций
- Активное использование шаблонов для повышения уровня абстракции базовых алгоритмов
- Использование механизма исключительных ситуаций и иерархии стандартных классов для передачи значений при возбуждении исключительных ситуаций
- Технология “обобщённого программирования”: максимальное обобщение структур и алгоритмов при одновременном сохранении их эффективности

Стандартная библиотека

- Стандартная библиотека – средство разработки контекстно-ориентированных библиотек
- Стандартная библиотека предоставляет совокупность понятий, в терминах которых можно проектировать программы, и набор типовы́х решений с использованием этих понятий
- Стандартная библиотека – это объединение нескольких компонентов, каждый из которых предоставляет набор примитивов и типовы́х решений, позволяющих строить наборы конкретных классов и функций для некоторой прикладной области

Взаимодействие элементов стандартной библиотеки



Средства стандартной библиотеки

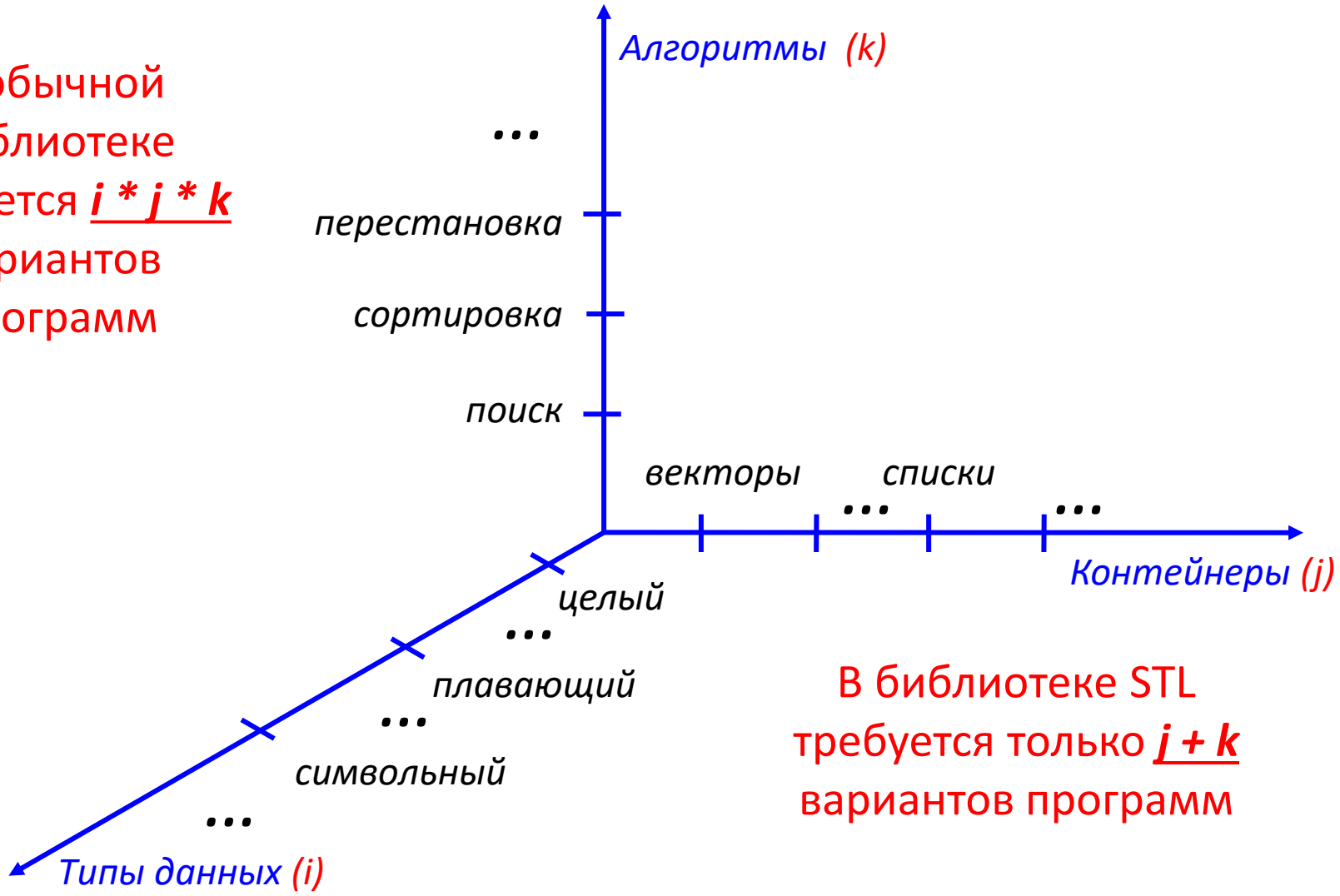
- Средства стандартной библиотеки определены в едином пространстве имён *std* с помощью заголовочных файлов
- Стандартная библиотека предоставляет:
  - Расширяемый набор классов и определений, необходимых для поддержки понятий языка Си++ (управление памятью, информация о типах во время выполнения программы, обработка исключений, средства запуска программы, зависящие от реализации аспекты языка)
  - Поддержки диагностики пользовательских приложений
  - Утилиты общего назначения
  - Контейнеры и итераторы
  - Обобщённые структуры данных и алгоритмы
  - Средства локализации программ
  - Классы и функции для математических вычислений
  - Средства работы со строками
  - Ввод/вывод

Принципы разработки STL

- Библиотека STL представляет собой набор совместно работающих, хорошо структурированных компонентов Си++
  - Все используемые в шаблонах алгоритмы работают не только с библиотечными структурами данных, но также и со встроенными структурами данных языка, в частности, все алгоритмы работают с обычными указателями
  - Использован *принцип ортогональности*: имеется возможность использовать библиотечные структуры данных с собственными алгоритмами, а библиотечные алгоритмы с собственными структурами данных
- *Эффективность реализации*: каждый шаблонный компонент библиотеки имеет обобщённую реализацию, не отличающуюся по эффективности от “ручной” реализации более, чем на несколько процентов
- *Теоретическая обоснованность*

Программные компоненты STL

В обычной библиотеке требуется ***i * j * k*** вариантов программ



В библиотеке STL требуется только ***j + k*** вариантов программ

Файлы-заголовки библиотеки Си++

#include <*algorithm*>
#include <*array*>
#include <*bitset*>
#include <*complex*>
#include <*deque*>
#include <*iostream*>
#include <*iterator*>
#include <*list*>
#include <*map*>
#include <*math.h*>
#include <*queue*>
#include <*random*>
#include <*set*>
#include <*stack*>
#include <*string*>
#include <*typeinfo*>
#include <*valargs*>
#include <*vector*>

Базовые компоненты STL

- ***Контейнеры*** управляют элементами данных
- ***Итераторы*** обеспечивают доступ к элементам данных, размещённым в контейнерах
- ***Распределители памяти*** (аллокаторы) инкапсулируют информацию о моделях памяти
- ***Алгоритмы*** определяют вычислительные процедуры, отделённые от конкретных реализаций структур данных и не связанные с конкретными контейнерами
- ***Функциональные объекты***
- ***Адаптеры*** обеспечивают преобразования интерфейсов
- *Компоненты STL реализуются шаблонами с параметрами*

Контейнеры STL

- ***Контейнеры*** управляют наборами ячеек памяти
- ***Контейнеры*** – это объекты шаблонных классов, содержащие другие объекты (списки, векторы, очереди, деревья, простые и ассоциативные массивы и т. д.); иногда так называют сами эти шаблонные классы
- ***Контейнеры*** не являются производными от некоторого общего базового класса, каждый контейнер реализует все стандартные контейнерные интерфейсы
- Некоторые контейнеры обладают свойством реверсивности, в дополнение к обычным требованиям к ним предъявляются требования обеспечения доступа с помощью обратных итераторов
- Для любого контейнера определены операции, позволяющие вводить указатели и итераторы на объекты, содержащиеся внутри него, определять расстояние между элементами контейнера и размеры этих элементов
- Среди элементов контейнера выделяются начальный и конечный элементы
- Элементы контейнера можно сравнивать между собой и менять местами

