2022

Глава 3 *Модульное программирование*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
Факультет Информатика и системы управления
Кафедра Компьютерные системы и сети
Лектор: д.т.н., проф.
Иванова Галина Сергеевна

3.1 Организация передачи управления в процедуру и обратно

Процедура в ассемблере – это относительно самостоятельный фрагмент, к которому возможно обращение из разных мест программы.

На языках высокого уровня такие фрагменты оформляют соответствующим образом и называют подпрограммами: *функциями* или *процедурами* в зависимости от способа возврата результата.

Поддержка модульного принципа для ассемблера означает, что в языке существуют специальные *машинные* команды вызова подпрограммы и обратной передачи управления.

Кроме того существует несколько директив, поддерживающих раздельную трансляцию модулей и их последующую совместную компоновку, и также создание библиотек модулей.

Команды вызова процедуры и возврата управления

1. Команда вызова процедуры:

CALL rel32/r32/m32 ***; вызов внутрисегментной процедуры (near - ближний)***

CALL sreg:r32/m48 ***; вызов межсегментной процедуры (far - дальний)***

2. Команда возврата управления:

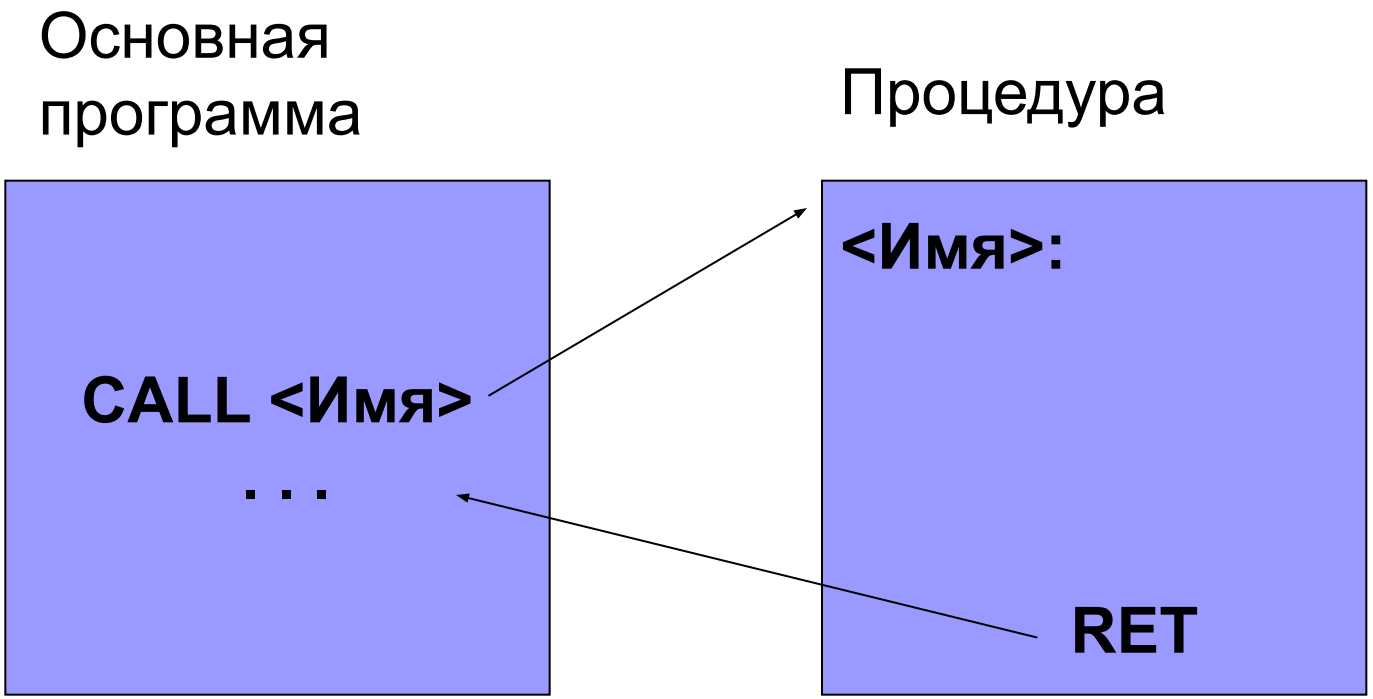
RET [<Целое>]

где <Целое> – количество байт, извлекаемых из стека при возврате управления – используется для удаления из стека параметров процедуры (см. далее).

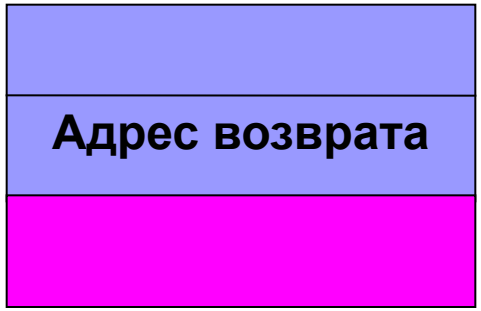
При выполнении команды вызова процедуры автоматически в стек заносится адрес команды, следующей за командой вызова процедуры, – адрес возврата.

Команда возврата управления выбирает этот адрес из стека и осуществляет переход по нему.

Организация передачи управления в процедуру



Стек



При 32 разрядной адресации размер адреса:
near – 4 байта;
far – 6 байт

Локальные метки

Для того чтобы метки внутри подпрограмм были уникальны, в них используют локальные метки, начинающиеся с точки.

В этом случае ассемблер создает метку, добавляя к ней предыдущую, как правило, имя подпрограммы, например:

```
prog1:

.cycle    …
          …
          loop   .cycle
          …
          ret
```

При ассемблировании будет построена метка **`prog1.cycle`**.

Пример 3.1 Программа с процедурой MaxDword

```
        section  .data
A       dd    56
B       dd    34

        section  .bss
D       resd  1

        section  .text
        call  MaxDword ; вызов процедуры
           …
```

; вывод сообщения, ввод Enter и завершение программы

Текст процедуры

Текст процедуры MaxDword

```
MaxDword:
        push    EAX         ; сохранить регистр
        mov     EAX,[A]     ; загрузить 1-е число в регистр
        cmp     EAX,[B]     ; сравнить числа
        jg      .con        ; если 1-е больше, то на запись
        mov     EAX,[B]     ; загрузить 2-е число в регистр
.con:   mov     [D],EAX     ; записать результат в память
        pop     EAX         ; восстановить регистр
        ret                 ; вернуть управление
```

3.2 Передача данных в подпрограмму

Данные могут быть переданы в подпрограмму:

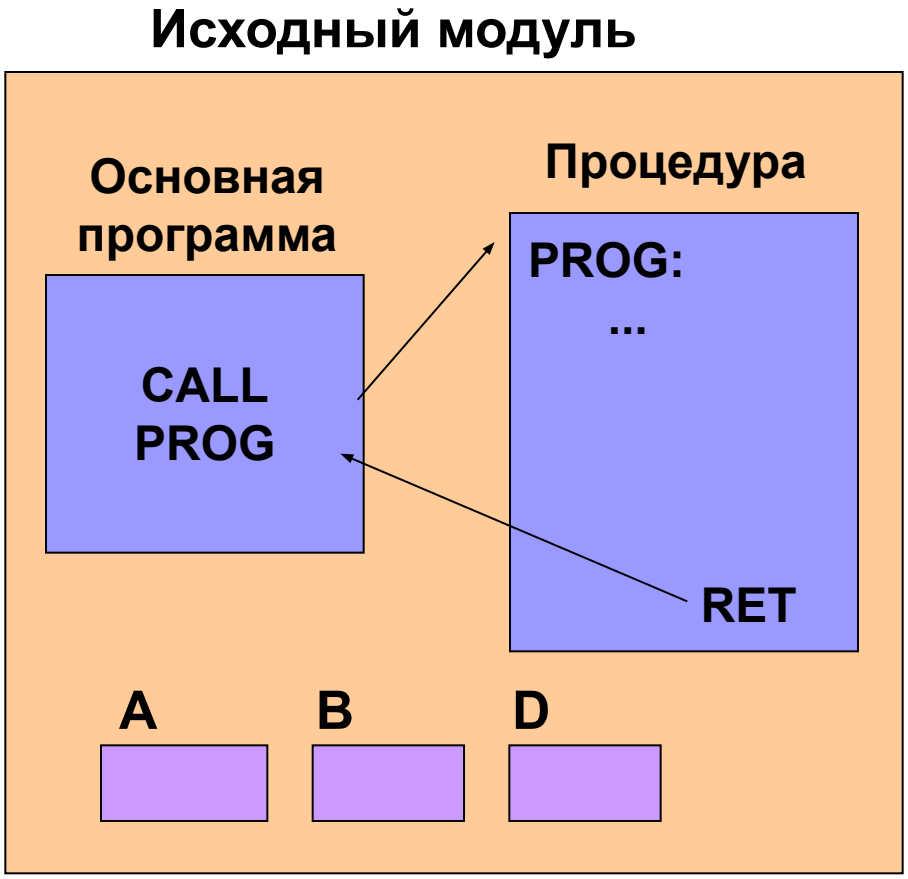
- **через регистры** – перед вызовом процедуры параметры или их адреса загружаются в регистры, также в регистрах возвращаются результаты;
- **напрямую** – с использованием механизма глобальных переменных:
  - при совместной трансляции,
  - при раздельной трансляции;
- **через таблицу адресов** – в программе создается таблица, содержащая адреса параметров, и адрес этой таблице передается в процедуру через регистр;
- **через стек** – перед вызовом процедуры параметры или их адреса заносятся в стек, после завершения процедуры они из стека удаляются.

