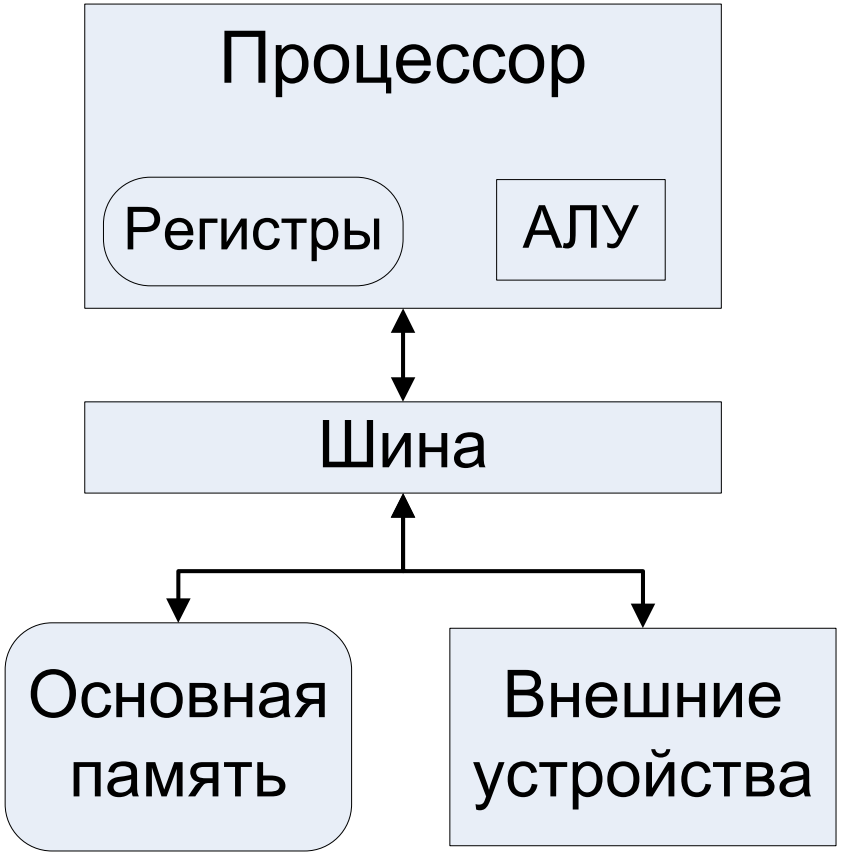
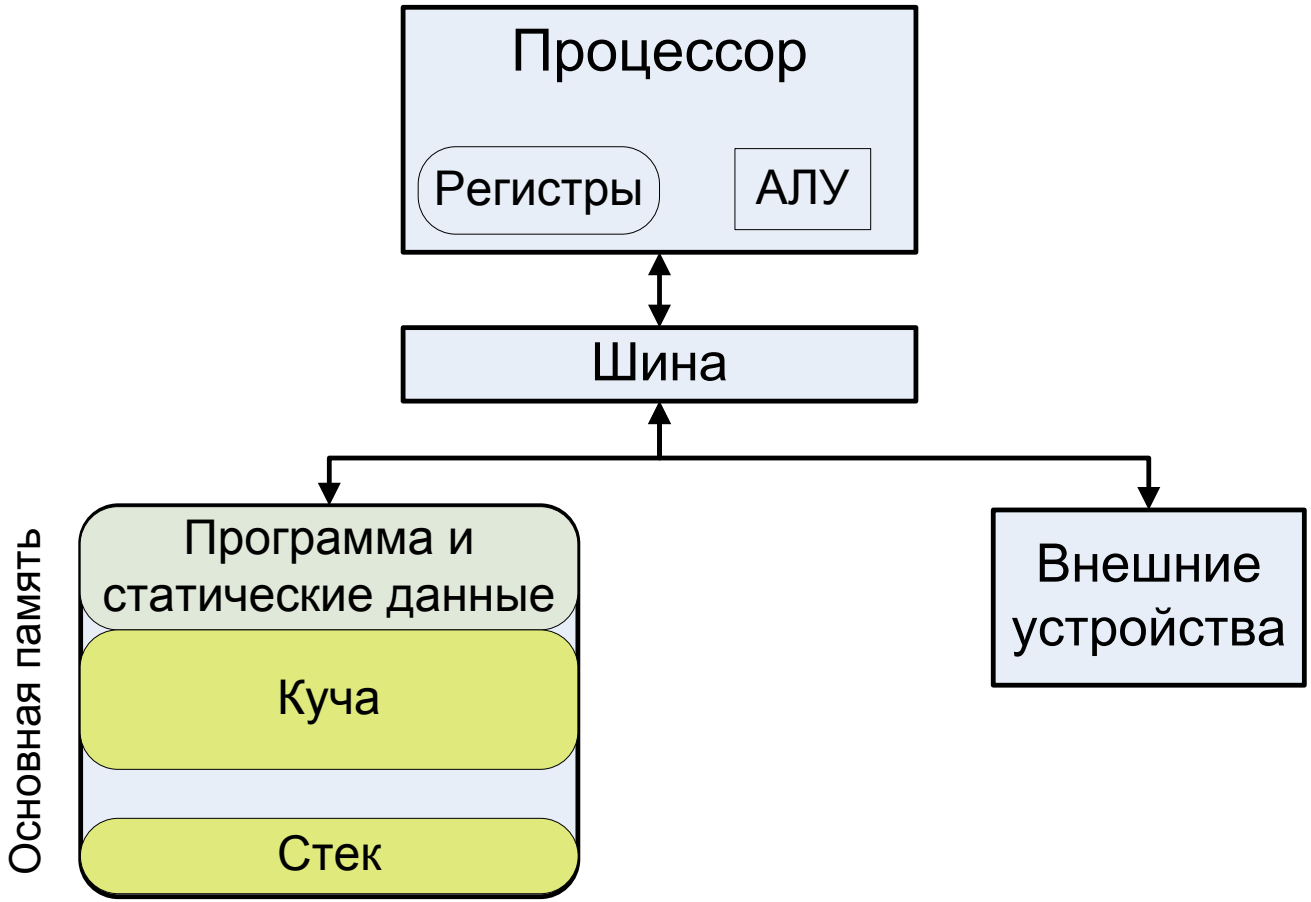
Курс «Алгоритмы и алгоритмические языки»
1 семестр 2014/2015