Контейнеры STL

- Выделяются две категории контейнеров: контейнеры-последовательности и ассоциативные контейнеры
- *Последовательности* организованы в виде конечных множеств элементов одного типа, эти множества имеют строгую линейную упорядоченность
- *Ассоциативные контейнеры* позволяют обеспечить быстрый доступ к элементам с помощью *ключей*
- Два ключа считаются равными, если ни один из них не меньше и не больше другого: неправильно считать, что для ключей можно использовать операцию сравнения '==' и что для определяют равенство ключей так:

  k1 == k2 // **ОШИБКА**

- Правильным подходом к выявлению равенства ключей является последовательное использование пользовательского критерия сравнения:

  comp (k1, k2) == false && comp (k2, k1) == false

  где *comp ()* есть сравнивающий функциональный объект, который передаётся шаблону контейнера в качестве фактического параметра

Контейнеры STL

- Для разных контейнеров определяются семантически сходные и одинаково поименованные функции:
  - для контейнеров-последовательностей определены функции *insert ()* (вставка элементов) и *erase ()* (удаление элементов)
  - для контейнеров-последовательностей имеются функции *begin ()* (настройка на начало), *end ()* (настройка на конец), *push_back ()*, создающая один дополнительный элемент в конце контейнера, и *pop_back ()*, уничтожающая элемент в конце контейнера
  - для ассоциативных контейнеров определены операции *insert ()* и *erase ()* (вставка и уничтожение элементов по заданному ключу), а также поиска элементов и диапазонов по заданному ключу (*find ()*)
- Вставка элементов в ассоциативный контейнер (и исключение элемента из него), в отличие от похожих операций над последовательностями, не разрушает ранее построенные итераторы, указывающие на какие-либо другие элементы этих же контейнеров

Контейнеры STL

- К контейнерам-последовательностям относятся вектор или динамический массив (*vector<T>*), линейный список (*list<T>*), двусторонняя очередь (*deque<T>*)
- К ассоциативным контейнерам относятся ассоциативный массив (*map<key, val*), множественный ассоциативный массив (*multimap<key, val>*), множество (*set<T>* – массив с ключами и без элементов) и множество с одинаковыми ключами (*multiset<T>*)
- Квазиконтейнеры: встроенный массив (*array*), строка (*string*), массив значений (*valarray*), битовый набор (*bitset<N>*)
- Квазиконтейнеры содержат внутри себя элементы, как обычные контейнеры, но обладают некоторыми ограничениями: для них не определяются отдельные операции, которые нельзя реализовать с требуемой для библиотечных элементов эффективностью
- На основе стандартных контейнеров-последовательностей с помощью адаптеров строятся производные контейнеры очередь (*queue<T>*), стек (*stack<T>*), очередь с приоритетами (*priority_queue<T>*)

Контейнеры STL

- Каждый контейнер в своей открытой части содержит серию определений типов, где введены стандартные имена типов:
  - *value_type* – тип элемента
  - *allocator_type* – тип распределителя памяти
  - *size_type* – тип, используемый для индексации
  - *iterator*, *const_iterator* – тип итератора
  - *reverse_iterator*, *const_reverse_iterator* – тип обратного итератора
  - *pointer*, *const_pointer* – тип указателя на элемент
  - *reference*, *const_reference* – тип ссылки на элемент
- Эти имена определяются внутри каждого контейнера так, как это необходимо в каждом конкретном случае, что позволяет писать программы с использованием контейнеров, не зная о настоящих типах, в частности, можно составить программу, которая будет работать с любым контейнером

Цикл по упорядоченной коллекции

- Пересчётный цикл по коллекции для встроенных массивов и коллекций с функциями *begin ()* и *end ()*, возвращающими итераторы:

```
int array [] = { 1, 2, 3, 4, 5 };
for (int & x : array)
                    {     x *= 2;       }
```

- Инициализация элементов контейнера:

```
vector<double> container [] = { 1.0, 2.4, 3.3, 4.9, 5.9 };
for (double & x : container)
                    {     x /= 2;       }
```

Итераторы STL

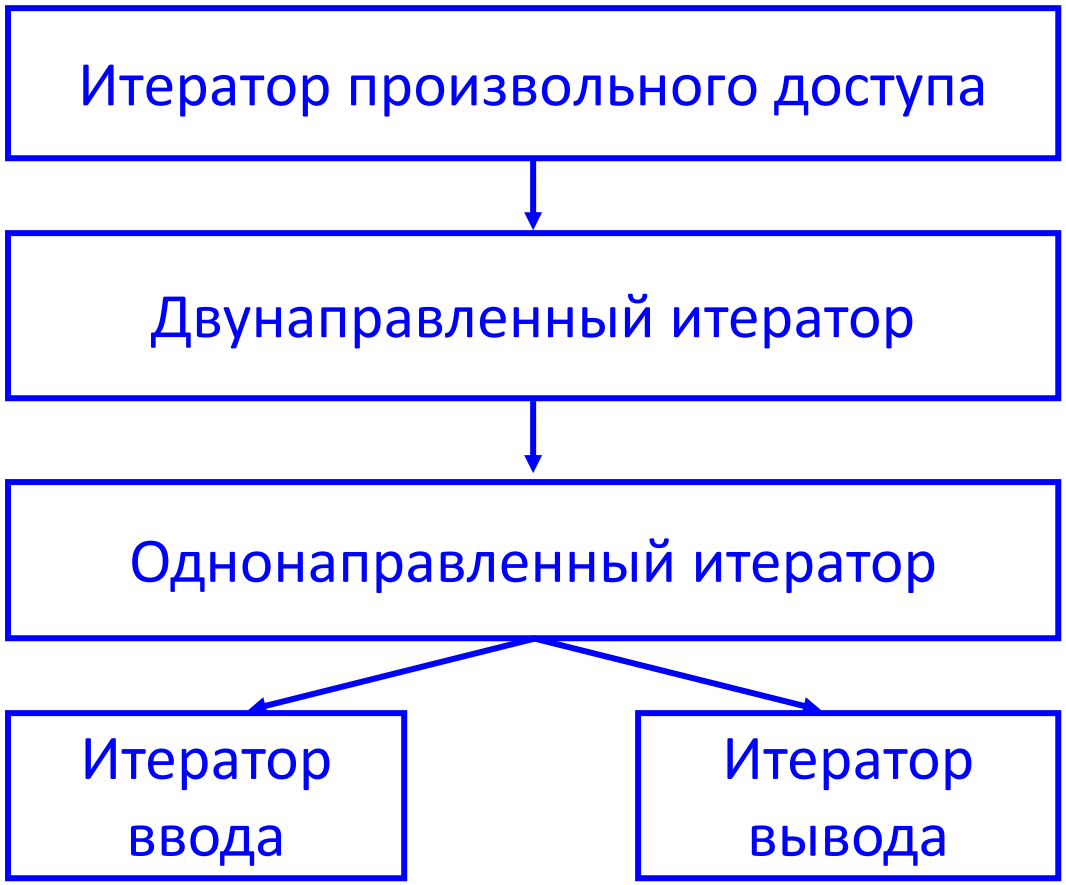
- ***Итераторы*** (обобщение указателей) предоставляют алгоритмам средства для перемещения по контейнерам и доступа к данным контейнеров
- ***Итераторы*** есть объекты шаблонных классов, для которых определена унарная операция ***`operator*`***, возвращающая значение некоторого класса или встроенного типа, называемого типом значения (*value type*) итератора
- ***Итераторы*** поддерживают абстрактную модель данных как последовательности объектов
- Понятия "*нулевой, никуда не указывающий итератор*" не существует, при организации циклов происходит сравнение с концом последовательности
- Каждый контейнер обеспечивает свои итераторы, также поддерживающие стандартный набор итерационных операций со стандартными именами и смыслом
- Описания классов итераторов находятся в заголовочном файле *<iterator>*
- Всякая шаблонная функция, работающая с итераторами, одновременно может работать и с обычными указателями

Итераторы STL

- Имеется пять видов итераторов:
  1. Итераторы ввода (*InputIterator*)
  2. Итераторы вывода (*OutputIterator*)
  3. Однонаправленные итераторы (*ForwardIterator*)
  4. Двунаправленные итераторы (*BidirectionalIterator*)
  5. Итераторы произвольного доступа (*RandomAccessIterator*)
- Различные итераторы иерархически вложены друг в друга:
  - *Однонаправленные итераторы объемлют итераторы ввода и вывода*
  - *Двунаправленные итераторы объемлют однонаправленные итераторы*
  - *Итераторы произвольного доступа объемлют двунаправленные итераторы*

