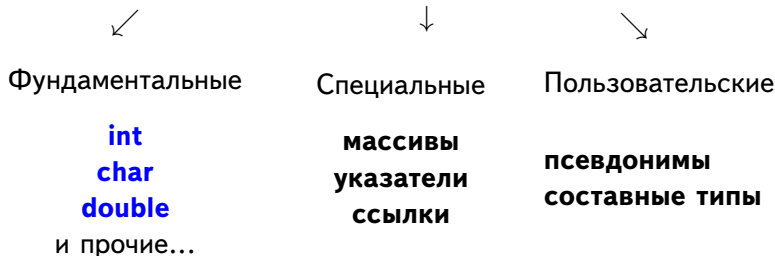


VI

В данной лекции будет продолжено изучение различных типов данных, которые предоставляет или позволяет определить язык C++. Если подойти неформально, любая вычислительная задача решается с помощью выбора набора типов, через переменные которых будут храниться данные, и последовательности преобразований данных, определяемые через функции (как собственные в программе, так и библиотечные). Поскольку предметных областей для вычислительных задач — море, то от выбора типов в первую очередь зависит понятность кода программы. Поэтому, для успешного освоения языка программирования необходимо, как минимум, иметь представление как об встроенных в язык типах, так и об возможностях определения **пользовательских** типов данных.

Все типы в C++ можно разделить на категории следующей диаграммой:

Типы данных



Ещё раз хотелось бы подчеркнуть, что выделение «специальной» группы типов сделано для обращения дополнительного внимания на них. Как демонстрировалось для массивов и указателей, некоторые операции с ними подчиняются отдельным правилам: сложение указателей с целыми числами; передача массивов в функции и т.п. И эти правила операций отличаются от общих для группы «фундаментальных» типов. При этом, «специальные» типы также являются встроенными в язык C++.

Конечно, в C++ ещё остаются функции. Однако, они не являются так называемыми **объектами первого порядка**. Это те сущности языка программирования, которые могут быть использоваться в качестве параметров других функций. Как разбиралось в четвёртой лекции (49 слайд), функции можно передавать как параметры других функций с помощью механизма указателей. Но это не тоже самое, что использовать отдельную функцию как параметр. Поэтому в C++ функции не ассоциируют с типами данных (как правило).

В свою очередь, все возможности для создания пользовательских типов представляются диаграммой:

Пользовательские типы данных



Псевдонимы (aliases)

using
typedef



Составные типы

struct
union
enum
enum class
class

Для начала, рассмотрим последний из **специальных** типов — ссылки. Затем вернёмся к пользовательским типам.

В дополнении к **указателям**, C++ позволяет получать доступ к значениям *объектов* C++ («объект» — в смысле некоторого хранилища в памяти, в котором записано некоторое значение) через механизм, называемый **ссылками** (англ. reference). Как следует из названия, это дополнительный способ добраться до значения некоторого объекта через дополнительные переменные-ссылки.

В C++ есть два вида ссылок. В целях упрощения изложения материала и терминологии, будет различать их как **ссылки на переменные** и **ссылки на временные объекты**. Если с переменными, хочется верить, примеров приводить не надо, то во втором случае можно напомнить: в языке может быть создан временный объект любого типа и для него всегда есть *литерал*, с помощью которого его значение выражается в тексте программы.

Для повторения, вот примеры временных объектов для различных типов:

```
1 4;    // литерал типа int
2 3.25; // литерал типа double
3
4 // Ниже всё, что в фигурных скобках
5 // является литералом составного типа.
6 // В данном случае, этот тип – массив int'ов
7 // на 4 элемента.
8 int arr[] = {3, 4, 5, 6};
9
10 "abcde"; // литерал типа const char*
```

В строках **1, 2, 8, 10** присутствуют *временные объекты* (также употребляется термин «временные значения»)

Возвращаясь к ссылкам, общий вид создания *переменных-ссылок* для обоих случаев следующий:

```
// ссылка на переменную  
Type & ref_name = var;
```

```
// ссылка на временный объект  
Type && ref_name = temp_var;
```

Знаки одного (&) и двух (&&) амперсандов говорят о том, что создаются ссылки каждого вида на тип **Type**. Кроме того, знак присваивания и некоторый объект являются обязательными. Под **var** понимается какая-то переменная соответствующего типа, под **temp_var** — временный объект. Ссылки в C++ не имеют никакого **нулевого значения**, они всегда должны быть связаны с каким-нибудь объектом программы. И, конечно, ссылки *типизированны*.