3.2.1 Передача параметров в регистрах

Пример 3.2а. Определение суммы двух целых чисел

```
        section  .data
A       dd      56
B       dd      34
        section .bss
D       resd    1
        section .text
; Занесение параметров в регистры
        lea     EDX,[D]      ; адрес результата
        mov     EAX,[A]      ; первое число
        mov     EBX,[B]      ; второе число

        call    SumDword     ; вызов процедуры
            …
SumDword:
        add     EAX,EBX
        mov     [EDX],EAX
        ret
```

3.2.2 Процедуры с глобальными переменными (совместная трансляция)



При совместной трансляции, когда основная программа и процедура объединены в один исходный модуль, ассемблер строит общую таблицу символических имен. Следовательно, и основная программа и процедура могут обращаться к символическим именам, объявленным в том же модуле.

Способ не технологичен:

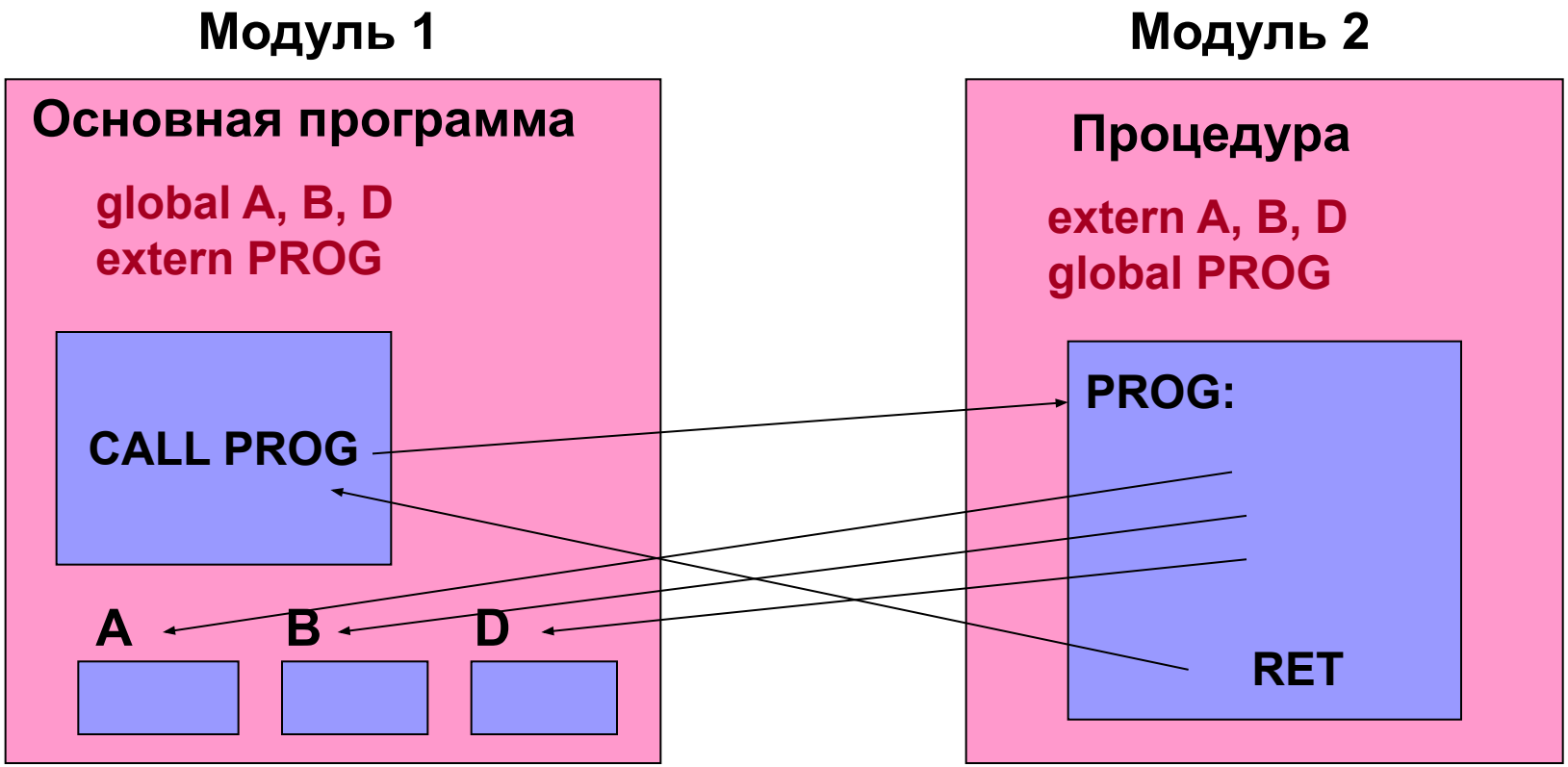
- процедуры не универсальны;
- большое количество ошибок.

Процедура, работающая с глобальными переменными при совместной трансляции

Пример 3.2b. Определение суммы двух целых чисел.

```
        section  .data
A       dd    56   ; первое число
B       dd    34   ; второе число
        section  .bss
D       resd  1    ; место для результата

        section  .text
        call  SumDword
          . . .
SumDword:
        mov   EAX,[A]   ; поместили в регистр 1-е число
        add   EAX,[B]   ; сложили со вторым
        mov   [D],EAX   ; результат отправили на место
        ret
```

3.2.3 Многомодульные программы



Объединение модулей осуществляется во время компоновки программ. Программа и процедуры, размещенные в разных исходных модулях, на этапе ассемблирования «не видят» символических имен друг друга. Чтобы сделать имена видимыми за пределами модуля, их объявляют «внешними». Для этого используют директивы **`global`** и **`extern`**.

Раздельная трансляция. Основная программа

Пример 3.2с. Определение суммы двух целых чисел.

```
        section  .data
A       dd    56
B       dd    34

        section  .bss
D       resd  1

        global A,B,D     ; объявление внутренних имен
        extern SumDword  ; объявление внеш. имен

        section  .text
        call   SumDword  ; вызов подпрограммы
         . . .
```

Раздельная трансляция. Процедура в отдельном файле

```
        extern A,B,D
        global SumDword

        section .text
SumDword:
        push    EAX
        mov     EAX,[A]
        add     EAX,[B]
        mov     [D],EAX
        pop     EAX
        ret
```

3.2.4 Передача параметров через таблицу адресов

Пример 3.2d. Сумма элементов массива целых чисел.

```
        section  .data
ary     dw    5,6,1,7,3,4 ; массив целых чисел
count   dd    6           ; размер массива
        section  .bss
sum     resw  1           ; сумма элементов
tabl    resd  3           ; таблица адресов параметров

        section  .text
; формирование таблицы адресов параметров
        mov   dword[tabl],ary
        mov   dword[tabl+4],count
        mov   dword[tabl+8],sum
        mov   EBX,tabl

        call  masculc
        . . .
```