Лекции 5-6

Схема простейшего компьютера



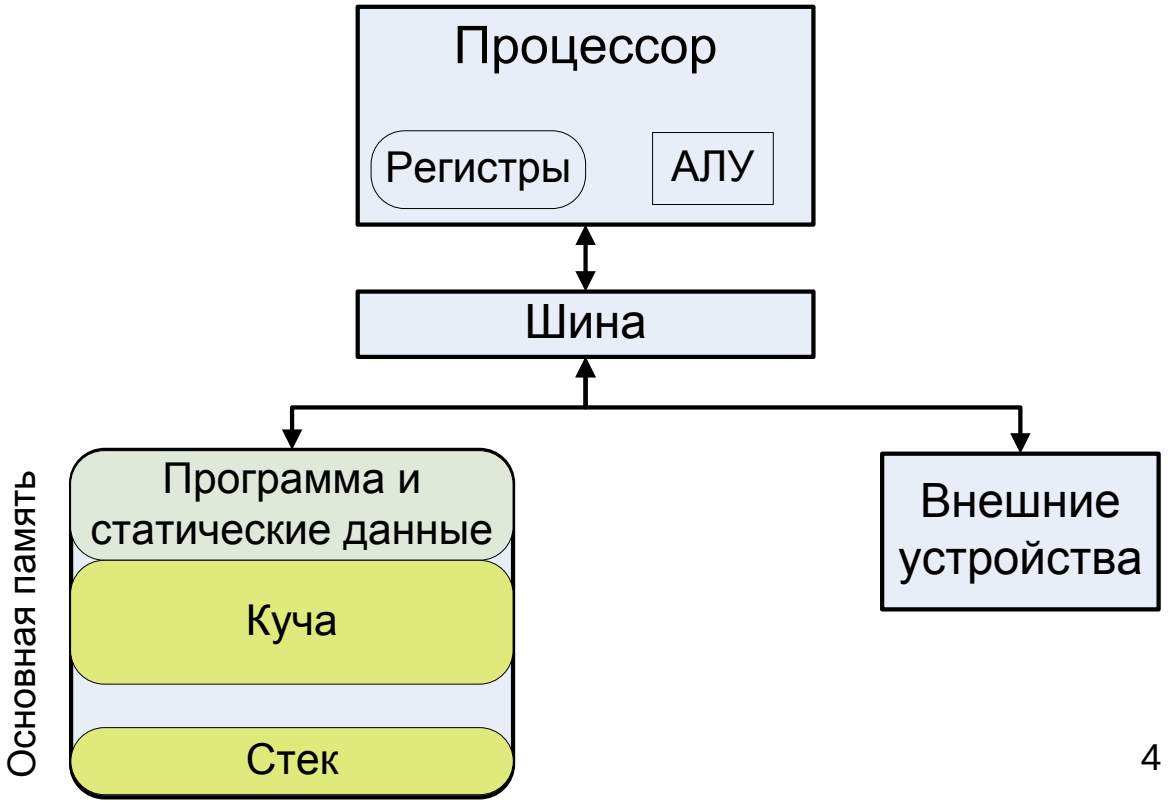
Си-машина


Процессор
Регистры
АЛУ
Шина
Основная память
Программа и статические данные
Куча
Стек
Внешние устройства

Си-машина

Классы памяти

- Регистровые переменные
- Автоматические переменные
- Статические переменные
- Глобальные переменные



Типы данных

- Базовые типы данных: **`char`** (*символьный*), **`int`** (*целый*), **`float`** (*с плавающей точкой*), **`double`** (*двойной точности*), **`_Complex`** (C99, *комплексный*)
- Тип **`void`** (*без значения*)

- Модификаторы базовых типов: **`signed`**, **`unsigned`**, **`long`**, **`short`**, **`long long`** (C99)
  - к типу **`int`** применимы все модификаторы
  - к типу **`char`** – только **`signed`** и **`unsigned`**
  - к типу **`double`** – только **`long`** (C99)

Типы данных

- Представление целых чисел: позиционная двоичная система
  - Байты в представлении числа идут подряд
  - Порядок байт не гарантируется, то есть зависит от аппаратуры (big/little endian)
  - Порядок бит в байте также не гарантируется (и его может быть невозможно узнать)
  - Отрицательные числа *часто* представляются в дополнительном коде (*n* бит):

    - самый значащий бит (*n*-1) является знаковым

    - биты от 0 до *n*-2 – значения

    - положительные значения – как обычно

    - отрицательные значения: $2^n - |x|$

Типы данных

- **`sizeof`** – размер типа (любого объекта типа)
  - **`int x -> sizeof(x) == sizeof(int)`**
  - Файл **`limits.h`** задает минимальные и максимальные значения целых типов
  - **`sizeof(char) == 1`**
    `∧`
    `sizeof(short)` $\geq$ **`2`**
    `∧`
    `sizeof(int)` $\geq$ **`2`**
    `∧`
    `sizeof(long)` $\geq$ **`4`**
    `∧`
    `sizeof(long long)` $\geq$ **`8`**
  - Файл **`inttypes.h`** задает знаковые и беззнаковые целые типы фиксированных размеров (8, 16, 32, 64 бита)

Типы данных

- Тип **_Bool** (C99, значения 0/1, целый беззнаковый)
  - Необходимо включить **stdbool.h** для объявлений **bool**, **true**, **false**
- Тип **_Complex** (C99, **float/double/long double**)
  - Необходимо включить **complex.h** для объявлений **complex**, **I** и т.п.
  - Тип **_Imaginary** (C99) является необязательным

Переменные

- Переменная = тип + имя + ***значение***

  Каждая переменная является *объектом* программы
- **`Ключевые слова`** (C89 – 32, C99 – C89 + 5) не могут быть именами переменных
- Объявление переменной:

  тип список_переменных

  Можно задать класс памяти и начальное значение переменной

Область действия переменной

- Переменная может быть объявлена:
  - (1) внутри функции или блока (локальная);
  - (2) в объявлении функции (параметр функции);
  - (3) вне всех функций (глобальная).
- Область действия (видимости)
  - локальной переменной – блок, в котором она объявлена (C99 – начиная со строки объявления)
  - глобальной переменной – программный файл, начиная со строки объявления
- В одной области действия нельзя объявлять более одной переменной с одним и тем же именем

Область действия переменной и классы памяти

```
#include <stdio.h>
int count;                      /* глобальная переменная */
void func (void)
{
  int count;                    /* автоматическая переменная */
  count = count - 2;
}
static int mult = 0;            /* статическая переменная */
int sum (int x, int y)
{
  count++;
  return (x + y) * (++mult);
}
int main (void)
{
  register int s = 0;           /* регистровая переменная */
  count = 0;
  s += sum (5, 7);
  s += sum (9, 4);
  func ();
  printf ("Сумма равна %d, вызвали функцию %d раз\n", s, count);
  return 0;
}
```

Инициализация переменной

- При объявлении переменной:

```
int x = 42;
```

  - автоматические переменные инициализируются каждый раз при входе в соответствующий блок;

    если нет инициализации, значение соответствующей переменной не определено!
  - глобальные и статические инициализируются только

    один раз в начале работы программы;

    если нет инициализации, они обнуляются компилятором
  - внешние переменные инициализируются только в том файле, в котором они определяются
  - при инициализации переменной типа с квалификатором **`const`** она является константой и не может изменять свое значение

Литералы

- Литералы задают константу (фиксированное значение)
  - символьные константы **`'c'`**, **`L'%'`**, **`'\0x4f'`**, **`'\040'`**
    тип символьной константы – **`int`**!
  - целые константы **`100`**, **`-34l`**, **`1000U`**, **`999llu`**
  - константы с плавающей точкой **`11.123F`**, **`4.56e-4f`**, **`1.0`**, **`-11.123`**, **`3.1415926l`**, **`-6.626068e-34L`**
    тип вещественной константы без суффикса – **`double`**!
  - шестнадцатеричные константы **`0x80`** (*128*)
  - восьмеричные константы **`012`** (*10*)
  - строковые константы **`"a"`**, **`"Hello, World!"`**, **`L"Unicode string"`**
  - специальные символьные константы **`\n`**, **`\t`**, **`\b`**

Операции над целочисленными данными

- ***Арифметические***
  - *Одноместные*:
    изменение знака, или «одноместный минус» (**–**),
    одноместный плюс (**+**).
  - *Двухместные*:
    сложение (**+**), вычитание (**–**), умножение (*****),
    деление нацело (**/**), остаток от деления нацело (**%**).

```
(a/b) * b + (a%b) == a
```

- ***Отношения*** (результат 0/1 типа **`int`**)
  - больше (**>**), больше или равно (**>=**),
    меньше (**<**), меньше или равно (**<=**)
- ***Сравнения*** (результат 0/1 типа **`int`**)
  - равно **(==),** не равно **(!=)**
- ***Логические***
  - отрицание (**!**), конъюнкция **(&&),** дизъюнкция **(||)**
  - ложное значение – 0, истинное – любое ненулевое
  - **“ленивое” вычисление && и ||**

Операции присваивания

- ***Побочные эффекты:*** изменение объекта, вызов функции
- **`lvalue = rvalue`**
  - **`lvalue`** – выражение, указывающее на объект памяти
  - **`rvalue`** – выражение
  - Пример **`a = b = c = d = 0;`**
- ***Укороченное присваивание:*** **`lvalue op= rvalue`**
  где **`op -`** двухместная операция

  Пример **`a += 15;`**
- ***Инкремент и декремент*** (**`++`** и **`--`**)
  - префиксные и постфиксные
- ***Последовательное вычисление:*** операция запятая (**`,`**)