Итераторы STL

- Итераторы различных видов иерархически вложены друг в друга
- Иерархически объемлющие итераторы удовлетворяют всем требованиям вложенных в них итераторов и могут использоваться вместо них



Операции в иерархии итераторов

Итераторы	Чтение	Доступ	Запись	Изменение	Сравнение
Вывода			*p=e	p++ ++p	
Ввода	x=*p	p->f		p++ ++p	p==q p!=q
Однонаправленные	x=*p	p->f	*p=e	p++ ++p	p==q p!=q
Двунаправленные	x=*p	p->f	*p=e	p++ ++p p-- --p	p==q p!=q
Произвольный доступ	x=*p	p->f p[n]	*p=e	p++ ++p p-- --p p+n n+p p-n p-q p+=n p-=n	p==q p!=q p<q p>q p>=q p<=q

Итераторы STL

- При описании алгоритмов, входящих в STL, принято соглашение об использовании стандартных имён формальных параметров, в зависимости от названия итератора в профиле алгоритма, должен использоваться итератор уровня “не ниже, чем”
- По именам параметров шаблона можно понять, какого рода итератор нужен, к какому контейнеру применим этот алгоритм:

```
template <class InputIterator, class T>
   size_type count (InputIterator start,
                    InputIterator finish, const T& value);
```

Итераторы STL

- Для продвижения итераторов на заданное расстояние (прибавление целого числа к итератору) и определения расстояния между элементами контейнеров (вычисление разности итераторов) в библиотеке имеются шаблоны функций: *advance ()* и *distance ()*
- Операция *advance (i, n)* может иметь отрицательное значение параметра *n* только для двунаправленных итераторов и итераторов произвольного доступа, эта функция продвигает итератор *i* на *n* позиций вперёд или назад

```
template <class InputIterator, class Distance>
        inline void advance  (InputIterator & i, Distance n);
InputIterator p;      int n;  /* … */ advance (p, n);    // эквивалентно: p += n;
```

- Операция *distance (first, last, n)* прибавляет к *n* число, равное количеству продвижений первого итератора (*first*) ко второму (*last*):

```
template <class InputIterator, class Distance>
        inline void distance (InputIterator first, InputIterator last, Distance& n);
InputIterator p, q;  int n;  /* … */ distance (p, q, n); // эквивалентно: n += q – p;
```

Итераторы вывода STL

- Присваивание, проводимое с помощью одного и того же значения итератора вывода, можно сделать для данного объекта только один раз, причём пропускать присваивание и переходить сразу к следующему значению итератора нельзя:

```
i, i ++; i ++;                    // ОШИБКА
```

- Итератор вывода в каждый момент времени может иметь только одну активную копию:

```
i = j; * ++ i = a; *j = b;      // ОШИБКА
```

- Единственным правильным использованием операции разыменования с итераторами вывода является использование этой операции в левой части операции присваивания

```
while (first != last) * result ++ = * first ++; // нет ошибки
```

Итераторы STL

- Итераторы могут указывать на элемент, который гипотетически расположен за последним элементом контейнера, доступ к этому гипотетическому элементу никогда не осуществляется
- Итераторы могут иметь значение, не указывающее ни на какой элемент контейнера, для таких значений результаты большинства операций не определены
- Диапазон есть пара итераторов, задающая начало и конец вычислений
- Диапазон *[i, j)* относится к элементам структуры данных, начинающейся с элемента, на который указывает *i*, и кончающейся (но не включающей) элементом *j*, диапазон *[i, i)* есть пустой диапазон
- Все алгоритмы должны применяться только к правильным диапазонам, в которых второй итератор достижим из первого за конечное число выполнения операций ***operator ++***

Итераторы STL

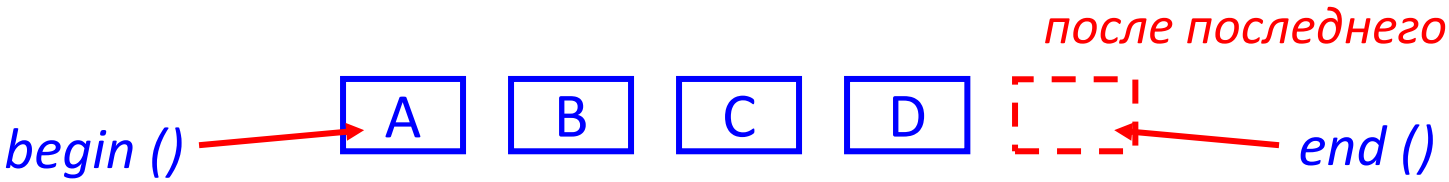
- ***Суть использования итераторов вместо обычных указателей состоит в том, что итераторы обладают гораздо большей общностью***
- Свойства итераторов описаны значительно более точно, чем свойства простых указателей
- Те свойства итераторов, которые зависят от конкретных реализаций, скрыты в реализации библиотеки, что повышает переносимость программ, написанных с использованием итераторов, но не снижает эффективности этих программ

Итераторы STL

- Каждый контейнер содержит ряд ключевых методов, позволяющих найти концы последовательности элементов в виде значений итераторов:

```
iterator begin(), const_iterator cbegin() const
        // возвращают итератор, который указывает
        // на первый элемент последовательности
iterator end(), const_iterator cend() const
        // возвращают итератор, который указывает на элемент,
        // следующий за последним элементом последовательности
```

- Константные итераторы позволяют контролировать модификацию элементов контейнеров и запрещать её там, где это нужно
- С помощью итераторов последовательный доступ к элементам данных контейнерных типов осуществляется от первого элемента к последнему:



Итераторы STL

- Запись *iterator p = v.begin ()* верна независимо от того, к какому контейнеру *v* она применяется, после такого определения **p* есть первый элемент контейнера *v*
- Шаблонная функция *find ()* ищет итератор заданного элемента в заданном диапазоне итераторов и выдаёт в результате значение итератора, которым поиск заканчивается
- Для достижения целей функции *find ()* достаточно использовать итератор ввода из контейнера, поскольку изменения значений и повторного чтения элементов не потребуется:

```
template <class InputIterator, class T>
  InputIterator find (InputIterator first, InputIterator last, const T& value)
                    { while ( first != last && * first != value ) ++ first;
                      return first;
} // Ответ: если first != last, то искомый элемент доступен, как * first
```

Распределители памяти STL

- ***Распределители памяти*** (*аллокаторы*) управляют переносимыми средствами упрятывания информации о моделях памяти, типах указателей, типах разности указателей, типе размеров объектов в данной модели памяти, а также примитивами для размещения и освобождения памяти для данной модели
- ***Распределители памяти*** позволяют свести задачу распределения памяти для сложных, составных объектов к совокупности более простых задач распределения памяти для более простых (составляющих) объектов

Распределители памяти STL

- ***Распределители памяти*** представляют собой классы объектов, которые можно включать в качестве параметров в описания шаблонов других классов:

```
template<class T, class A = allocator<T> > class vector {
public:
        typedef typename A::pointer iterator;    /* ..... */
private: A alloc;                                /* ..... */
public:                                          /* ..... */
        void reserve (size_type n)
                { if (n <= Nmax) return;
                  iterator p = alloc.allocate (n);    /* ..... */
                }
};
```

Распределители памяти STL

- В классы распределителей памяти включаются определения типов, используемых для индексации соответствующих объектов (например, тип *size_type*)
- Эти типы могут представить самый большой объект исходного типа, соответствующий модели памяти
- В распределителях памяти описывается тип, соответствующий типу результата вычитания двух итераторов (тип *difference_type*)
- Обычно эти типы соответствуют типам *size_t* и *ptrdiff_t*, но они могут быть и иными, что зависит от природы объектов и от выбранной модели памяти

Распределители памяти STL

- Для распределителей памяти в библиотеке STL выработаны требования, сформулированные в виде перечня операций, которые можно выполнять над объектами классов распределителей для каждой отдельной модели памяти, к таким операциям относятся:
  - операции захвата памяти *allocate ()*
  - операции конструирования объектов *construct ()*
  - операции разрушения значений объектов *destroy ()*
  - операции освобождения памяти *deallocate ()*
  - операции создания указателей на объекты *address ()*
  - и т. д.