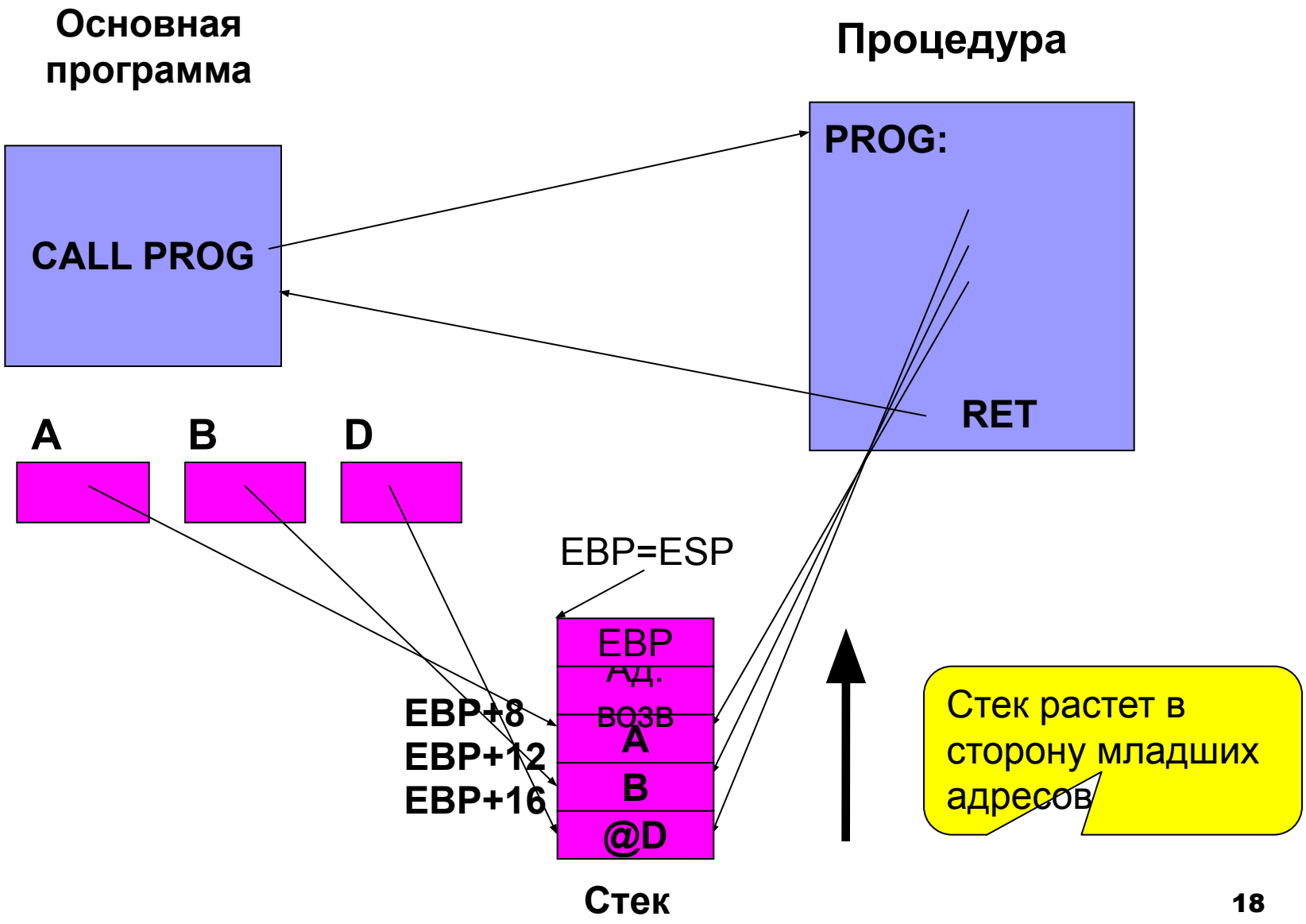
Процедура, получающая параметры через таблицу адресов

```
masculc:
        push    AX      ; сохранение регистров
        push    ECX
        push    EDI
        push    ESI
; использование таблицы адресов параметров
        mov     ESI,[EBX]   ;адрес массива
        mov     EDI,[EBX+4] ;адрес размера
        mov     ECX,[EDI]   ;размер массива
        mov     EDI,[EBX+8] ;адрес результата
```

Процедура, получающая параметры через таблицу адресов (2)

```
; суммирование элементов массива
        xor     AX,AX
.cycle: add     AX,[ESI]
        add     ESI,2
        loop    .cycle
; формирование результатов
        mov     [EDI],AX
        pop     ESI     ; восстановление регистров
        pop     EDI
        pop     ECX
        pop     AX
        ret
```

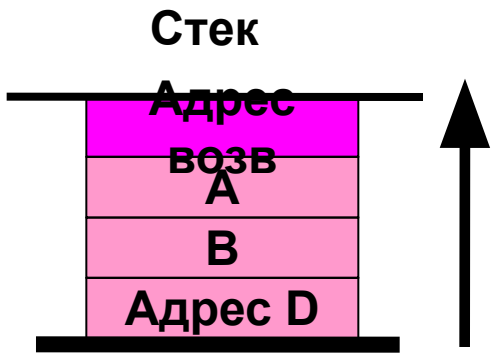
3.2.5 Передача параметров через стек



Пример 3.2 е. Максимальное из двух чисел.

```
        section   .data
A       dd     56
B       dd     34

        section   .bss
D       resd   1

        section   .text
         lea     EBX,[D]  ; получение адреса результата
         push    EBX      ; загрузка в стек адреса результата
         push    dword[B] ; загрузка в стек второго числа
         push    dword[A] ; загрузка в стек первого числа

         call    MaxDword
         . . .
```

Получение управления процедурой



Исходное состояние стека

Процедура, получающая параметры через стек

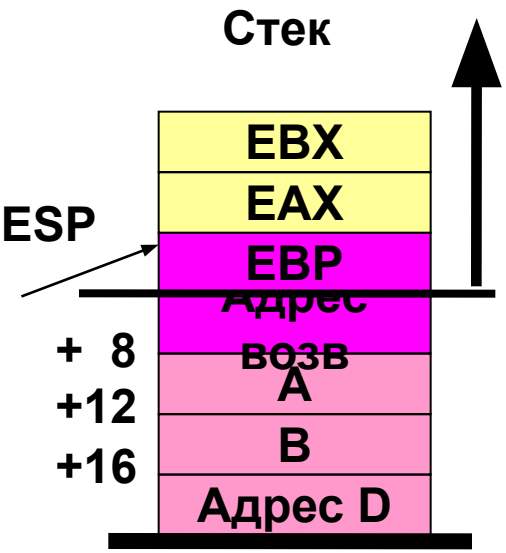
```
MaxDword:
        push    EBP
        mov     EBP,ESP
        push    EAX
        push    EBX
        mov     EBX,[EBP+16]  ;адрес D
        mov     EAX,[EBP+8]   ;A
        cmp     EAX,[EBP+12]  ;B
        jg      .con
        mov     EAX,[EBP+12]
.con:   mov     [EBX],EAX
        pop     EBX
        pop     EAX
        mov     ESP,EBP
        pop     EBP
        ret     12
```

Пролог

Получение управления процедурой

Эпилог

Удаление из стека области параметров



Исходное состояние стека

3.3 Организация ввода-вывода в консольном режиме

Осуществляются посредством вызова системных функций ввода-вывода.

1. **32-х разрядная программа**

Вызов функций через прерывание «Диспетчер системных функций»:

```
int    80h
```

или с помощью команды **sysenter**:

```
push  .adret
push  ECX
push  EDX
push  EBP
mov   EBP,ESP
sysenter
.adret: …
```

2. **64-х разрядная программа**

Вызов функций через прерывание «Диспетчер системных функций»:

```
int    80h
```

или посредством **syscall**

3.3 Организация ввода-вывода в консольном режиме

1. Параметры системной функции ввода строки:

32-х разрядная программа	64-х разрядная программа	Примечание
eax = 3	rax = 0	Номер функции
ebx = 0	rdi = 0	Номер файла **`stdin`** в таблице файлов
ecx = адрес	rsi = адрес	Адрес буфера ввода
edx= целое	rdx=целое	Размер буфера ввода

2. Параметры системной функции вывода:

32-х разрядная программа	64-х разрядная программа	Примечание
eax = 4	rax = 1	Номер функции
ebx = 1	rdi = 1	Номер файла **`stdout`** в таблице файлов
ecx = адрес	rsi = адрес	Адрес буфера вывода
edx = целое	rdx = целое	Размер буфера вывода

Пример 3.3 Программа извлечения квадратного корня из целого числа с точностью до целой части

Свойство суммы арифметической прогрессии:

$1 = 1^2$

$1+3 = 4 = 2^2$

$1+3+5 = 9 = 3^2$

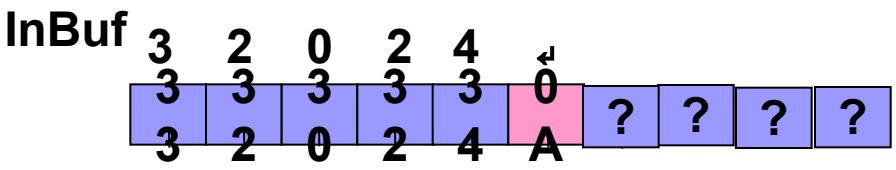
$1+3+5+7 = 16 = 4^2$

Программа извлечения корня квадратного. Объявление данных

```
        section .data
OutMsg  db     'Enter value <65024:',10
lenOut  equ     $-OutMsg
Otw     db      'Root ='
rez     db      '    ',10
lenOtw  equ     $-Otw

        section .bss
InBuf   resb    10
lenIn   equ     $-InBuf
```