Для начала, пример с **ссылками на переменные**:

```
1 int i_num = 293;
2 double real = 55.88;
3
4 int &i_ref = i_num;
5 double &r_ref = real;
6 // Вычитаем 13 и сохраняем результат в i_num
7 i_ref -= 13;
8 printf("i_num = %d; i_ref = %d\n",
9        i_num, i_ref);
10 // удавливает значение переменной real
11 r_ref *= 2.0;
12 printf("real = %.3f; r_ref = %.3f\n",
13        real, r_ref);
```

Ссылки создаются в строках **4, 5**. В строках **7, 11** через ссылки меняются значения исходных переменных. Если выполнить этот кусок кода, в консоли значения и переменной, и ссылки на неё будут совпадать.

Для создания нескольких ссылок в одном выражении, нужно указывать знак амперсанда у каждой переменной. Кроме того, ссылка может быть константной: можно получать значение переменной, на которую ссылаемся, но нельзя изменить:

```
1 int i1 = 10, i2 = 12, i3 = 14;
2
3 int &r1 = i1, &r2 = i2;
4 const int &r3 = i3;
5 // r3 *= 3; // Не получится!
6
7 printf("i1 + i2 + i3 = %d\n", r1 + r2 + r3);
```

Плюс пример демонстрирует, что ссылка может участвовать в любом выражении. Будет использовано значение переменной, на которую и происходит ссылка.

По смыслу, сама по себе **переменная-ссылка** аналогична **переменной-указателю**: это некоторое хранилище, в котором сохранён адрес переменной, на которую ссылаемся. Но изменить сохранённый адрес в случае ссылок можно **только присвоением** другой переменной. Более того, операция взятия адреса для переменной-ссылки всегда будет возвращать адрес исходного объекта. Для демонстрации:

```
1 int i4 = 125, i5 = 555;
2 int &ref4 = &i4;
3
4 printf("arrd of i4    = %p\n", &i4);
5 printf("arrd of ref4 = %p\n", &ref4);
6
7 ref4 = i5;
8 printf("arrd of i5    = %p\n", &i5);
9 printf("arrd of ref4 = %p\n", &ref4);
```

Для каждой группы **printf**'ов выводимые на консоль адреса будут совпадать.

Второй вид ссылок: **ссылки на временные объекты**. По сути, всё аналогично **ссылкам на переменные**, только в качестве объектов нужно **всегда использовать** временные значения.

```
1 //double ref; // Не компилируется!  
2 double&& rv_ref = -555.444;  
3 rv_ref += 1.33;  
4 printf("value of rv_ref: %.3f, addr of rv_ref: %p\n",  
5       rv_ref, &rv_ref);  
6  
7 const int &&rv_i_ref = 333;  
8 //rv_i_ref *= 10; // Не получится!  
9 printf("rv_i_ref = %d\n", rv_i_ref);
```

Также можно создавать константные ссылки на временные значения.

И существенное отличие между двумя видами ссылок: константным (неизменяемым) **ссылкам на переменные** можно присвоить временные значения, а константным **ссылкам на временные объекты** — нельзя.

```
1 const int &ref1 = 777; // Всё ок
2
3 int i_val = 101;
4 //const int &&ref2 = i_val; // Не работает
```

Данная особенность неявно упоминалась при обсуждении передачи параметров по константной ссылке в функции. Далее следует резюме по ссылке в C++.

- у ссылок нет **нулевого** значения, ссылка всегда должна быть инициализированна каким-нибудь объектом;
- для получения значения используется сама переменная-ссылка, без дополнительных операторов (в противоположность разыменованию для указателей);
- при взятии адреса ссылки возвращается адрес объекта, на который она ссылается;
- ссылками уже пользовались при передаче параметров в функции и рассмотрении *диапазонного* цикла **for**;
- **никогда** не возвращайте из **функций** ссылки на локальные переменные/временные значения. Ещё раз — просто **никогда**;
- ссылки играют важную роль при реализации объектно-ориентированного функционала в C++, так что познакомиться с ними заранее не бесполезно.

Ссылки в C++: пропустить этот слайд

Если есть желающие посмотреть на формализацию видов ссылок: в C++ объекты (или даже обобщение — *выражения*) делятся на различные категории. На данный момент есть пять категорий, основными являются, так называемые, **lvalue** и **rvalue**. В их определении есть нюансы, но на практике можно следовать упрощённому правилу:

- **lvalue** - это те объекты/выражения, которые могут быть **левым операндом** оператора присваивания и имеют адрес. Так вот, *ссылки на lvalue* выше обозначены как **ссылки на переменные**;
- **rvalue** - значения, которые не имеют адреса (временные значения) и используются либо в качестве **правого операнда** оператора присваивания, либо в качестве *литералов типов*. *Ссылки на rvalue* это **ссылки на временные объекты**.