Распределители памяти STL

- Стандартный распределитель памяти, заданный стандартным шаблоном *allocator* из заголовочного файла *<memory>*, выделяет память при помощи операции ***new*** и по умолчанию используется всеми стандартными контейнерами:

```
template <class T> class allocator { public:
typedef T* pointer;
typedef T& reference;                  //  ...
allocator () throw ();                 //  ...
pointer allocate (size_type n);  // отводит память для n объектов T
void  deallocate (pointer p, size_type n); // освобождает память
                        // для n объектов T без вызова их деструкторов
void  construct   (pointer p, const T& val);    // * p == val
void  destroy     (pointer p);  // вызывает деструктор для * p
/* ... */                              // не освобождая памяти
}
```

Алгоритмы STL

- ***Алгоритмы*** определяют вычислительные процедуры (*просмотр, сортировка, поиск, удаление элементов, …*), не реализованные методами контейнеров, но пригодные для работы с разными составными структурами данных, в том числе с разными контейнерами
- ***Алгоритмы*** являются универсальными для любого из контейнеров и поэтому они реализованы без использования методов, входящих в контейнеры
- ***Алгоритмы*** выражаются шаблонами функции или наборами таких шаблонов
- Стандартные алгоритмы находятся в пространстве имён *std*, а их объявления – в заголовочном файле *<algorithm>*

Алгоритмы STL

- Алгоритмы библиотеки STL отделены от конкретных структур данных, над которыми они выполняются: алгоритм поиска данных не зависит от того, выполняется поиск в линейном массиве или списке
- Доступ к данным осуществляется только с помощью итераторов: о каждом алгоритме из библиотеки известно, с помощью какого вида итератора доступны используемые в алгоритме данные
- Благодаря параметризации итераторами, алгоритмы работают и со встроенными структурами данных, и со структурами данных, определёнными пользователями

Алгоритмы STL

- Обобщённые алгоритмы библиотеки:
  1. Немодифицирующие операции над последовательностями данных (*поиск и подсчёт числа элементов*):
     - *find ()* – первое вхождение элемента с заданным значением
     - *find_if ()* – первое вхождение элемента, удовлетворяющего заданному условию
     - *count ()* – количество вхождений элемента с заданным значением
     - *for_each ()* – операция-параметр применяется к каждому элементу, не меняя его

Алгоритмы STL

- Обобщённые алгоритмы библиотеки:
  2. Модифицирующие операции над последовательностями данных (*копирование, перестановки, преобразования, …*), которые меняют либо сами элементы контейнера, либо их порядок, либо их количество:
     - *transform ()* – операция-параметр применяется к каждому элементу так, что содержимое контейнера меняется
     - *reverse ()* – переставляет элементы в последовательности
     - *copy ()* – создаёт новый контейнер

Алгоритмы STL

- Обобщённые алгоритмы библиотеки:
  3. Операции сортировки, поиска минимума и максимума, ускоренного поиска и т. д.
     - *sort ()* – простая сортировка, имеется также сортировка по возрастанию (в данном контейнере для типа элемента должна быть определена операция сравнения на меньше, то есть ‘<’)
     - *stable_sort ()* – сортирует, но сохраняет порядок следования одинаковых элементов
     - *merge ()* – объединяет отсортированные последовательности

Алгоритмы STL

- Обобщённые алгоритмы библиотеки:
  4. Обобщённые численные алгоритмы (*суммирование, смежные разности, слияние, обобщённое скалярное произведение, …*)

Алгоритмы STL

- В языке Си++ критерий сравнения для функции сортировки *sort ()* реализуется с помощью параметра шаблонной функции:

```
template<class Iterator, class Predicate>
            inline void sort (Iterator First, Iterator Last, Predicate Pr)
          { _Sort_0  (First, Last, Pr, Val_type (First)); }
/* ... */
          { for (;; ++ First)  {   for (; Pr (* First, Piv); ++ First);
                                   for (; Pr (Piv, * -- Last););
                                   if (Last <= First) return First;
                                   iter_swap (First, Last);
                               }
          }
```

Алгоритмы STL

- Обобщённая функция сортировки *sort ()* может быть инстанцирована так, что её специализация будет упорядочивать элементы контейнера по убыванию:

```
class IntGreater
{ public: bool operator()(int x, int y) const {return x > y;} };
#include <algorithm>
int main ()
{ int x [1024]; /* ..... */   // Инициализация
  sort (&x [0], &x [1024]);      // По возрастанию
  sort (&x [0], &x [1024], IntGreater ());
                                 // По убыванию
}
```

Функциональные объекты STL

- ***Функциональные объекты*** управляют инкапсуляцией функций в объекте для их использования другими объектами
- ***Функциональные объекты*** – объекты шаблонных классов, для которых определена операция группирования фактических параметров, то есть операция ***`operator()`***
- Использование функциональных объектов позволяет шаблонам алгоритмов работать и с указателями на функции, и с любыми объектами, для которых разрешена операция ***`operator()`***

Функциональные объекты STL

- Для проведения поэлементного суммирования двух векторов *a* и *b*, содержащих вещественные числа, и передачи результата в вектор *a* с помощью алгоритма *transform ()* и бинарного функционального объекта *plus ()* можно выполнить следующее:

```
template < class InputIterator1,  class InputIterator2, class OutputIterator,
                                                  class BinaryOperation>
          OutputIterator transform (InputIterator1 first1, InputIterator1 last1,
                                                    InputIterator2 first2, OutputIterator result,
                                                    BinaryOperation binary_op);

template <class T> struct plus : binary_function<T, T, T>
          { T operator () (const T& x, const T& y) const {return x + y;} };

transform (a.begin(), a.end(), b.begin(), a.begin(), plus<double>());

                    // res = op1 + op2 – для каждого элемента a и b
```

Функциональные объекты STL

- Для изменения знака элементов вектора можно использовать вариант алгоритма *transform()*, пригодный для унарных операций, и унарный функциональный объект *negate()*, выполняющий изменение знака без обращений к функциям:

```
template <class InputIterator,    class OutputIterator,
                                  class UnaryOperation>
        OutputIterator transform (      InputIterator first, InputIterator last,
                                  OutputIterator result, UnaryOperation op);
```

```
template <class T> struct negate : unary_function<T, T>
          { T operator () (const T& x) const {return -x;} };
```

```
transform (a.begin(), a.end(), a.begin(), negate<double>());
```

// res = - op – для каждого элемента a

λ-функции Си++

- **λ-функции** — анонимные функции, которые можно определить в любом месте программы, где требуется указать функцию
- Ex1: auto lambda = [ ] ( ) -> int { std::cout << "Hello!" << std::endl; return 1; };
  /* … */ lambda ();
- [ ] — «захват», список переменных из текущей области видимости
  [x] — захват по значению, запрещено менять в теле лямбда-функции
  [&x] — захват по ссылке, можно изменять в теле лямбда-функции
- ( ) — список формальных параметров функции

```
Ex2: int main(){   int n =2;
                   std::vector< int > v = { 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 14 };
                   auto newend = std::remove_if ( v.begin (), v.end (), [n]( int x ) { return x % n == 0; } );
                   std::erase (newend, v.end ());
                   std::for_each ( v.begin (), v.end (), [] ( int x ) { std::cout << x << " "; } ); // 5 7 9 11
               }
/* ================================================================================*/
Ex3: struct S1  {  int x, y;
                   int operator () (int);
                   void f() { [=] () -> int { return operator () (this -> x + y); };
                            }                  // эквивалентно записи S1::operator () (this -> x + (* this).y)
               };                              // указатель this имеет тип S1*
```

λ-функции Си++

- **λ-функции** — анонимные функции, которые можно определить в любом месте программы, где требуется указать функцию
- Ex1: auto lambda = [ ] ( ) -> int { std::cout << "Hello!" << std::endl; return 1; };
  /* … */ lambda ();
- [ ] — «захват», список переменных из текущей области видимости
  [x] — захват по значению, запрещено менять в теле лямбда-функции
  [&x] — захват по ссылке, можно изменять в теле лямбда-функции
- ( ) — список формальных параметров функции

```
Ex2: int main(){   int n =2;
                   std::vector< int > v = { 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 14 };
                   auto newend = std::remove_if ( v.begin (), v.end (), [n]( int x ) { return x % n == 0; } );
                   std::erase (newend, v.end ());
                   std::for_each ( v.begin (), v.end (), [] ( int x ) { std::cout << x << " "; } ); // 5 7 9 11
                }
/* ========================================================================*/
Ex4:
#include <algorithm>
#include <cmath>
void abssort (float *x, unsigned N) {
            std::sort (x, x + N, [](float a, float b) { return std::abs (a) < std::abs (b); });
}
```