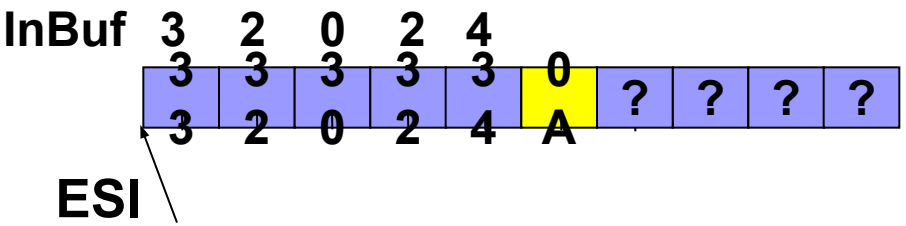
Программа извлечения корня квадратного. Ввод исходных данных

```
        section  .text
_start:
        ; вывод запроса на ввод
vvod:   mov      eax, 4
        mov      ebx, 1
        mov      ecx, OutMsg
        mov      edx, lenOut
        int      80h

        ; ввод числа
        mov      eax, 3
        mov      ebx, 0
        mov      ecx, InBuf
        mov      edx, lenIn
        int      80h
```



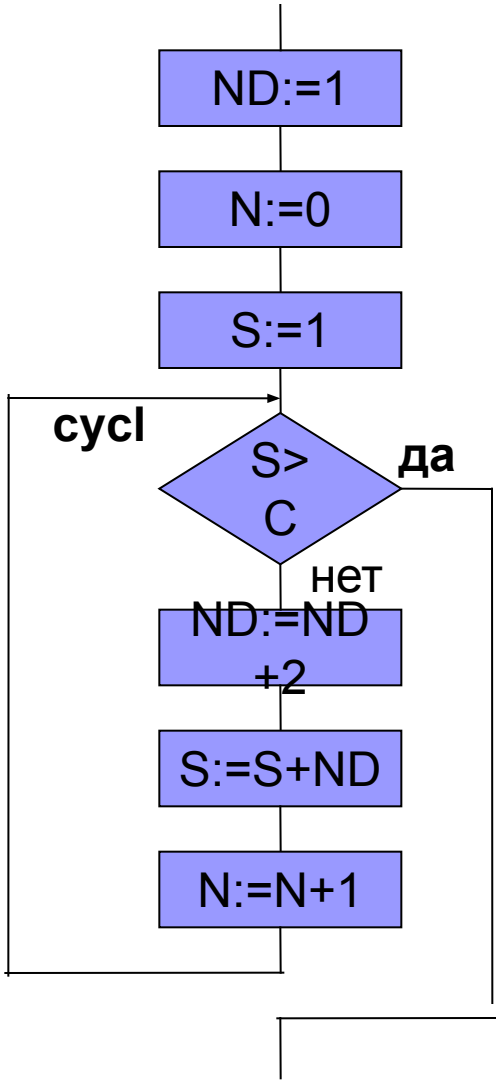
Программа извлечения корня квадратного (2)

```
;   Преобразование
            mov     BH,'9'
            mov     BL,'0'
            lea     ESI,[InBuf]
            cld
            xor     DI,DI       ; обнуляем будущее число
.cycle:     lodsb               ; загружаем символ (цифру)
            cmp     AL,10       ; если 0, то на вычисление
            je      calc
            cmp     AL,BL       ; сравниваем с кодом нуля
            jb      vvod        ; "ниже" – на ввод
            cmp     AL,BH       ; сравниваем с кодом девяти
            ja      vvod        ; "выше" – на ввод
            sub     AL,30h      ; получаем цифру из символа
            cbw                 ; расширяем до слова
            push    AX          ; сохраняем в стеке
            mov     AX,10       ; заносим 10
            mul     DI          ; умножаем, результат в DX:AX
            pop     DI          ; в DI – очередная цифра
            add     AX,DI
            mov     DI,AX       ; в DI – накопленное число
            jmp     .cycle
```



Программа извлечения корня квадратного (3)

```
;Вычисление sqrt(dx#ax)
calc:     mov     BX,1
          mov     CX,0
          mov     AX,1  ; сумма
.cycle:   cmp     AX,DI
          ja      preobr
          add     BX,2
          add     AX,BX
          jc      vvod
          inc     CX
          jmp     .cycle
```



Программа извлечения корня квадратного (4)

```
; Преобразование числа в строку
preobr:  mov    AX,CX
         mov    EDI,2
         mov    BX,10
.cycle:  cwd          ; расширили слово до двойного
         div    BX            ; делим результат на 10
         add    DL,30h        ; получаем из остатка код
                              ; цифры
         mov    [EDI+rez],DL  ; пишем символ в
                              ; выводимую строку
         dec    EDI     ; переводим указатель на
                        ; предыдущую позицию
         cmp    AX,0    ; преобразовали все число?
         jne    .cycle
```

Программа извлечения корня квадратного (5)

```
; вывод результата
mov     eax, 4
mov     ebx, 1
mov     ecx, Otw
mov     edx, lenOtw
int     80h
```

3.4 Связь разноязыковых модулей

Основные проблемы связи разноязыковых модулей:

- осуществление совместной компоновки модулей;
- организация передачи и возврата управления;
- передача данных в подпрограмму:
  - с использованием глобальных переменных,
  - с использованием стека (по значению и по ссылке),
- обеспечение возврата результата функции;
- обеспечение корректного использования регистров процессора.

Конвенции о связях WINDOW's

Конвенции о связи определяют правила передачи параметров.

№	Название в MASM32	Delphi Pascal	C++Builder	Visual C++	Порядок записи пар-в	Удале-ние пар-ров из стека	Исполь-зование регист-ров
1	**PASCAL**	**pascal**	**_ _ pascal**	-	прямой	проце-дура	-
2	**C**	**cdecl**	**_ _ cdecl**	**_ _ cdecl**	обратный	осн. прогр.	-
3	**STDCALL**	**stdcall**	**_ _ stdcall**	**_ _ stdcall**	обратный	проце-дура	-
4	**-**	**register**	**_ _ fastcall**	**_ _ fastcall**	обратный	проце-дура	до 3-х

Конвенции о связях WINDOW's (2)

- тип вызова: **NEAR**;
- модель памяти: (**FLAT)**;
- пролог и эпилог – стандартные, текст зависит от конвенции и наличия локальных переменных:
  - пролог:

```
push  EBP
movEBP,ESP
[subESP,<Размер памяти локальных переменных>]
```