Основы категорий можно подчерпнуть тут:

https://en.cppreference.com/w/cpp/language/value_category

Переходим к **пользовательским** типам (англ. *user-defined types*). Поскольку немного слайдов было посвящено ссылкам, вновь вернёмся к диаграмме способов определения собственных типов:

Пользовательские типы данных



Псевдонимы (aliases)

using
typedef



Составные типы

struct
union
enum
enum class
class

Итак, пользовательские типы определяются через два механизма C++:

- 1 Задание псевдонимов: возможность ввести новое название для любого известного программе типа. Под «известным программе» следует понимать любой встроенный тип языка и любой тип из уже подключённых в программу библиотек.
- 2 Определение собственных *составных* типов. Как следует из названия, данные типы объединяют какие-то сущности (и операции над ними) языка программирования. Что за сущности и как объединяют — вскоре разберёмся.

Псевдонимы означают именно то, что содержится в смысловом определении слова «псевдоним»: определяется новое название для существующего типа, при этом никаких дополнительных операций или свойств у типа не появляется. Для их создания могут быть использованы два ключевых слова — **using** или **typedef**. Первое из них появилось со стандарта C++11 (конец 2011 года) и на данный момент является предпочтительным способом для определения псевдонимов, второе — пришло из языка C, долгое время использовалось и в C++, и теперь уже осталось для совместимости с ранее написанным кодом.

В актуальный C++ добавление псевдонимов осуществляется с помощью ключевого слова **using**. Общий синтаксис следующий:

```
using <псевдоним> = <тип_данных>;
```

Основными причинами использования псевдонимов являются:

- 1 упрощение длинного, сложного или «некрасивого»* названия типа;
- 2 использование терминологии из предметной области задачи.

* Про «некрасивые» названия саркастическая шутка (или жалоба, как посмотреть): в программировании есть две сложные проблемы. И одна из них — как выбирать имена переменных, типов или функций.

Пользовательские типы. Псевдонимы I

Рассмотрим тип **unsigned long long**. Вот есть необходимость его использовать. Набирать его для переменных, параметров функций, возвращаемых значений, массивов — достаточно быстро утомляет. Тут и может помочь объявление псевдонима:

```
1 using ull      = unsigned long long;
2 using ull_ptr  = unsigned long long*;
3
4 ull_int      val1 = 5555555555;
5 ull_int_ptr ptr1 = &val1;
6
7 printf("ptr pointed to %Lu\n", *ptr1);
```

- в 1-ой и 2-ой строках объявили два псевдонима: для типа **unsigned long long** (1-ая строка) и для указателя на **unsigned long long** (2-ая);

Пользовательские типы. Псевдонимы II

- в 4-ой и 5-ой строках объявили соответствующие переменные и инициализировали их. Обратите внимание, для указателя не пришлось ставить знак амперсанда;
- в 7-ой строке использовали указатель как обычно: разыменовали и показали на консоли значение, на которое ссылается указатель в этом примере.

Полная взаимозаменяемость

Переменные, создаваемые с помощью псевдонимов, полностью взаимозаменяемы с переменными исходных типов. Для примера, если реализуем функцию один из параметров которого будет иметь переопределённый выше тип **ull**, то любая переменная типа **unsigned long long** может выступать в качестве аргумента для этого параметра.

Пользовательские типы. Псевдонимы

К двум предыдущим псевдонимам вокруг типа **unsigned long long** добавим ещё один: псевдоним для типа *статический массив на 10 беззнаковых целых*.

```
1 using tenth_ulls = unsigned long long [10];
2
3 tenth_ulls counters = {0};
4 // unsigned long long counters[10] = {0};
5
6 counters[2] = 88;
7 printf("Third elem: %Lu\n", counters[2]);
```

- в 1-ой строке задали псевдоним;
- в 3-ей создали переменную **counters**, тип которой и есть — статический массив на 10 беззнаковых целых; 4-ая строка демонстрирует объявление такой же переменной без псевдонима;
- 6-ая, 7-ая строки — работаем с переменной как со статическим массивом.

Пользовательские типы. Псевдонимы I

Ещё более удобным псевдоним может быть для многомерных статических массивов. Например, нужна преобразовывать каким-нибудь образом матрицы размера **4x4**. Чтобы не таскать за собой константу-размер, воспользуемся псевдонимом:

```
1 const size_t FOUR = 4;
2 using matrix4x4 = double[FOUR][FOUR];
3
4 void fill_matrix_by_rand(matrix4x4& matr,
5                          double a, double b)
6 {
7     for (size_t i = 0; i < FOUR; i++) {
8         for (size_t j = 0; j < FOUR; j++) {
9             matr[i][j] = rand_a_b(a, b);
10        }
11    }
12 }
```


Пользовательские типы. Псевдонимы II

```
13  
14 matrix4x4 matr1;  
15 fillmatrix_by_rand(matr1, -5, 5);  
16 printf("Elem[%d][%d] = %.4f", 2, 3, matr1[2][3]);
```

Задали константу для размера, задали псевдоним (**строка 3**) для двумерного массива с числом строк и столбцов равным четырём, определили функцию для заполнения произвольного массива случайными числами в заданном диапазоне. Ни для параметра функции, ни при объявлении переменной нужного типа не была засвечена константа **FOUR**.