  Пример **`a = (b = 5, b + 2);`**

Точки следования

- ***Побочные эффекты:*** изменение объекта, вызов функции
- ***Точка следования* (*sequence point*)*:*** момент во время выполнения программы, в котором все побочные эффекты предыдущих вычислений закончены, а новых – не начаты
  - первый операнд **&&**, **||**, **,**
  - окончание ***полного*** выражения
  - между двумя точками следования изменение значения переменной возможно **не более одного раза**

    ```
    (a=2) + (a=3)
    ```

    ```
    i++ + ++i
    ```
  - старое значение переменной читается **только** для определения нового

    ```
    a = b++ + b
    ```

Форматный ввод-вывод

```
#include <stdio.h>

int main (void)
{
  int s = 0;
  int a, b;

  scanf ("%d%d", &a, &b);
  s += a + b;
  printf ("Сумма равна %d\n", s);
  return 0;
}
```

Форматный ввод-вывод

Спецификаторы ввода-вывода

%d, **%ld**, **%lld** – напечатать/считать число типа **int**, **long**, **long long**

%u, **%lu**, **%llu** – напечатать/считать число типа **unsigned**, **unsigned long**, **unsigned long long**

%f, **%Lf** – напечатать число типа **double**, **long double**

%f, **%lf** , **%Lf** – считать число типа **float** , **double**, **long double**

%c - напечатать/считать символ

%4d – вывести число типа **int** минимум в четыре символа

%.5f – вывести число типа **double** с пятью знаками

%% - напечатать знак процента

Функция **scanf** возвращает количество удачно считанных элементов

Пример Си-программы

```
/* Решение квадратного уравнения */
#include <stdio.h>
#include <math.h>
int main (void) {
  int a, b, c, d;
  /* Введем коэффициенты */
  if (scanf ("%d%d%d", &a, &b, &c) != 3) {
    printf ("Нужно ввести три коэффициента!\n");
    return 1;
  }
  if (!a) {
    printf ("Уравнение не квадратное!\n");
    return 1;
  }
  d = b*b – 4*a*c;
  if (d < 0)
    printf ("Решений нет\n");
  else if (d == 0) {
    double db = -b;
    printf ("Решение: %.4f\n", db/(2*a));
  } else {
    double db = -b;
    double dd = sqrt (d);
    printf ("Решение 1: %.4f, решение 2: %.4f\n", (db+dd)/(2*a), (db-dd)/(2*a));
  }
  return 0;
}
```

Пример Си-программы

```
/* Решение квадратного уравнения */
#include <stdio.h>
#include <math.h>
int main (void) {
  int a, b, c, d;
  /* Введем коэффициенты */
  if (scanf ("%d%d%d", &a, &b, &c) != 3) {
    printf ("Нужно ввести три коэффициента!\n");
    return 1;
  }
  if (!a) {
    printf ("Уравнение не квадратное!\n");
    return 1;
  }
```

Пример Си-программы

```
  d = b*b – 4*a*c;
  if (d < 0)
    printf ("Решений нет\n");
  else if (d == 0) {
    double db = -b;
    printf ("Решение: %.4f\n", db/(2*a));
  } else {
    double db = -b;
    double dd = sqrt (d);
    printf ("Решение 1: %.4f, решение 2: %.4f\n",
            (db+dd)/(2*a), (db-dd)/(2*a));
  }
  return 0;
}
```

Преобразование типов

- ***При присваивании:*** **`a = b`**
  - “Широкий” целочисленный тип в “узкий”: отсекаются старшие биты
  - Знаковый тип в беззнаковый: знаковый бит “становится” значащим

    ```
    signed char c = -1; /* sizeof(c) == 1 */
    ((unsigned char) c) -> 255
    ```
  - Плавающий тип в целочисленный: отбрасывается дробная часть
  - “Широкий” плавающий тип в “узкий”: округление или усечение числа

- ***Явное приведение типов:*** **`(type) expression`**
  - Пример `d = ((double) a+b)/2;`