  - эпилог:

```
movESP,EBP
popEBP
ret[<Размер области параметров>]
```

Конвенция о связях Linux

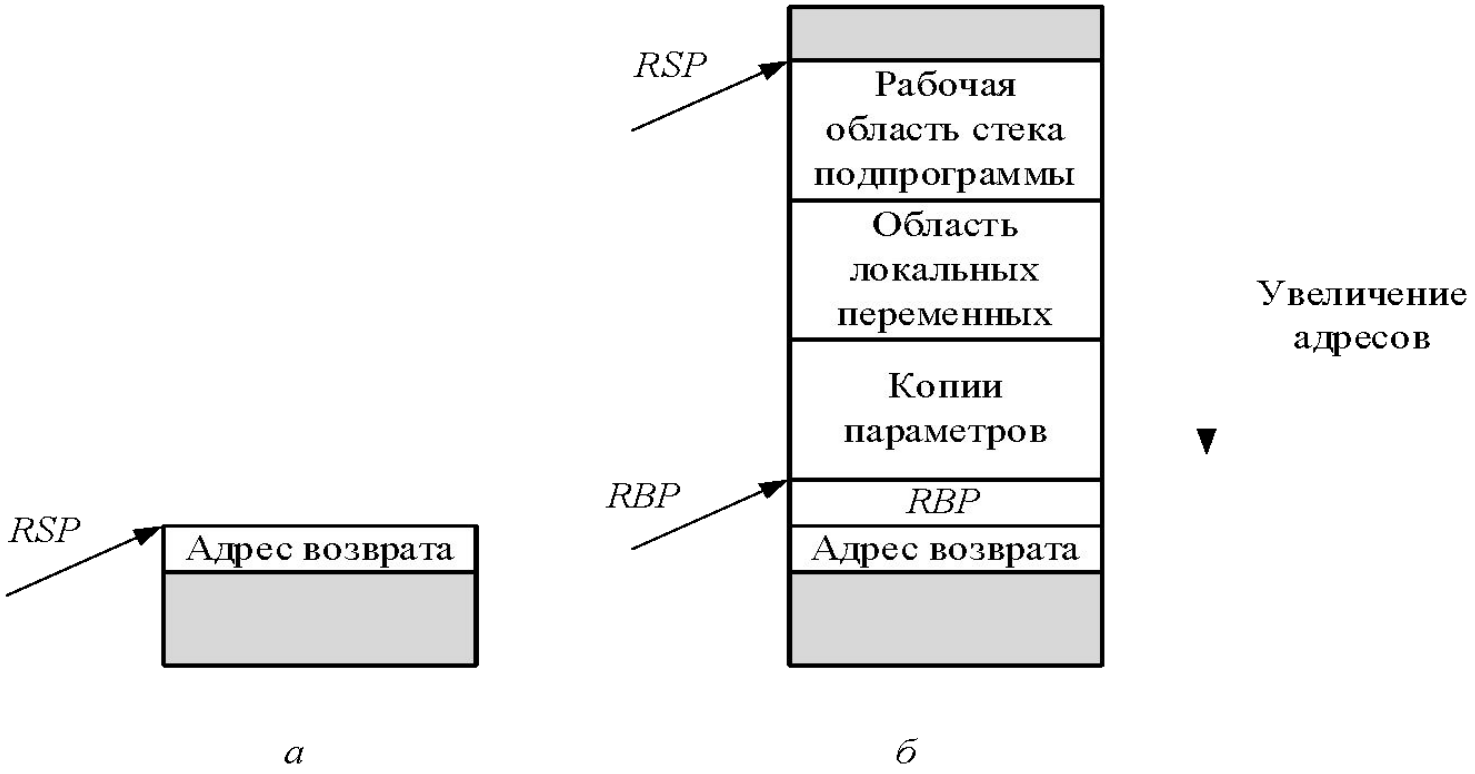
Операционные системы *Linux*, как и другие *Unix*-системы, использует единственную конвенцию, которая включена в стандартизованный двоичный интерфейс приложения (англ. *System V Application Binary Interface* или сокр. *System* ***V ABI***).

Указанная конвенция предполагает, что до 6-ти параметров передается в регистрах, остальные – в стеке в обратном порядке. Порядок занесения параметров в регистры прямой, т.е. первым записывается в регистр первый параметр и т.д.

В 32-х разрядной программе для передачи параметров используют регистры *EBX*, *ECX*, *EDX*, *ESI*, *EDI*, *EBP*; функции, за исключением функций, результатом которых является строка, возвращают результат в регистре *EAX*. Если функция возвращает строку, то адрес результата передается в регистре *EBX*, т.е. в первом регистре, используемом для передачи параметров.

В 64-х разрядной программе для передачи параметров используют регистры *RDI*, *RSI*, *RDX*, *R10*, *R8*, *R9*; функции, за исключением функций, результатом которых является строка, возвращают результат в регистре *RAX*. Если функция возвращает строку, то адрес результата передается в регистре *RDI*, т.е. в первом регистре, используемом для передачи параметров.

Структура стека 64-х разрядной программы:
а – в момент вызова подпрограммы;
б – во время работы подпрограммы



Область локальных переменных и область, содержащая копии параметров, адресуются относительно адреса в регистре RBP.

Рабочая область стека программы адресуется содержимым регистра RSP.

3.4.1 *Lazarus* (*Free PASCAL*) – *NASM*

При написании программы на Free Pascal, вызывающей подпрограмму на ассемблере следует:

- в модуле на Free Pascal процедуры и функции, реализованные на ассемблере, объявить и описать как внешние **external**, например:

```
procedure ADD1 (A,B:integer; Var C:integer); external;
```

- если некая подпрограмма на Free Pascal должна будет вызываться из модуля на ассемблере, то ее прототип поместить в интерфейсную секцию, т.е. сделать доступной из других модулей:

```
interface
    procedure Print(n:integer);
```

и уточнить ее внутреннее имя в объектном коде модуля;

- отключить оптимизацию при компиляции модуля на Free Pascal (см. настройки среды в методических указаниях по выполнению лабораторных работ);

Lazarus (*Free PASCAL*) – *NASM (2)*

- для работы с модулем на ассемблере добавить в Lazarus инструмент (меню **Сервис/Настроить внешние средства**), назначив в качестве инструмента ассемблер nasm:

Заголовок: **NASM**
Имя файла программы: **/usr/bin/nasm**
Параметры: **-f elf64 $EdFile()**
-l $Path(EdFile())$NameOnly($EdFile()).lst
-o $Path($EdFile())$NameOnly($EdFile()).o
Рабочий каталог: **$(ProjPath)**
Также выбираем галочкой пункт «Искать сообщения *FPC* в вводе».

- модуль на ассемблере создать в редакторе среды, транслировать и подключить полученный объектный модуль в секцию реализации модуля Free Pascal:

```
implementation
{$l <Имя объектного модуля>}
```

Free PASCAL – NASM

- совместимость часто используемых данных:

  Word – 2 байта,

  Byte, Char, Boolean – 1 байт,

  Integer, Pointer – 4 байта,

  массив – располагается в памяти по строкам,

  строка (**shortstring**) – содержит байт длины и далее символы;

- параметры передаются через стек:
  - по значению – в стеке копия значения,
  - по ссылке – в стеке указатель на параметр;
- результаты функций возвращаются через регистры:
  - байт, слово – в **AX**,
  - двойное слово, указатель – в **EAX (RAX)**,
  - строка – адрес в **EBX** (**RDI**).

Пример 3.4 Free PASCAL – NASM. Программа на Free Pascal

Описание на Free Pascal:

```
Implementation
 {$l  m_add.o}
procedure ADD1(A,B:integer; Var C:integer);external;
```

Вызов процедуры:

```
Procedure Form1.Button1Click(Sender:TObject);
var A,B,C:integer;
Begin
    A:=strtoint(Edit1.text);
    B:=strtoint(Edit2.text);
    ADD1(A,B,C);
    Edit3.text:=inttostr(C);
End;
```

Модуль на ассемблере

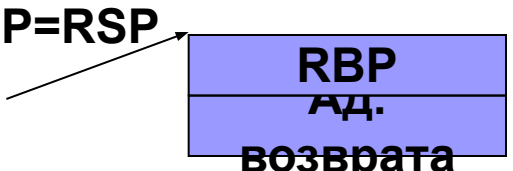
Определение суммы двух целых чисел.

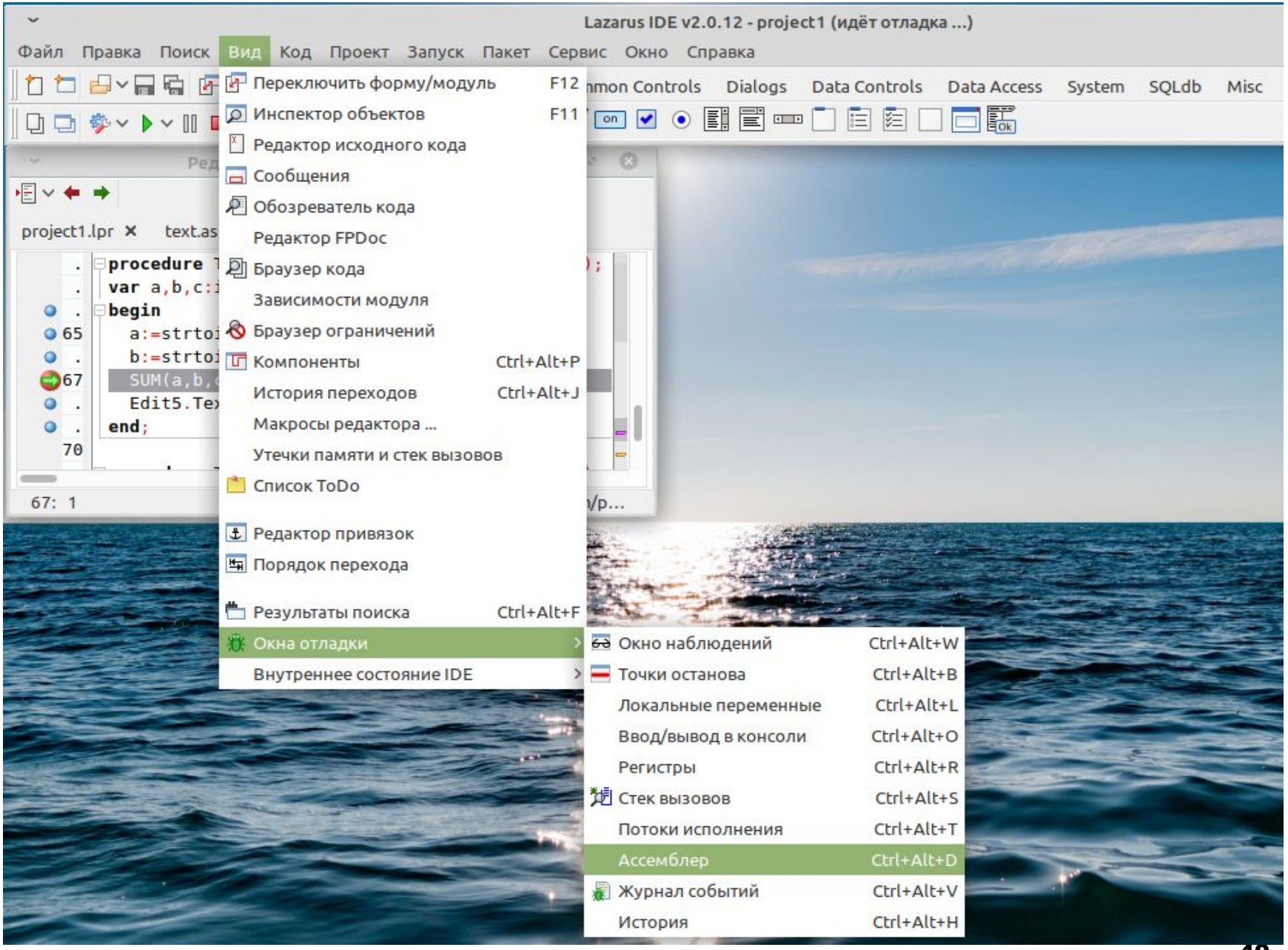
```
procedure ADD1(A,B:integer; Var C:integer);external;
```