Для сравнения, без псевдонима объявление функции выглядело бы так:

```
1 void fill_matrix_by_rand(  
2     double (&matr)[FOUR][FOUR],  
3     double a, double b);
```

Псевдоним позволил уменьшить синтаксический шум.

Использование псевдонимов полезно для осуществления предметно-ориентированной разработки: когда по названиям типов переменных или по объявлениям функций можно однозначно сказать, какой смысл несёт значение переменной/возвращаемое значение. Предположим, программа проверяет набор устройств и с каждого периодически надо получать значение тока и напряжения. Очевидно, что для идентификации устройств подойдёт целое положительное значение, для значений силы тока/напряжения — числа с плавающей точкой.

Пользовательские типы. Псевдонимы

Для упрощения чтения такой условной программы можно воспользоваться псевдонимами:

```
1 using amperage_t = double; // Амперы
2 using voltage_t = double; // Вольты
3 using device_id_t = size_t; // Идентификатор
4
5 amperage_t current_now(device_id_t id);
6 voltage_t voltage_now(device_id_t id);
```

В примере по объявлениям функций уже понятно, какие значения по смыслу они вернут. Опять же, без псевдонимов аналогичная функциональность могла иметь такой вид:

```
1 double current_now(size_t device_id);
2 double voltage_now(size_t device_id);
```

, где о том, что за числа нужно передавать в функцию можно догадаться только по названию параметров; а в каких единицах (вольты, киловольты и прочие) функции возвращают значения — нужно читать документацию.

Пользовательские типы. Псевдонимы

Предметно-ориентированность: тригонометрические функции, принимающие значения в градусах, а не радианах.

```
1 using angle_t = double;
2
3 double sin_at(angle_t angle)
4 { return sin(angle * M_PI / 180); }
5
6 double cos_at(angle_t angle)
7 { return cos(angle * M_PI / 180); }
8
9 double tg(angle_t angle)
10 { return tan(angle * M_PI / 180); }
11
12 printf("tg(45 degree) = %.3f\n", tg(45.0));
```

Опять же, уже по сигнатуре функции становится понятнее, как будет интерпретировать переданное в неё значение.

Для совместимости с предыдущими версиями стандарта C++ псевдонимы могут быть определены с помощью ключевого слова **typedef**. Кому интересно, в языке C это единственный способ их определения. Синтаксис:

```
typedef <тип_данных> <псевдоним1>  
           [, <пс2>, <пс3>, ...];
```

Определение общее, далее продемонстрируем на примерах.

Оператор **typedef**

```
1 typedef unsigned long long ull, *ull_ptr;  
2 typedef double matrix4x4[FOUR][FOUR];
```

В первой строке аналогии 21 слайда, во второй — определение псевдонима для двумерного массива типа **double** размера 4 на 4.

Полезный совет

При написании программ не используйте **typedef**, если компилятор поддерживает стандарт C++11 и новее: синтаксис **using** всё-таки очевиднее при просмотре программы (разделены псевдоним и сам тип. Опять же, сравните пример текущего слайда против 21-го и 24-го).

27 слайдов спустя после упоминания
Добираемся до составных типов

На 17 слайде были перечислены 5 ключевых слов, предоставляемых языком C++ для создания составных типов. Из них,

- ❶ **Структуры `struct` и классы `class`** служат для определения новых типов, используя уже известные в качестве «строительных кирпичей». Буквально, с их помощью определяется «прототип» составного хранилища, в которое может входить произвольное количество элементов. Элементом может быть любой известный к моменту определения тип. Технически, создаваемые этими ключевыми словами типы являются идентичными (с точностью до малозначащих в данный момент нюансов). Но есть историческое смысловое различие между **`struct`** и **`class`**. Так, классы являются главными составляющими для реализации

объектно-ориентированного подхода в C++. Структуры будут рассмотрены далее, знакомство с классами отложим на некоторое время.

- 2 **Объединения** `union` позволяют хранить значения различных типов в одном хранилище. При этом, в один момент времени переменная-объединения может хранить только единственное значение из набора типов, задаваемых при определении типа.
- 3 Открытые `enum` и закрытые `enum class` **перечисления** служат для объединения набора целочисленных именованных констант под одним типом.