Приведение типов

- ***Неявное приведение типов:*** происходит, когда операнды двухместной операции имеют разные типы (**6.3.1.8)**
  - Если один из операндов – **`long double`**, то и второй преобразуется к **`long double`** (так же для **`double`** и **`float`**)

    `long double + double -> long double + long double`

    `int + double -> double + double`

    `float + short -> float + int -> float + float`
  - Если все значения операнда могут быть представлены в **`int`**, то операнд преобразуется к **`int`**,так же и для **`unsigned int`**

    (англоязычный термин – integer promotion)

    `unsigned short(2) + char(1) -> int(4) + int(4)`

    `unsigned short(4) + char(1) -> unsigned int(4) + int(4)`
  - Если оба операнда – соответственно знаковых или беззнаковых целых типов, то операнд более “узкого” типа преобразуется к операнду более “широкого” типа

    `int + long -> long + long`

    `unsigned long long + unsigned -> unsigned long long + unsigned long long`

Приведение типов

- ***Неявное приведение типов:*** происходит, когда операнды двухместной операции имеют разные типы
  - Если операнд беззнакового типа более “широк”, чем операнд знакового “узкого” типа, то операнд “узкого” типа преобразуется к операнду “широкого” типа

    int + unsigned long -> unsigned long + unsigned long

    int(4) / unsigned int(4) -> unsigned int(4) / unsigned int(4) /* Неверные значения */
  - Если тип операнда знакового типа может представить все значения типа операнда беззнакового типа, то операнд беззнакового типа преобразуется к операнду знакового типа

    unsigned int(4) + long(8) -> long(8) + long(8)

    unsigned short + long long -> long long + long long
  - Оба операнда преобразуются к беззнаковому типу, соответствующему типу операнда знакового типа

    unsigned int(4)+ long(4) -> unsigned long(4) + unsigned long(4)
  - Числа типа **float** не преобразуются автоматически к **double**

Старшинство операций

Операции	Ассоциативность
`! ++ -- + - sizeof (type)`	Справа налево
`* / %`	Слева направо
`+ -`	Слева направо
`== !=`	Слева направо
`&&`	Слева направо
`||`	Слева направо
`= += -= *= /= %=`	Справа налево
`,`	Слева направо

Операторы

- ***Выражение-оператор***: **`expression;`**
- ***Составной оператор***: **`{}`**
- ***Условный оператор***: **`if (expr) stmt; else stmt;`**
  - **`else`** всегда относится к ближайшему **`if`**:

```
if (x > 2)                    if (x > 2) {
  if (y > z)                    if (y > z)
    y = z;                        y = z;
  else                          }
    z = y;                      else
                                  z = y;
```

- ***Оператор выбора***:

```
switch (expr) {
        case const-expr: stmt;
        case const-expr: stmt;
        default: stmt;
}
```

  - Оператор **`break`** – немедленный выход из **`switch`**.

Операторы

- ***Цикл while*: `while (expression) stmt;`**
- ***Цикл for*:**

  `for (decl1; expr2; expr3)`
  `  stmt;`

  `decl1 -` возможно определение переменной с инициализатором

  `decl1;`
  `while (expr2) {`
  `  stmt;`
  `  expr3;`
  `}`

  - **`for ( ; ; ) stmt;`** – бесконечный цикл.
- ***Цикл do-while*: `do { stmt; } while (expression);`**
  - Проверка условия выхода из цикла после выполнения тела.
- ***Операторы break и continue*:** выход из внутреннего цикла и переход на следующую итерацию
- ***Оператор goto*:** переход по метке

  `goto label`
  …
  `label:`
  - Областью видимости метки является вся функция

Пример программы. Количество дней между двумя датами

```
int main (void)
{
  while (1) {
    int m1, d1, y1, m2, d2, y2;
    int t1, t2;
    int days1, days2, total;

    if (scanf ("%d%d%d%d%d%d", &d1, &m1, &y1, &d2, &m2, &y2) != 6)
      break;
    t1 = check_date (d1, m1, y1);
    if (t1 == 1 || (t2 = check_date (d2, m2, y2)) == 1)
      break;
    else if (t1 == 2 || t2 == 2)
      continue;

    days1 = days_from_jan1 (d1, m1, y1);
    days2 = days_from_jan1 (d2, m2, y2);
    total = days_between_years (y1, y2) + (days2 - days1);
    printf ("Days between dates: %d, weeks between days: %d\n",
             total, total / 7);
  }
  return 0;
}
```