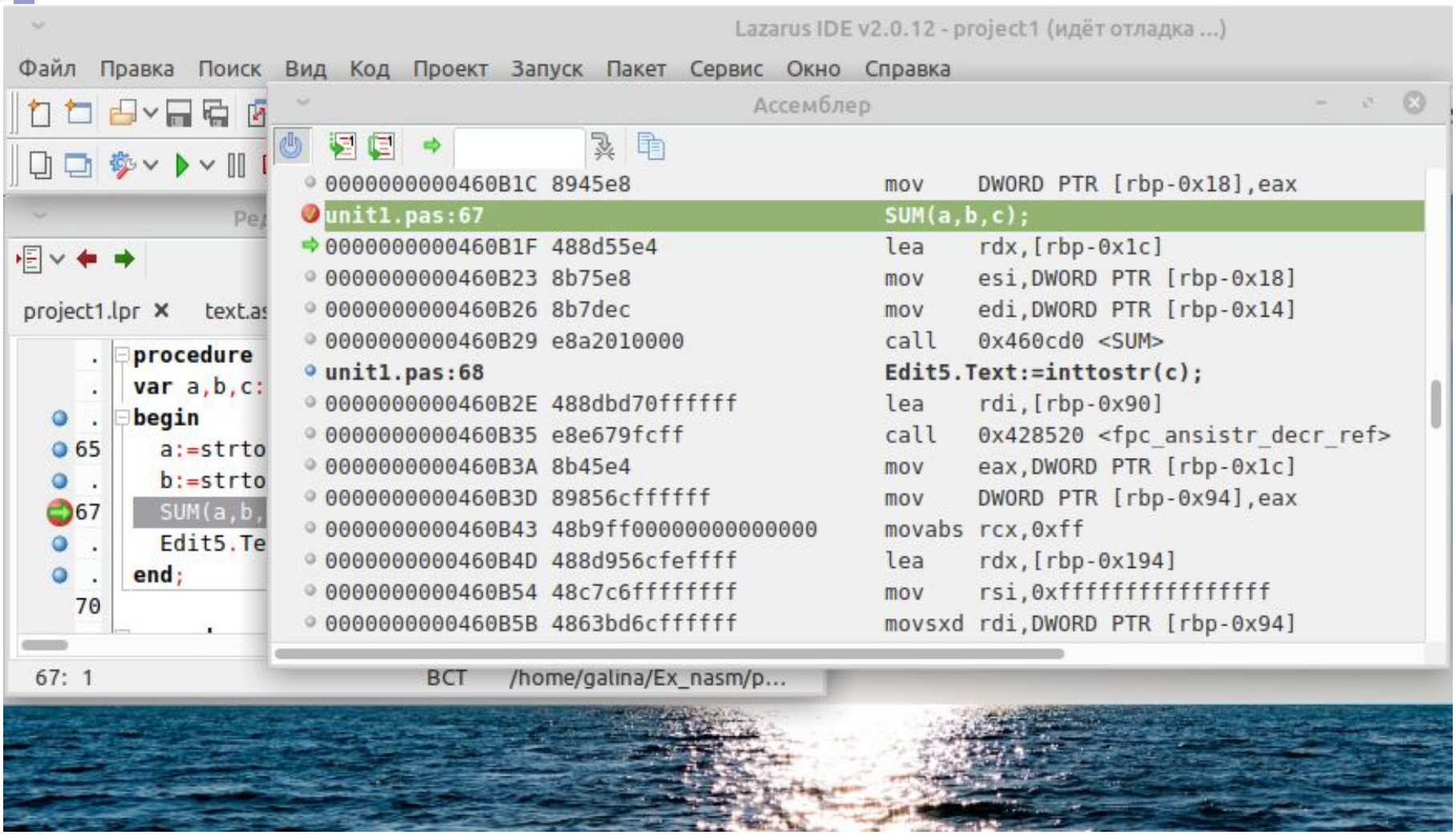
```
Параметры:
        A -> RDI
        B -> RSI
адрес   C -> RDX
```

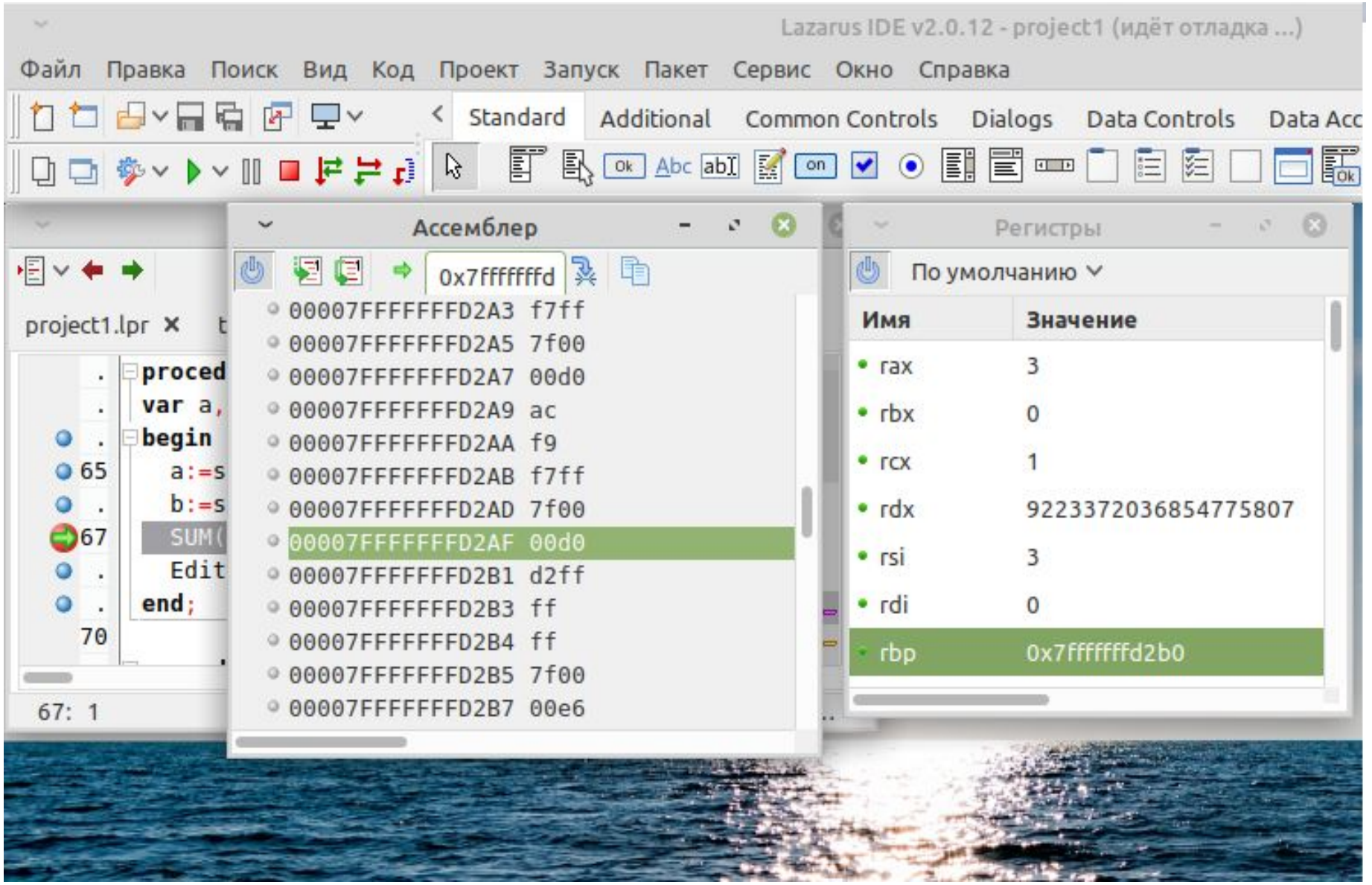
Модуль на ассемблере:

```
      section .text
 global UNIT1_$$_ADD1$LONGINT$LONGINT$LONGINT
UNIT1_$$_ADD1$LONGINT$LONGINT$LONGINT:
      push   rbp
      mov    rbp,rsp
      add    esi,edi
      mov    [rdx],esi
      mov    rsp,rbp
      pop    rbp
      ret
```