Начнём со структур. Само ключевое слово **struct** также пришло в C++ из языка C. Суть структур заключается в объединении набора значений, связанных по смыслу, в отдельном типе. Объединяемые значения могут быть произвольных типов, никак ограничений нет. Переменные структурного типа являются составным хранилищем, которое состоит из *подхранилищ* под каждое значение. Далее мы рассмотрим структуры только в этом качестве: как проектирование составных хранилищ. Назовём это дело **структурами в смысле языка C**.

В хранении нескольких значений структуры похожи на статические массивы. Различие в том, что структуры могут хранить значения разных типов. И тут уже не построишь доступ к конкретному элементу за счёт байтовых сдвигов в оперативной памяти. Поэтому, каждое *подхранилище* структуры должно быть проименовано. Используя идентификатор элемента структуры, компилятор осуществляет запись/чтение соответствующих значений.

Формальное определение структуры:

Структура (в смысле языка C) - это составной тип данных, объединяющий множество *проименованных* типизированных элементов. **Элементы структуры** называют **её полями**. Тип поля может быть любой, известный к моменту определения структуры.

Общий синтаксис определения структурного типа:

```
struct [<название_нового_типа>]
{
    <тип_1> <поле_1> [, <поле_2>, ...];
    <тип_2> <поле_1> [, <поле_2>, ...];
    ...
    <тип_n> <поле_1> [, <поле_2>, ...];
} [переменная1, переменная2, ...];
```

Составные типы. Структуры

Для демонстрации практических особенностей определения и использования структур в первую очередь нужен какой-нибудь математический объект, в котором объединение разных значений выглядело бы естественно.

Обратимся к школьной физике и такому понятию как *материальная точка*. Это некоторый объект, обладающий массой и координатами в трехмерном пространстве.

Материальная точка появлялась в задачах, в которых формой и размером физического тела можно было пренебречь.

Уверен, вы помните: «тело брошенной под углом к горизонту ... сопротивлением среды пренебречь» и подобные задачки.

С точки зрения языка программирования, материальная точка представляет собой составной объект, состоящий из трёх значений для координат и одного значения для веса. Для упрощения (а также ради демонстрации комбинации различных типов) сделаем координаты дискретными: выразим их только целыми числами.

Составные типы. Структуры

И первый практический пример определения структуры под *материальную точку*:

```
1 struct MaterialPoint
2 {
3     int x, y, z;
4     double weight;
5 };
```

- В первой строке определяется название пользовательского типа — **MaterialPoint**, которое следует за ключевым словом **struct**.
- В третьей строке объявляем три поля под декартовы координаты. Каждое поле имеет тип **int**. Перечисление полей через запятую по смыслу аналогично объявлению нескольких переменных в одной инструкции.
- В четвёртой строке определяем поле для хранения веса материальной точки.
- Точка с запятой в пятой строке — обязательна.

Составные типы. Структуры

Определение структуры на предыдущем слайде создало новый тип в рамках условной программы. При этом, само по себе определение не добавило ни одного объекта в программу. Это, если хотите, некоторая техническая спецификация составного типа, которая декларирует его (типа) название и составляющие (то есть — поля). Кроме того, задание полей абсолютно произвольно. Нет никаких требований на то, чтобы поля одного типа перечислялись обязательно через запятую. Например,

```
1 struct MaterialPoint
2 {
3     int x;
4     int y;
5     int z;
6     double weight;
7 };
```

является полным аналогом рассматриваемой структуры.

Раз есть новый тип, объявим его переменные. Продолжая пример с 37-го слайда, создание трёх переменных типа **MaterialPoint** делается так:

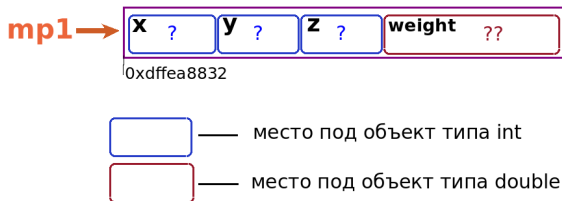
```
7 MaterialPoint mp1, mp2, mp3;
```

Вот уже здесь, при объявлении переменных происходит создание объектов (в смысле C++): выделение хранилища (в памяти) и инициализация.

- **Выделение хранилища** под структурный объект: для каждой переменной выделяется хранилище, которое представляет собой **непрерывный** блок в памяти, состоящий из «подблоков» под каждое поле.
- **Инициализация:** в приведённом виде, к каждому полю конкретной переменной применяется **инициализация по умолчанию** (лекция 4, 26 слайд). Причём, применение идёт последовательно, от первого поля к четвёртому.

На примере переменной **mp1** картина в памяти будет следующей:

Схематичное представление переменной структурного типа



Общая рамка говорит о том, что это непрерывный блок памяти. Внутри подблоки под каждое поле располагаются **в порядке объявления полей** в структурном типе. Знаки вопросов подходят к примеру предыдущего слайда, где переменным не предоставлено никаких начальных значений.