Адаптеры STL

- ***Адаптеры*** используются для преобразования интерфейсов
- В библиотеку включены
  - ***Адаптеры контейнеров***
  - ***Адаптеры итераторов***
  - ***Адаптеры функциональных объектов***
- Применение адаптеров позволяет на основе базовых классов строить производные классы, обеспечивающие удобное и эффективное представление данных и операций над ними

Адаптеры контейнеров STL

- ***Адаптеры контейнеров*** позволяют строить ограниченные интерфейсы (из базовых интерфейсов удаляются лишние операции):
  - для векторов (vector) => priority_queue, stack
  - для списков (list) => queue, stack
  - для двусторонних очередей (deque) => queue, priority_queue, stack
- ***Адаптеры контейнеров*** не имеют своих итераторов, предполагая использование базовых итераторов, в каждом конкретном случае для доступа к данным стека используются итераторы векторов, списков или двусторонних очередей:

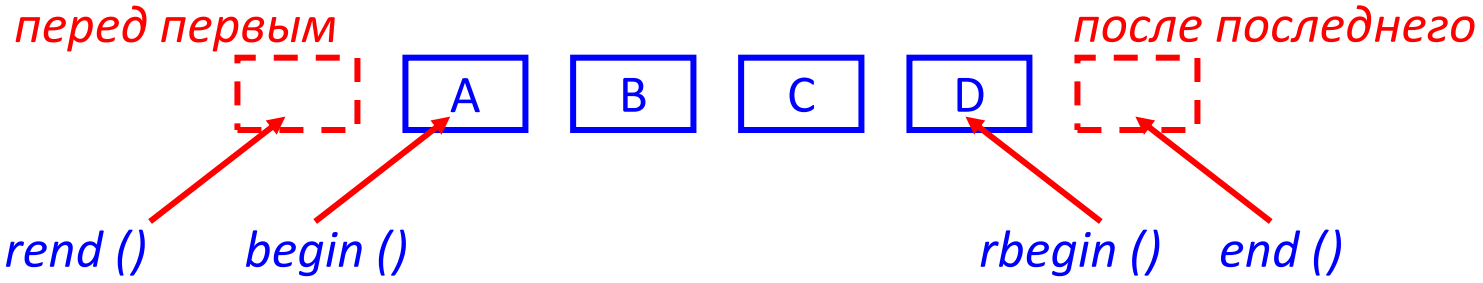
```
stack<vector<int> >     // стек целых чисел на базе вектора
queue<list<char> >      // очередь символов на базе списка
```

- ***Адаптеры контейнеров*** – простые интерфейсы, создаваемые для тех контейнеров, типы которых передаются адаптерам в качестве фактических параметров

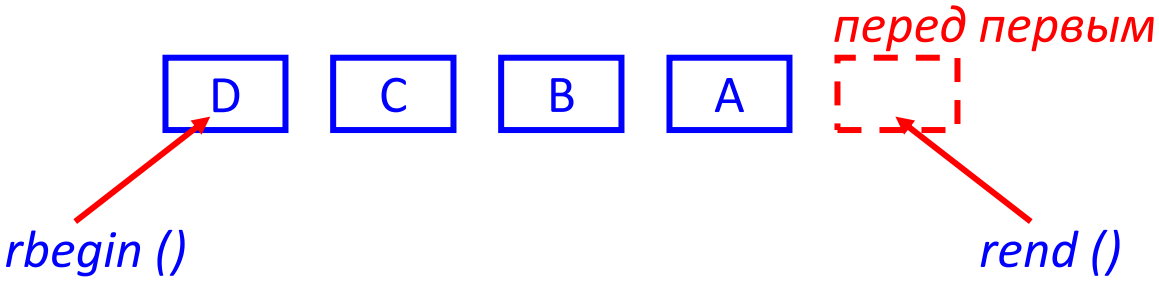
Адаптеры итераторов STL

- ***Адаптеры итераторов*** выполняют функции, аналогичные адаптерам контейнеров, но преобразования интерфейсов производятся в отношении классов итераторов
- Двунаправленные итераторы и итераторы с произвольным доступом имеют соответствующие *адаптеры обратных итераторов*, которые могут продвигаться по структурам данных в обратном направлении
- Контейнеры, допускающие работу с двунаправленными итераторами и итераторами произвольного доступа, содержат методы:
  - *reverse_iterator rbegin (), const_reverse_iterator rbegin ()* – возвращают итератор, указывающий на первый элемент в обратной последовательности
  - *reverse_iterator rend ()*, *const_reverse_iterator rend ()* – возвращают итератор, указывающий на элемент, следующий за последним в обратной последовательности

Адаптеры итераторов STL



- С помощью обратных итераторов последовательный доступ к элементам данных контейнерных типов осуществляется от последнего элемента к первому:



Адаптеры итераторов STL

- При проходе последовательности как прямым итератором *p*, так и обратным итератором *rp* переход к следующему элементу записывается с помощью операции увеличения ***++ rp*** (но не ***-- rp***):

```
template<class C>  typename C::value_type sum_twice (const C& c)
   { typename C::value_type s1, s2;
     typename C::const_iterator p_p = c.begin ();
     s1 = 0; while (p_p != c.end ())  s1 += * (p_p ++);
     typename C::const_reverse_iterator p_r = c.rbegin ();
     s2 = 0; while (p_r != c.rend ()) s2 += * (p_r ++);    return (s1 + s2) / 2; }
```

- ***Примечание***: Шаблонные конструкции вида *"`T::x`"*, в которых используется имя типа *`T`*, введённое в параметрах шаблона, независимо от контекста интерпретируются как *"член-данное `x` из класса `T`"*. В таких случаях для использования *типа `x`* из класса *`T`* пишут *"`typename T::x`"*.

Адаптеры итераторов STL

- Использование в алгоритмах той же операции увеличения '***++***', что и для обычного итератора, позволяет использовать обратные итераторы с библиотечными функциями в тех случаях, когда использование этих функций могло бы оказаться затруднительным
- Например, для организации поиска в контейнере в обратном порядке (от конца к началу) обычно пишутся такие циклы:

```
template<class C> typename C::const_iterator  find_last
                          (const C& c, typename C::value_type v)
    { typename C::const_iterator p = c.end ();
      while (p != c.begin ()) if (* -- p == v) return p;
      return c.end ();
    }
```

Адаптеры итераторов STL

- Применив обратный итератор, можно воспользоваться библиотечной функцией поиска со всеми её преимуществами и без потери эффективности
- Операция *i = ri.base ()* выдаёт значение *i* типа *iterator*, указывающее на один элемент вперёд позиции обратного итератора *ri*.

&*(reverse_iterator (iterator)) == &*(iterator – 1)

```
template<class C> typename C::const_iterator  find_last
                          (const C& c, typename C::value_type v)
    { typename C::const_reverse_iterator ri =
                              find (c.rbegin (), c.rend (), v);
      if (ri == c.rend ()) return c.end ();
      typename C::const_iterator  i = ri.base ();     return -- i;
    }   // Известно, что функция find () пользуется операцией '++'!
```

Адаптеры итераторов STL

- В библиотеку STL включён *адаптер вставки*, который заменяет обычную операцию изменения значения элементов контейнера на операцию вставки элементов в контейнер
- Для обычных классов итераторов фрагмент программы

```
while (first != last) *result ++ = *first ++;
```

означает копирование элементов диапазона *[first, last)* в диапазон, начинающийся с итератора *result*, однако, если итератор *result* является итератором вставки, тот же самый фрагмент будет производить вставку дополнительных элементов в контейнер.