Lazarus IDE v2.0.12 - project1 (идёт отладка ...)
Файл Правка Поиск Вид Код Проект Запуск Пакет Сервис Окно Справка
Переключить форму/модуль F12
Инспектор объектов F11
Редактор исходного кода
Сообщения
Обозреватель кода
Редактор FPDoc
Браузер кода
Зависимости модуля
Браузер ограничений
Компоненты Ctrl+Alt+P
История переходов Ctrl+Alt+J
Макросы редактора ...
Утечки памяти и стек вызовов
Список ToDo
Редактор привязок
Порядок перехода
Результаты поиска Ctrl+Alt+F
Окна отладки
Внутреннее состояние IDE
Окно наблюдений Ctrl+Alt+W
Точки останова Ctrl+Alt+B
Локальные переменные Ctrl+Alt+L
Ввод/вывод в консоли Ctrl+Alt+O
Регистры Ctrl+Alt+R
Стек вызовов Ctrl+Alt+S
Потоки исполнения Ctrl+Alt+T
Ассемблер Ctrl+Alt+D
Журнал событий Ctrl+Alt+V
История Ctrl+Alt+H
project1.lpr
text.as
procedure
var a,b,c:i
begin
a:=strtoi
b:=strtoi
SUM(a,b,
Edit5.Tex
end;
67: 1


Lazarus IDE v2.0.12 - project1 (идёт отладка ...)
Файл Правка Поиск Вид Код Проект Запуск Пакет Сервис Окно Справка
Ассемблер
project1.lpr
procedure
var a,b,c:
begin
a:=strto
b:=strto
SUM(a,b,
Edit5.Te
end;
0000000000460B1C 8945e8 mov DWORD PTR [rbp-0x18],eax
unit1.pas:67 SUM(a,b,c);
0000000000460B1F 488d55e4 lea rdx,[rbp-0x1c]
0000000000460B23 8b75e8 mov esi,DWORD PTR [rbp-0x18]
0000000000460B26 8b7dec mov edi,DWORD PTR [rbp-0x14]
0000000000460B29 e8a2010000 call 0x460cd0 <SUM>
unit1.pas:68 Edit5.Text:=inttostr(c);
0000000000460B2E 488dbd70ffffff lea rdi,[rbp-0x90]
0000000000460B35 e8e679fcff call 0x428520 <fpc_ansistr_decr_ref>
0000000000460B3A 8b45e4 mov eax,DWORD PTR [rbp-0x1c]
0000000000460B3D 89856cffffff mov DWORD PTR [rbp-0x94],eax
0000000000460B43 48b9ff00000000000000 movabs rcx,0xff
0000000000460B4D 488d956cfeffff lea rdx,[rbp-0x194]
0000000000460B54 48c7c6ffffffff mov rsi,0xffffffffffffffff
0000000000460B5B 4863bd6cffffff movsxd rdi,DWORD PTR [rbp-0x94]
67: 1
ВСТ
/home/galina/Ex_nasm/p...


Lazarus IDE v2.0.12 - project1 (идёт отладка ...)
Файл Правка Поиск Вид Код Проект Запуск Пакет Сервис Окно Справка
Standard Additional Common Controls Dialogs Data Controls Data Acc
Ok Abc abI on Ok
project1.lpr
proced
var a,
begin
a:=s
b:=s
SUM(
Edit
end;
67: 1
Ассемблер
0x7fffffffd
00007FFFFFFFD2A3 f7ff
00007FFFFFFFD2A5 7f00
00007FFFFFFFD2A7 00d0
00007FFFFFFFD2A9 ac
00007FFFFFFFD2AA f9
00007FFFFFFFD2AB f7ff
00007FFFFFFFD2AD 7f00
00007FFFFFFFD2AF 00d0
00007FFFFFFFD2B1 d2ff
00007FFFFFFFD2B3 ff
00007FFFFFFFD2B4 ff
00007FFFFFFFD2B5 7f00
00007FFFFFFFD2B7 00e6
Регистры
По умолчанию
Имя
Значение
rax 3
rbx 0
rcx 1
rdx 9223372036854775807
rsi 3
rdi 0
rbp 0x7fffffffd2b0

Пример 3.5 Процедура без параметров

Увеличение каждого элемента массива AAA на 5.

1. Массив **AAA** должен быть объявлен в секции **Interface:**

```
var AAA:array[1..5] of byte; public;//или cvar;
```

Это сделает его имя неизменяемым.

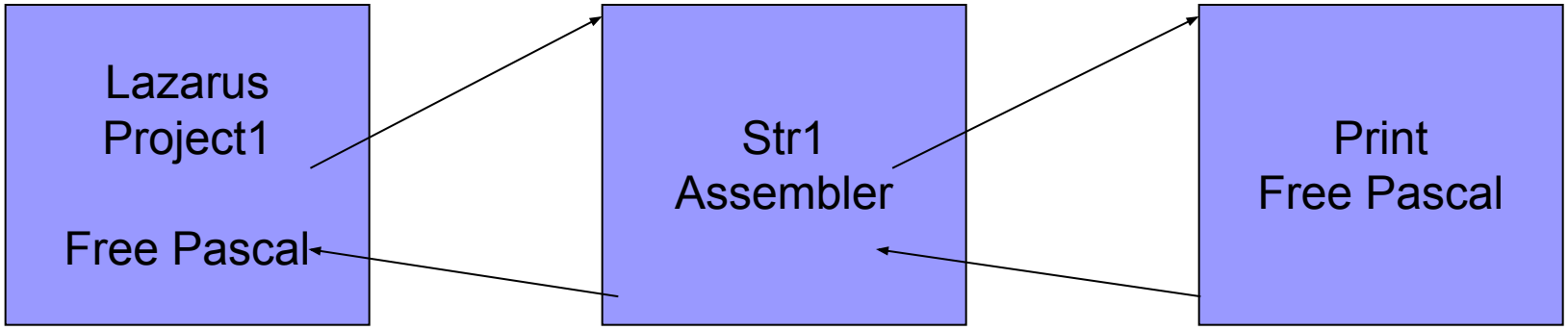
2. Процедуру следует описать, как внешнюю:

```
{$l text3.o}
procedure Array_add; external;
```

3. Текст модуля text3.asm:

```
          section .text
          global UNIT1_$$_ARRAY_ADD
          extern AAA      ; описание внешнего имени
UNIT1_$$_ARRAY_ADD:
          mov    eax,AAA    ; адрес массива AAA
          mov    ecx,5
.cycle:   add    byte[eax],5
          inc    eax
          loop   .cycle
          ret
```

Пример 3.6 Free Pascal – Assembler – Free Pascal




```
implementation
{$l text.o}
procedure Str1(S:ShortString,St:ShortString);external;
procedure Form1.Button1Click(Sender:TObject);
Var S,St:shortstring;
Begin
   S:=Edit1.text;
   Str1(S,St);      // вызов подпрограммы на ассемблере
                    // S -> EDI, St -> ESI
   Edit2.text:=St;
End;
```

Процедура Print для вызова из ассемблера

```
Unit Unit1;
interface
   …
   procedure Print(n:integer); // внешняя подпрограмма

implementation
   …
procedure Print(n:integer);
begin
   Form1.Edit3.text:=inttostr(n);
end;
```