Поскольку переменные структурного типа, как и статические массивы, являются составными объектами, для задания начальных значений применяется *инициализация составных типов* (list initialization). Её суть заключалась в следующем: в паре фигурных скобок через запятую перечисляются значения, которые записываются в элементы объекта. Если вспоминать про инициализацию, то это пример — *direct initialization*. Значения подставляются последовательно: в массиве с первого элемента и далее по порядку, в структурах — с первого объявленного поля и далее по порядку. Если указанных в фигурных скобках значений меньше, чем элементов составного объекта, то к составляющим, которым значений не хватило, применяется *инициализация значением по умолчанию* (за подробностями терминов — в четвёртую лекцию).

Сформулированное выше выражается в коде следующим образом:

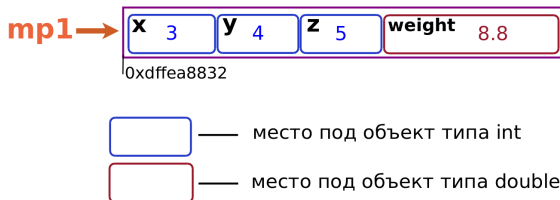
```
1 MaterialPoint mp1 {3, 4, 5, 8.8};  
2 MaterialPoint mp2 = {5, 8};
```

- Полям **x**, **y**, **z**, **weight** переменной **mp1** последовательно присвоены значения **3**, **4**, **5** и **8.8**. Строго в порядке их (полей) объявления.
- В переменной **mp2** поля **x** и **y** получили значения **3** и **4**, а поля **z** и **weight** — **0** и **0.0**.
- Стоит упомянуть, что значением структурной переменной является весь совокупный набор значений её полей.

Обе формы *list initialization* срабатывают одинаково.

При задании начальных значений, представление в памяти переменной структурного типа будет чуть иным:

Схематичное представление переменной структурного типа



Как видно, принципиально ничего не поменялось, кроме уверенности в том, что за набор начальных значений хранится в структурной переменной.

Есть способ предотвратить создание структурных переменных с неопределёнными значениями полей — задать **значения по умолчанию** для полей.

```
1 struct Vector2D
2 {
3     int x = 1;
4     int y = 1;
5 };
6
7 Vector2D v1, v2 = {4};
8 printf("\t v1 --- v2\n");
9 printf("x: \t %d --- %d\n", v1.x, v2.x);
10 printf("y: \t %d --- %d\n", v1.y, v2.y);
```

Полям переменной **v1** будут присвоены единицы, полю **x** переменной **v2** — значение равное четырём.

Составные типы. Структуры

Перейдём к общим операциям, которые по умолчанию работают для различных структурных типов. В первую очередь, это получение значения конкретного поля у структурной переменной. Делается это с помощью оператора, представленного в C++ символом точки: «.» (в литературе известен как оператор-точка).

```
1 MaterialPoint mp1 {3, 4, 5, 8.8};  
2 MaterialPoint mp2 = {5, 8};  
3  
4 printf("Weight of mp1 is %.2f\n", mp1.weight);  
5 mp2.z = 11;  
6 printf("z-coord of mp2 is %d\n", mp2.z);
```

Как показывает пример, оператор «.» применяется к идентификатору переменной и ожидает название нужного поля. После этого с выражением «**var.field_name**» работаем как с объектом, представленным типом поля (читаем/записываем значение).

В отличие от статических массивов (как примера составного типа), структурным типом предоставляется операция присваивания. В этом случае все значения полей из правого операнда оператора «=» копируются в соответствующие поля левого операнда.

```
1 MaterialPoint mp3 {1, 1, 1, 0.5};  
2 MaterialPoint mp4 {7, 1, 4, 1.5};  
3  
4 printf("Weight of mp3 is %.2f\n", mp3.weight);  
5 mp3 = mp4;  
6 printf("Weight of mp3 is %.2f\n", mp3.weight);
```

После копирования в 5-ой строке, в поле **weight** переменной **mp3** будет записано значение **1.5**. Соответствующее подтверждение выведется на консоль при запуске примера.