- *Адаптеры итераторов неинициализированной памяти* применяют для записи результатов операций в неинициализированную память, то есть в память, не содержащую никаких объектов данных, про которую известно лишь, что её размер достаточен для хранения соответствующего результата

Вывод типа в языке Си++

- Требование указывать тип объекта в некоторых языковых конструкциях сильно усложняет программирование:

```
for (vector<double, My_alloc<double> >::const_iterator
                p = v.begin (); p != v.end (); ++ p)
        cout << *p << endl;
```

- В языке Си++ допускается автоматическое выведение типа объекта из типа инициирующего значения, что более экономно с точки зрения текста программы и более устойчиво к ошибкам:

```
for ( auto    p = v.cbegin (); p != v.cend (); ++ p)
        cout << *p << endl;
```

Контейнер векторов (vector)

- Векторы, строящиеся на основе контейнеров класса *vector*, по своим свойствам напоминают обычные одномерные массивы:

```
#include <vector>
using namespace std;
template<class T, class A = allocator<T> > class vector;
vector& operator = (const vector <T, A> & obj);
vector (const vector <T, A> & obj);// конструктор копирования
```

- Имеются другие виды конструкторов:

```
vector (iterator first, iterator last, const A& = A ());
explicit vector (const A& = A ());       // требуется явный вызов
explicit vector (size_type size, const T& val = T (), const A& a = A ());
```

- Конструктор *vector<int> v (10)* задаёт вектор из 10 целых чисел

Контейнер векторов (vector)

- Как и массив, вектор представляет собой непрерывную последовательность элементов, но, в отличие от обычных массивов, размер вектора не известен статически

```
bool empty      () const { /* ... */ }    //истина, если контейнер пуст
size_type size  () const { /* ... */ }    //текущий размер вектора
```

- Методы, связанные с итераторами:

```
iterator   begin  ();                  const_iterator   begin   () const;
Iterator   end    ();                  const_iterator   end     () const;
```

- Операции, возвращающие значения элементов по итераторам:

```
reference front ();                    const_reference  front () const;
reference back  ();                    const_reference  back  () const;
```

- Методы доступа к элементам:

```
reference operator [] (size_type n);
const_reference operator [] (size_type n) const;
reference at (size_type n);            const_reference at (size_type n) const;
```

Контейнер векторов (vector)

- Для векторов легко написать программы копирования элементов, как в прямом, так и в обратном порядке, то есть от конечного элемента к начальному:

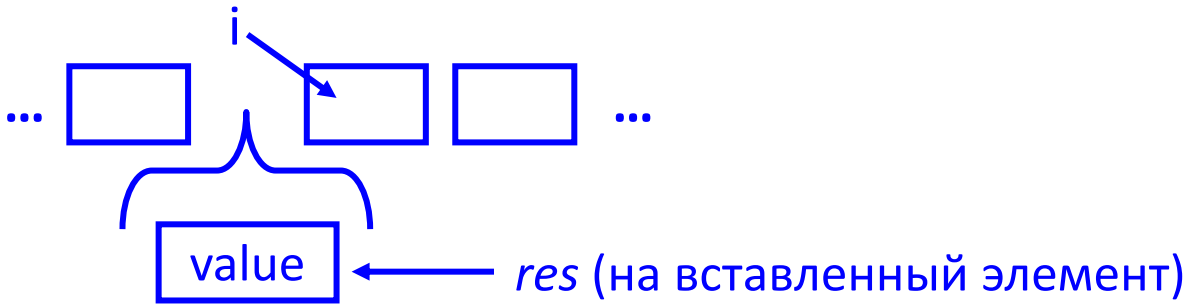
```
int main ()
{  vector<int> v (100, 5); // 100 элем. с начальным значением 5
   vector<int>::const_iterator p = v.begin ();
   vector<int>::const_reverse_iterator q = v.rbegin ();     // ...
   while (p != v.end  ())     { cout << * p << ‘ ’; ++ p; }        // ...
   while (q != v.rend ())     { cout << * q << ‘ ’; ++ q; }        // ...
   return 0;
}
```

Контейнер векторов (vector)

- При создании вектора задаётся только начальный размер
- Операции *push_back ()* и *pop_back ()* изменяют количество элементов вектора: первая, чтобы добавить один или несколько элементов к концу вектора, а вторая, чтобы уничтожить один или несколько последних элементов
- Операции вставки и удаления элементов приводят к перемещению (копированию) некоторого числа элементов вектора на новое место: при вставке элементы копируются, чтобы освободить достаточно места для всех вставляемых элементов, при удалении элементы копируются, чтобы в векторе не оставалось несуществующих элементов

Контейнер векторов (vector)

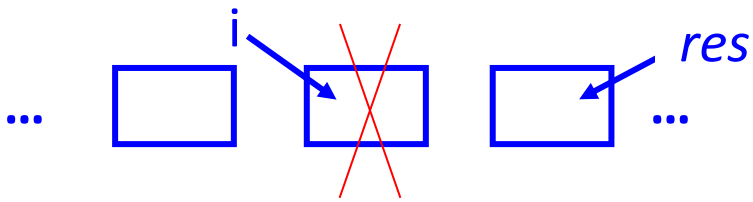
- Вставка перед элементом:
  iterator insert (iterator i, const T& value) {...}



- Вставка нескольких одинаковых элементов перед элементом:
  iterator insert (iterator i, size_type number, const T & value){...}
- Вставка в конец контейнера:
  void push_back (const T& value) { insert (end (), value); }
- Уничтожение всех элементов вектора без вызова деструктора самого вектора:
  void clear () { erase (begin (), end ());}

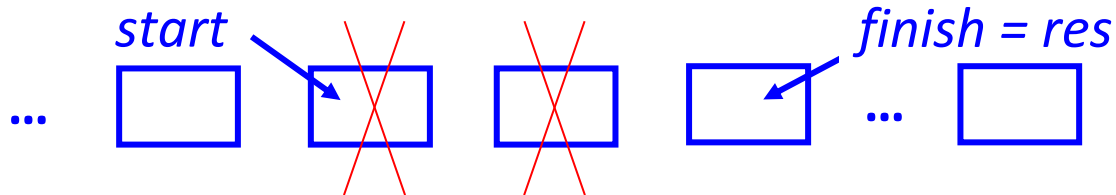
Контейнер векторов (vector)

- Уничтожение заданного элемента и выдача итератора элемента, следующего за удалённым:
  iterator erase (iterator i) { /* ... */ return (i); }



- Уничтожение последнего элемента:
  void pop_back () { erase (end () - 1); }
- Уничтожение диапазона и выдача итератора элемента, следующего за удалённым:

  iterator erase (iterator start, iterator finish) { /*...*/ return (finish); }



Контейнер векторов (vector)

- Операции *insert ()* и *erase ()* определены только для обычных итераторов, поэтому организуя циклы по обратным итераторам, эти обратные итераторы надо сначала преобразовывать к обычным, а лишь затем выполнять вставку или уничтожение элементов:

```
vector<int>::reverse_iterator ri = v.rbegin ();
while (ri != v.rend ())
    if (* ri ++ == Element)
       { vector<int>::iterator i = ri.base ();
         v.insert (i, - Element); // перед i-тым элементом вставить
         break;                   // ещё один, с обратным знаком
       }
```

Контейнер векторов (vector)

- К контейнеру *vector* применима операция индексации ***operator*** *[]*, обеспечивающая доступ к отдельным элементам вектора в произвольном порядке:

```
reference operator [] (size_type i) { return * (begin () + i); }
```

- Для доступа к элементам вектора используются итераторы с произвольным доступом (следствие возможности индексации)
- Операция индексации не проверяет выход за границы контейнера, однако, к контейнеру применима функция *at ()*, которая выполняет такой же индексированный доступ, но с проверкой диапазона индекса:

```
reference at (size_type i) { /* ... */ } // содержимое элемента
                                         // с номером i
```

Контейнер векторов (vector)

- При выходе за пределы разрешённого диапазона вектора (то есть при значении индекса меньше самого маленького разрешённого или больше самого большого) возбуждается исключительная ситуация *out_of_range*, поэтому при работе с функцией *at ()* используется перехватчик исключения:

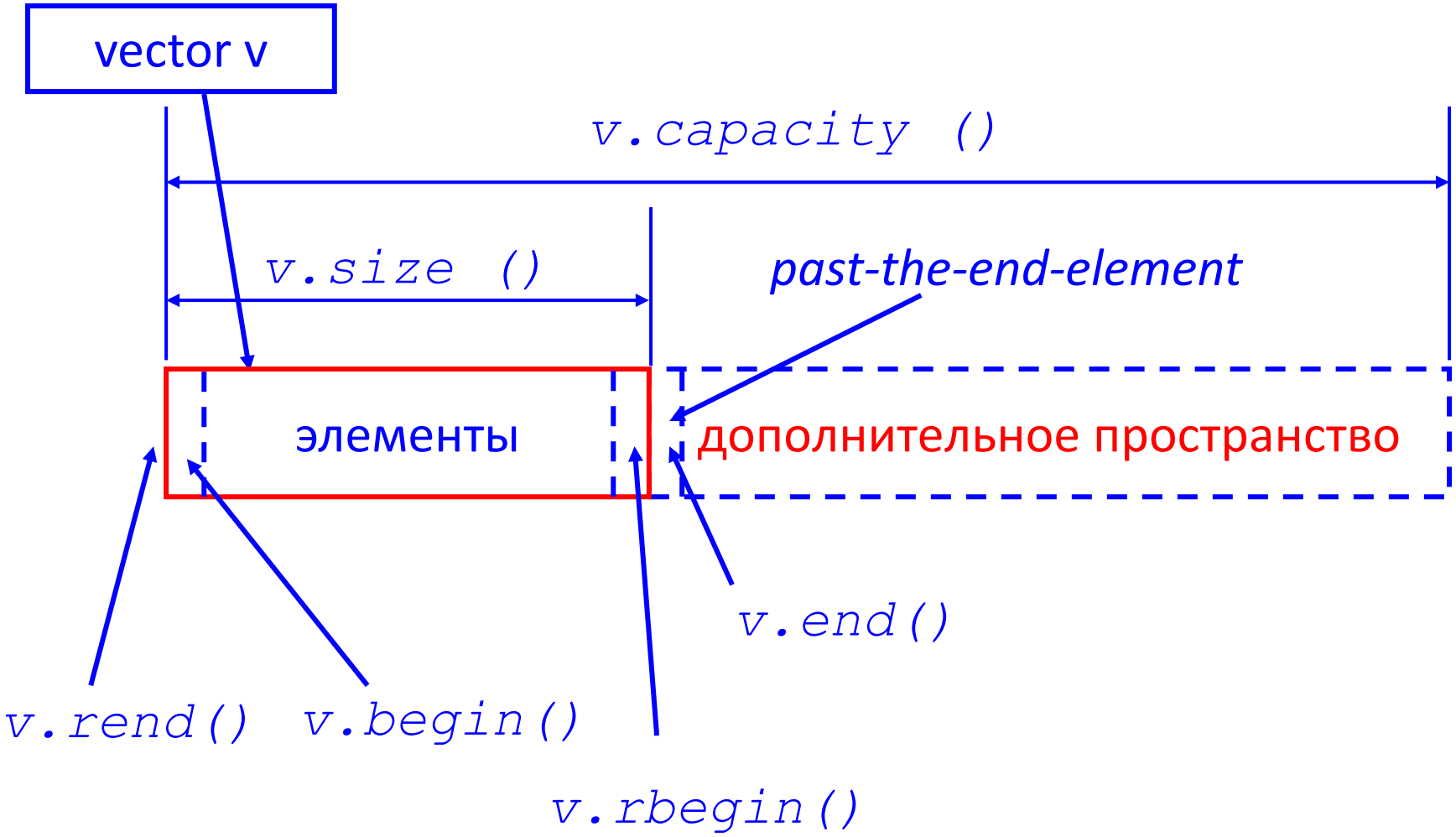
```
try                          { /* ... */  v [5] = v.at (i);   /* ... */ }
catch (out_of_range)         { /* ... */                      /* ... */ }
```

- Нельзя выполнять продвижение итератора (*it = it + n*), если результат будет указывать за *past-the-end-element* (ошибка фиксируется самой операцией сложения, ещё до записи результата)

Контейнер векторов (vector)

- Функция *size ()*, не имеющая параметров, позволяет узнать число элементов вектора, функция *resize ()* меняет число элементов вектора на другое
- С помощью функции *reserve ()* можно выполнить предварительное резервирование памяти:
  1. В программах можно сразу выделить максимально необходимое пространство одной операцией вместо многократного выделения меньших фрагментов памяти
  2. Резервирование достаточного места позволяет гарантировать сохранность значений индексов и указателей на некоторый период обработки вектора
- Операция *reserve ()* отличается от операции *resize ()* тем, что число элементов вектора не меняется, функция *capacity ()* выполняется для определения размера зарезервированной памяти

Контейнер векторов (vector)



Контейнер векторов (vector)

```
#include <vector>
using namespace std;
typedef vector<int> Container;
typedef Container::size_type Cst;
void f (Container& v, int i1, int i2) {
    try {  for (Cst i = 0; i < 10; i++) { v.push_back (i); }   // Элементы: 0, 1, 2, ..., 9.
           v.at (i1) = v.at (i2);
           cout << v.size ();            // Размер контейнера для данной точки
           Container::iterator p = v.begin ();
           p += 2;                  // Для векторов можно, для других – advance (p, 2)
           v.insert (p, 100);   // Элементы: 0, 1, 100, 2, ..., 9.   p теряет значение
           sort (v.begin (), v.end ());                              // Сортировка диапазона
           for (Cst i = 0; i < v.size (); i ++) {cout << v [i]; }
        }
    catch (out_of_range) { /* ... */ }          // реакция на ошибочный индекс
}
int main () { Container v; f (v, 5, 12); }
```

Контейнер списков (list)

- Списки, строящиеся на основе стандартного контейнера *list*, позволяют осуществлять вставки и уничтожения любых элементов за постоянное время, произвольный доступ для списков применяться не может, то есть уровень разрешённого итератора – двунаправленный:

```
#include <list>
using namespace std;
template<class T, class A = allocator<T> > class list;
list& operator = (const list <T, A> & obj);
list (const list <T, A> & obj);              // конструктор копирования
list (iterator first, iterator last, const A& = A ());
explicit list (const A& = A ());
explicit list (size_type size, const T& value = T (), const A& a = A ());
```

Контейнер списков (list)

- Размер списка не известен статически

```
bool empty     () const { /* ... */ } //истина, если контейнер пуст
size_type size () const { /* ... */ } //выдача текущего размера
```

- Методы, связанные с итераторами:

```
iterator begin  ();        const_iterator begin  () const;
Iterator end    ();        const_iterator end    () const;
```

- Операции, возвращающие не значения итераторов на элементы списка, а значения самих этих элементов:

```
reference front () { return * begin (); }
reference  back () { return *(end () – 1); }
```

Контейнер списков (list)

- Кроме операций *push_back ()* и *pop_back ()*, которые добавляют и удаляют элементы в конце списка, контейнер списков содержит операции *push_front ()* и *pop_front ()*, добавляющие и удаляющие элементы в начале списка:

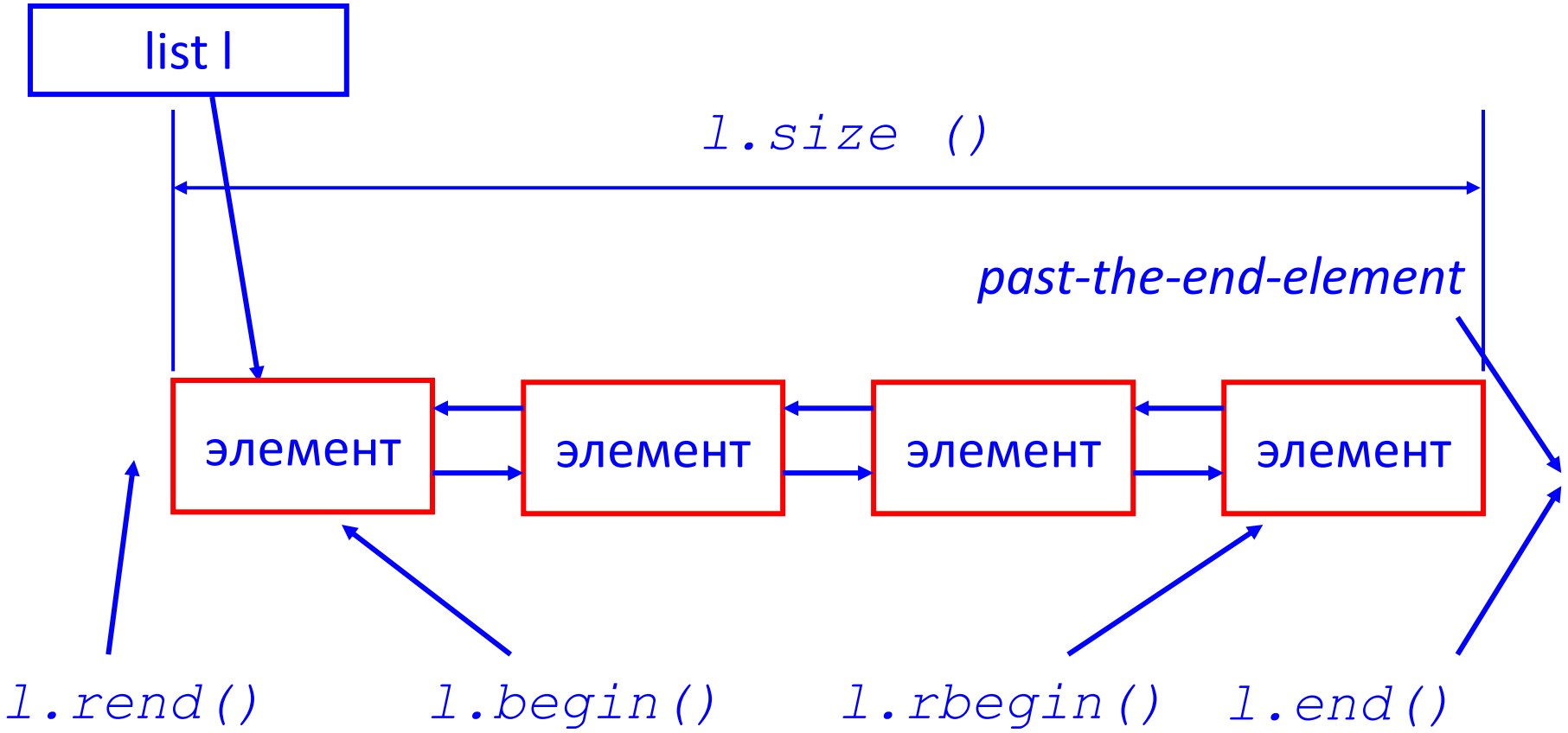
```
void push_front (const T& value) { insert (begin (), value);}
void  pop_front  ()                { erase (begin ()); }
```

- Операция *insert ()* (добавление нового элемента к списку) может потребовать захвата дополнительной памяти

Контейнер списков (list)

- Вставка элементов не влияет на значимость итераторов (указателей) и ссылок на элементы
- Уничтожение элементов влияет на значимость только тех итераторов и ссылок, которые относятся к уничтожаемым элементам
- Для списков введены операции:
  - *remove ()* – уничтожение ненужных элементов списков
  - *splice ()* – перемещение элементов из одного списка в другой с уничтожением перемещённых элементов
  - *unique ()* – замена последовательности одинаковых элементов списка одним элементом
  - *merge ()* – слияние двух списков
  - *reverse ()* – реверсирование списка
  - *sort ()* – сортировка списка

Контейнер списков (list)



Контейнер векторов (vector)

```
#include <vector>
using namespace std;
typedef vector<int> Container;
typedef Container::size_type Cst;
void f (Container& v, int i1, int i2) {
    try {  for (Cst i = 0; i < 10; i++) { v.push_back (i); }    // Элементы: 0, 1, 2, ..., 9.
           v.at (i1) = v.at (i2);
           cout << v.size ();            // Размер контейнера для данной точки
           Container::iterator p = v.begin ();
           p += 2;                  // Для векторов можно, для других – advance (p, 2)
           v.insert (p, 100);    // Элементы: 0, 1, 100, 2, ..., 9.   p теряет значение
           sort (v.begin (), v.end ());                              // Сортировка диапазона
           for (Cst i = 0; i < v.size (); i ++) {cout << v [i]; }
        }
    catch (out_of_range) { /* ... */ }          // реакция на ошибочный индекс
}
int main () { Container v; f (v, 5, 12); }
```

Контейнер списков (list)

```
#include <list>
using namespace std;
typedef list<int> Container;
typedef Container::size_type Cst;
void f (Container& v, int i1, int i2) {
    try {  for (Cst i = 0; i < 10; i++) { v.push_back (i); }   // Элементы: 0, 1, 2, ..., 9.
           // v.at (i1) = v.at (i2);      Требуется перепрограммирование!
           cout << v.size ();            // Размер контейнера для данной точки
           Container::iterator p = v.begin ();
           advance (p, 2);
           v.insert (p, 100);   // Элементы: 0, 1, 100, 2, ..., 9.
           sort (v.begin (), v.end ());                          // Сортировка диапазона
           for (p = v.begin (); p != v.end (); ++ p) cout << * p;
        }
    catch (out_of_range) { /* ... */ }          // реакция на ошибочный индекс
}
int main () { Container v; f (v, 5, 12); }
```

Контейнер “строковый поток”

```
#include <iostream>        // Задача: считать строку слов до символа ‘\n’,
#include <string>          //          поместить отдельные слова строки в вектор,
#include <sstream>         //          затем выдать в стандартный поток
#include <vector>          //          все элементы вектора

int main () {      std::string str, word;
                   getline (std::cin, str);
                   std::vector <std::string> VecWrd;
                   std::istringstream ss (str);              // “строковый поток”
                   while (ss >> word)
                          VecWrd.push_back (word);
                   size_t vsize = VecWrd.size ();
                   for (size_t i = 0; i < vsize; ++ i)
                          std::cout << VecWrd [i] << std::endl;
                   return 0;
                }
```

Контейнер “строковый поток”

```
#include <iostream>          // Задача: инициализировать строку
#include <string>            //          символами-цифрами, поместить полученные
#include <sstream>           //          числа в целочисленные переменные (int),
                             //          увеличить значения на 1, собрать из новых
                             //          значений строку и выдать в стандартный поток
        int main ()  {
                             std::string s = "123  456";
                             std::istringstream InpS (s);              // “строковый поток”
                             int a, b;
                             InpS >> a >> b;
                             std::ostringstream OutS;                  // “строковый поток”
                             OutS << a + 1 << “  " << b + 1;
                             std::cout << OutS.str() << std::endl;   //  на экране: 124  457
                             return 0;
                         }
```

Контейнер “стандартный поток”

```
#include <iostream>
using namespace std;
void f ()   {    /* … */
                 while (! cin.eof ()) {  … gc (); ….} // проверка на конец потока
                 /* … */
                 int a;
                 cin >> a;
                 if (cin.fail ()) // истина, если введено не целое число (неверный формат)
                 {
                     cout << “Invalid format!\n”;
                      return;
                 }
                 cout.width (4); cout << a << “,  ”; cout.width (8); cout << (float) a * a << endl;
                 /* … */
                 cin.clear ();  // сброс ошибочного ввода
            }
```

Достоинства STL-подхода

- Все контейнеры обеспечивают стандартный интерфейс в виде набора операций, один контейнер может использоваться вместо другого, это не влечёт серьёзного изменения текста программы
- Дополнительная общность использования обеспечивается через стандартные итераторы
- Каждый контейнер связан с распределителем памяти, который можно переопределить с тем, чтобы реализовать собственный механизм распределения памяти
- Для каждого контейнера можно определить дополнительные итераторы и интерфейсы, что позволит оптимальным образом настроить его для решения конкретной задачи

Достоинства STL-подхода

- Контейнеры по определению однородны, то есть должны содержать элементы одного типа, но возможно создание разнородных контейнеров как контейнеров указателей на общий базовый класс
- Алгоритмы, входящие в состав STL, предназначены для работы с содержимым контейнеров, все алгоритмы представляют собой шаблонные функции, следовательно, их можно использовать для работы с любым контейнером

Недостатки STL-подхода

- Не являясь производными от некоторого базового класса, контейнеры не имеют фиксированного стандартного представления (это же верно и для итераторов), использование стандартных контейнеров и итераторов не подразумевает никакой явной или неявной проверки типов во время выполнения
- Каждый доступ к итератору приводит к вызову виртуальной функции, затраты по сравнению с вызовом обычной функции могут быть значительными
- Предотвращение выхода за пределы контейнера возлагается на программиста, при этом специальных средств контроля не предлагается