Пример программы. Количество дней между двумя датами

```
#include <stdio.h>

static int check_date (int d, int m, int y)
{
  if (!d || !m || !y)
    return 1;
  if (d < 0 || m < 0 || y < 0)
    {
      printf ("%d %d %d: wrong date\n", d, m, y);
      return 2;
    }
  return 0;
}

while (1) {
<...>
 t1 = check_date (d1, m1, y1);
    if (t1 == 1 || (t2 = check_date (d2, m2, y2)) == 1)
      break;
    else if (t1 == 2 || t2 == 2)
      continue;
<...>
}
```

Пример программы. Количество дней между двумя датами

```
static int leap_year (int y)
{
  return (y % 400 == 0) || (y % 4 == 0 && y % 100 != 0);
}

static int days_in_year (int y)
{
  return leap_year (y) ? 366 : 365;
}

static int days_between_years (int y1, int y2)
{
  int i;
  int days = 0;

  for (i = y1; i < y2; i++)
    days += days_in_year (i);
  return days;
}
```

Пример программы. Количество дней между двумя датами

```
static int days_from_jan1 (int d, int m, int y)
{
  int days = 0;

  switch (m) {
    case 12: days += 30;
    case 11: days += 31;
    case 10: days += 30;
    case 9: days += 31;
    case 8: days += 31;
    case 7: days += 30;
    case 6: days += 31;
    case 5: days += 30;
    case 4: days += 31;
    case 3: days += leap_year (y) ? 29 : 28;
    case 2: days += 31;
    case 1: break;
  }
  return days + d;
}
```

Символьный тип данных (char)

Программа подсчета числа строк во входном потоке

```
#include <stdio.h>
int main (void)
{
  int c, nl = 0;
  while ((c = getchar()) != EOF)
    if (c == '\n')
      ++nl;
  printf ("%d\n", nl);
  return 0;
}
```

Каков должен быть возвращаемый тип функции **getchar**?

Символьный тип данных (`char`)

Символьные данные представляются в некотором коде. Популярным кодом является ASCII (American Standard Code for Information Interchange).

- Каждому символу сопоставляется его код – число типа **`char`**
- Требуется, чтобы в кодировке присутствовали маленькие и большие английские буквы, цифры, некоторые другие символы
- Требуется, чтобы коды цифр **`0`**, **`1`**, ..., **`9`** были последовательны
- К символьным данным применимы операции целочисленных типов (но обычно – ***операции отношения и сравнения***)
- Каждый символ, представляющий самого себя, заключается в одинарные кавычки ' и '
- Последовательность символов (строка) заключается в двойные кавычки " и "
- Специальные (управляющие) символы представляются последовательностями из двух символов. Примеры:
  - **`\n`** переход на начало новой строки
  - **`\t`** знак табуляции
  - **`\b`** возврат на один символ с затиранием

Символьный тип данных (char)

Таблица ASCII

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	
0	\0									\t	\n						
1												ESC					
2		!	"	#	$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/	
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?	
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_	
6	'	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
7	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}	~	DEL	

Символьный тип данных (char)

- В коде *ASCII* буквы верхнего и нижнего регистра составляют непрерывные последовательности:
  между **a** и **z** (соответственно, между **A** и **Z**) нет ничего, кроме букв, расположенных в алфавитном порядке.
- Это же верно и для цифр **0**, **1**, ..., **9**
- Преобразование строки символов цифр **s** в целое число
  (верно для любой кодировки символов)

```
int atoi (char s[])
{
  int i, n;
  n = 0;
  for (i = 0; s[i] >= '0' && s[i] <= '9'; ++i)
      n = 10 * n + (s[i] – '0');
   return n;
}
```