Все поля рассмотренных ранее типов копируются очевидным образом, за исключением **статических массивов**. В этом случае будет выполнено **поэлементное** копирование значений одного массива в другой! Просто для напоминания, для массивов фиксированного размера не предоставляется оператор присвоения. Действительно, попытка скопировать массивы, пусть и одинакового размера, вызовет ошибку компиляции:

```
1 char st1[50] {"some smart expression"};
2 char st2[50] {"other sentence"};
3
4 printf("<<%s>>\n<<%s>>\n\n", st1, st2);
5 st1 = st2; // Тут будет ошибка копирования!
6 printf("<<%s>>\n<<%s>>\n\n", st1, st2);
```

Составные типы. Структуры

А теперь сделаем обёртку строки фиксированного размера в структурном типе:

```
1 struct StrWrapper
2 {
3     char str[50];
4 };
5
6 StrWrapper st1{"some smart expression"};
7 StrWrapper st2{"other sentence"};
8
9 printf("<<%s>>\n<<%s>>\n\n", st1.str, st2.str);
10 st1 = st2; // It works!
11 printf("<<%s>>\n<<%s>>\n\n", st1.str, st2.str);
```

И копирование работает без определения каких-либо дополнительных функций.

Составные типы. Структуры

Данный приём работает для статических массивов любых типов:

```
1 const size_t SZ = 20;
2 struct DemoType
3 {
4     char indicator;
5     int arr[SZ];
6 };
7
8 DemoType var1 {'e', {2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}};
9 DemoType var2 {'U', {-1, -2, -3, -4, -5}};
10 for (size_t i = 0; i < SZ; i++)
11 { printf("%d ", var2.arr[i]); }
12 printf("\n");
13
14 var2 = var1;
15 for (size_t i = 0; i < SZ; i++)
16 { printf("%d ", var2.arr[i]); }
```

На этом операции по умолчанию закончились. Резюмируя, их всего две — получение доступа к значению поля и присвоение. Для произвольного структурного типа C++ по умолчанию не определяет никаких операторов сравнения:

```
1 MaterialPoint mp3 {1, 1, 1, 0.5};  
2 MaterialPoint mp4 {7, 1, 4, 1.5};  
3  
4 // mp3 < mp4; // Не компилируется  
5 // mp3 == mp4; // Не компилируется  
6 // mp3 >= mp4; // Не компилируется
```

Это практично: поскольку смысл вводимого в программу структурного типа компилятор никак узнать не может, какие-либо предположения об отношении между значениями этого типа априори нежелательны.

Составные типы. Структуры

Поскольку операция присваивания (фактически — копирование) работает для структурных типов по умолчанию, эти типы могут использоваться как в качестве параметров функций, так и в качестве возвращаемого значения. Тут работают все правила, аналогичные *фундаментальным типам*: параметр структурного типа может передаваться как **по значению** (и при передаче аргумента происходит копирование), так и **по ссылке** (исключаем копирование). Для примера, проверка материальных точек на равенство:

```
1 bool is_equal(const MaterialPoint& p1,  
2               const MaterialPoint& p2)  
3 {  
4     return (p1.x      == p2.x) &&  
5             (p1.y      == p2.y) &&  
6             (p1.z      == p2.z) &&  
7             (p1.weight == p2.weight);  
8 }
```

Составные типы. Структуры

Функция **is_equal** принимает два параметра типа **MaterialPoint**, которые передаются по константной ссылке. Для упрощения проигнорированны особенности сравнения чисел с плавающей точкой. Использование тривиально:

```
1 MaterialPoint mp5 {1, 1, 1, 0.5};
2 MaterialPoint mp6 {7, 1, 4, 1.5};
3 MaterialPoint mp7 {7, 1, 4, 1.5};
4
5 if (is_equal(mp5, mp6)) {
6     printf("mp5 and mp6 has the same values for all ←
7         fields\n");
8 }
9 if (is_equal(mp6, mp7)) {
10    printf("mp6 and mp7 has the same values for all ←
11        fields\n");
12 }
```

Первый вызов функции **is_equal** вернёт **false**, соответственно ничего не напечатается в консоли. Второй же, вероятно, вернёт **true** и напечатает соответствующую строку.

Возвращаемым типом структура тоже может быть:

```
1 MaterialPoint zero_point()  
2 {  
3     return {0, 0, 0, 0.0};  
4 }  
5  
6  
7 const MaterialPoint zero = zero_point();  
8 printf("zero.x = %d\n", zero.x);
```

Причём использование структурного типа является второй возможностью (после передачи параметров по ссылке) для возврата из функции более одного значения. Константы структурного типа используются без каких-либо скрытых особенностей.

Составные типы. Структуры

Также для составных типов применим весь механизм указателей C++. Можно объявить указатель на структурный тип и добраться до значения структуры через операцию разыменования:

```
1 MaterialPoint point = {1, 2, 1, 2.1};  
2 MaterialPoint *ptr_to_point = &point;  
3  
4 (*ptr_to_point).z = 8;  
5 printf("{x = %d, y = %d, z = %d}\n",  
6       (*ptr_to_point).x, (*ptr_to_point).y,  
7       (*ptr_to_point).z);
```

Каждое разыменование обёрнуто в скобки, потому что приоритет оператора-точки выше, чем у оператора-разыменования и он пытается выполниться первым.

А у типа **указатель на MaterialPoint** никаких полей не существует. Таблица приоритетов операторов:

github.com/posgen/OmsuMaterials/wiki/Operators-priority

Составные типы. Структуры

Поскольку ставить скобки вокруг разыменования показалось утомительным ещё создателям языка C, то в него добавили оператор «->» (а затем оператор без изменений перешёл и в C++). В литературе встречается под названием *оператор-стрелка* (сложно предположить почему). Это оператор осуществляет два действия: разыменовывает указатель и обращается к конкретному полю объекта, на который ссылается указатель. Предыдущий пример преобразуется в:

```
1 MaterialPoint point = {1, 2, 1, 2.1};  
2 MaterialPoint *ptr_to_point = &point;  
3  
4 ptr_to_point->z = 8;  
5 printf("{x = %d, y = %d, z = %d}\n",  
6     ptr_to_point->x, ptr_to_point->y,  
7     ptr_to_point->z);
```

Ничего не поменялось, а синтаксического шума меньше.

Составные типы. Структуры

С помощью указателей осуществляется работа с динамическими объектами структурных типов. Для воспоминаний, динамический объект — это объект конкретного типа, временем жизни которого управляем вручную с помощью операторов **new/delete**.

```
1 MaterialPoint *dyn_point =  
2     new MaterialPoint{1, 0, 1, 2.5};  
3  
4 printf("{x = %d, y = %d, z = %d}\n",  
5     dyn_point->x, dyn_point->y, dyn_point->z);  
6  
7 dyn_point->y = -5;  
8  
9 printf("{x = %d, y = %d, z = %d}\n",  
10    dyn_point->x, dyn_point->y, dyn_point->z);  
11  
12 delete dyn_point;
```

Создали динамический объект, поработали с ним через указатели, вернули память в ОС.

И ещё несколько технических особенностей определения структурного типа — без подробных пояснений.

- ❶ После определения структурного типа можно сразу создавать его переменные в одном выражении:

```
1 struct Course
2 {
3     size_t days;
4     size_t lessons;
5     char name[100];
6 } prog1{90, 20, "C++ language"};
7
8 printf("course name is %s\n", prog1.name);
```

- ② Структурный тип может быть объявлен без названия: случай так называемых **анонимных структур**.

```
1 struct
2 {
3     size_t attempts;
4     double score;
5 } game_one{4.5, 10};
6
7 printf("%zu --- %.3f\n", game_one.attempts,
8        game_one.score);
```

- 3 Определение структурного типа может быть помещено в любой блок кода: в том числе, в функции и другие определения структур.

```
1 int just_show(int number)
2 {
3     struct LocalStruct
4     {
5         int f1;
6         int f2;
7     };
8
9     LocalStruct ls {10, 5};
10
11     return number * ls.f1 - ls.f2;
12 }
```

- ❹ Если анонимная структура вложена в определение другой структуры, то её поля становятся доступны через переменные внешнего структурного типа:

```
1 struct Outer
2 {
3     int attempts;
4
5     struct {
6         int field1;
7         double field2;
8     }
9 };
10
11 Outer test = {10};
12 test.field1 = 8;
13 printf("%d, %.2f\n", test.field1,
14         test.field2);
```

- 5 И ещё случай вложенных структур: если вложенная структура не является анонимной, то этот тип может получен с помощью оператора разрешения области видимости «::»:

```
1 struct Outer
2 {
3     struct Inner {
4         int x;
5         int y;
6     };
7
8     double field;
9 };
10
11 Outer::Inner obj = {4, -7};
12 printf("%d, %d\n", obj.x, obj.y);
```

- ⑥ Поле структуры может являться **указатель на собственный тип**:

```
1 struct ListNode
2 {
3     double vip_data = 0.0;
4     ListNode *next = nullptr;
5 };
6
7 ListNode node;
8 printf("node.next == nullptr %d\n",
9       node == nullptr);
```

Здесь суть в том, что для создания указателя (или ссылок) на какой-нибудь тип, языку C++ достаточно знать название этого типа, даже если его определение было отложено. С отложенным определением для структурных типов познакомимся когда-нибудь в другой раз.

Резюме по структурам в смысле языка С:

- структуры полезны, когда есть данные, которые описывают одну логическую сущность, но сами по себе могут меняться независимо;
- полями могут быть любые известные к моменту объявления структуры типы данных;
- для задания начальных значений применяется *инициализация составных типов*;
- полям можно задавать значения по умолчанию;
- по умолчанию отсутствуют операторы сравнения;
- дополнительные возможности при использовании статических массивов в качестве полей.

Слайдов уже многовато, **объединения** и **перечисления** будут рассмотрены в следующей лекции.