Внимание! Внутреннее имя процедуры в объектном модуле:

UNIT1_$$_PRINT$LONGINT

Процедура на ассемблере

```
procedure Str1(S:ShortString,St:ShortString;external;
```

```
        global UNIT1_$$_STR1$SHORTSTRING$SHORTSTRING
        extern UNIT1_$$_PRINT$LONGINT
        section .text
UNIT1_$$_STR1$SHORTSTRING$SHORTSTRING:
        push rbp
        mov rbp,rsp
        push rcx
        push rax
        mov byte[rsi],3   ; запись длины строки
        mov rcx,3
        inc  rdi          ; пропуск байта длины строки
```

Параметры:
адрес S ->RDI
адрес St ->RSI

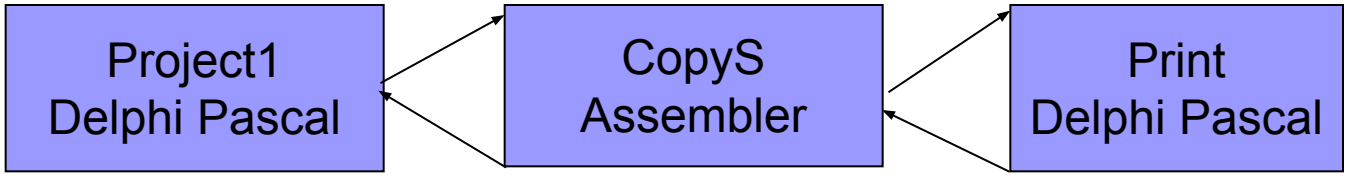
Процедура на ассемблере (2)

```
        xchg RSI,RDI
.cycle  movsb
        inc rsi
        loop .cycle
; вызов подпрограммы на Free Pascal
        mov rdi,3
        call UNIT1_$$_PRINT$LONGINT

        pop rax
        pop rcx
        mov rsp,rbp
        pop rbp
        ret
```

3.5.2 Локальные данные подпрограмм

Паскаль не позволяет создавать в подпрограммах глобальные переменные, поэтому в подпрограммах необходимо работать с локальными данными, размещаемыми в стеке.

Пример 3.7. Организация локальных переменных без использования директив ассемблера



Подпрограмма на ассемблере:

- получает строку,
- копирует в локальную память,
- затем копирует из лок. памяти в результат,
- вызывает Паскаль для вывода длины строки.

Для работы с локальными данными будем использовать структуры.

Структура

Структура – шаблон с описаниями форматов данных, который можно накладывать на различные участки памяти, чтобы затем обращаться к полям этих участков памяти с помощью имен, определенных в описании структуры.

Формат описания структуры:

struc <Имя структуры>

<Описание полей>

end**struc**

где <Описание полей> – любой набор псевдокоманд определения переменных или вложенных структур.

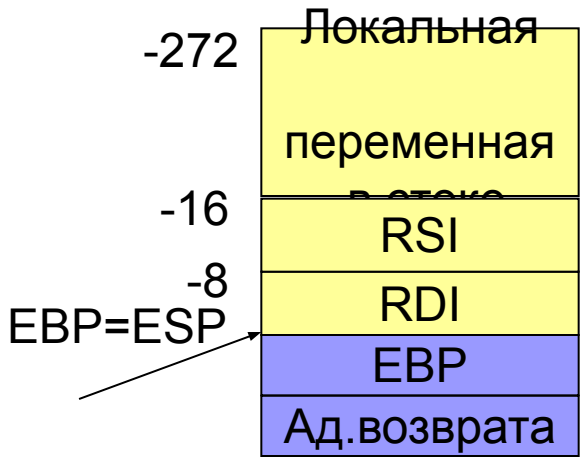
Пример:

```
struc Student
      Family    resb 20   ; Фамилия студента
      Name      resb 15 dup(' ')    ; Имя
      Birthdata resb 8      ; Дата  рождения
endstruc
```

Последовательность директив описывает, но не размещает в памяти структуру данных!!!

Пример 3.7. Создание локальных переменных

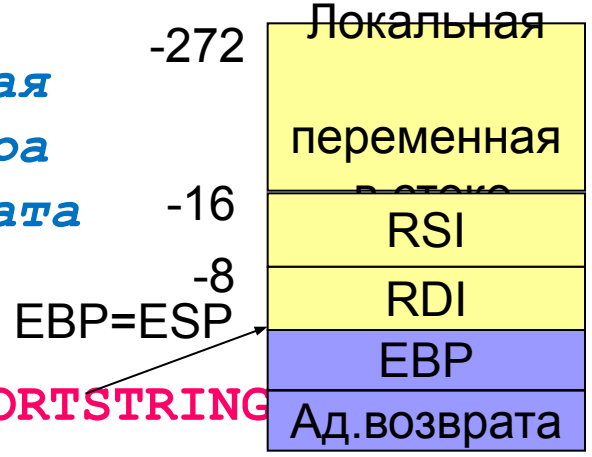
```
interface
procedure Print(n:integer);
implementation
{$l text.o}
function CopyS(St:ShortString):
         ShortString; external;

procedure Print(n:integer);
begin Form1.Edit3.Text:=inttostr(n);end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
Var S,St:ShortString;
begin St:=Edit1.Text;
      S:=CopyS(St);
      Edit2.Text:=S;
end;
```



Адрес S ->RSI
Адрес St -> RDI

Пример 3.7. Создание локальных переменных

```
struc A          ; описание структуры
   .S    resb    256 ; локальная переменная
   .RSI  resq    1 ; копия адреса параметра
   .RDI  resq    1 ; копия адреса результата
endstruc         ; завершение описания
         section .text
global   UNIT1_$$_COPYS$SHORTSTRING$$SHORTSTRING
         extern  UNIT1_$$_PRINT$LONGINT
UNIT1_$$_COPYS$SHORTSTRING$$SHORTSTRING:
         push    RBP          ; сохранение RBP
         mov     RBP,RSP      ; загрузка нового RBP
         sub     RSP,272      ; место под лок. переменные
         mov     [RBP-272+A.RSI],RSI ; адрес строки S
         mov     [RBP-272+A.RDI],RDI ; адрес строки St
         lea     RDI,[RBP-272+A.S] ;обращение к лок.п.
         xor     RAX,RAX
         lodsb                ; загрузка длины строки
         stosb                ; сохранение длины строки
```



Адрес S ->RSI
Адрес St -> RDI

Пример 3.7. Создание локальных переменных

```
mov     RCX,RAX   ; загрузка счетчика
cld
rep movsb         ; копирование строки
lea    RSI,[RBP-272+A.S] ; загрузка адреса копии
mov    RDI,[RBP-272+A.RDI]; загрузка адр. рез-та
lodsb             ; загрузка длины строки
stosb             ; сохранение длины строки
mov     RCX,RAX   ; загрузка счетчика
rep movsb         ; копирование строки
mov     RDI,RAX   ; длина строки
call    UNIT1_$$_PRINT$LONGINT   ; вывод длины
                                 ; строки
mov     RSP,RBP   ; удаление лок. переменных
pop     RBP       ; восстановление старого EBP
ret               ; возврат в программу
```

3.5.2 *Qt Creator (CLang) – NASM*

При написании программы на C++, вызывающей подпрограмму на ассемблере следует:

- используя пункт меню **Инструменты/Внешние/Настроить…,** добавить внешний инструмент - транслятор ассемблера: сначала добавляем категорию Ассемблер, потом утилиту NASM:

  Описание: **NASM**.
  Программа: **/usr/bin/nasm**
  Параметры: **-f elf64 %{CurrentDocument:FilePath}**
  -o %{CurrentRun:Executable:Path}/
  %{CurrentDocument:FileBaseName}.o
  -l %{CurrentDocument:Path}/
  %{CurrentDocument:FileBaseName}.lst
  Рабочий каталог: (оставляем пусто)
  Стандартный вывод: **Показать в консоли**
  Вывод ошибок: **Показать в консоли**

Лишние пробелы внутри имен файлов убрать

- в модуле на C++ подключаемые процедуры и функции на ассемблере объявить внешними **extern**, например:

```
extern void add1(int a,int b,int *c);
```

Qt Creator (CLang) – NASM (2)

- подключить к проекту файл – результат ассемблирования с расширением `.o` посредством добавления к файлу проекта .pro строки *OBJECTS*, например:

  OBJECTS += text.o

- обеспечить включение исходного модуля на ассемблере в дерево навигатора Qt Creator посредством добавления к файлу проекта строки *DISTFILES*, например:

  DISTFILES += text.asm

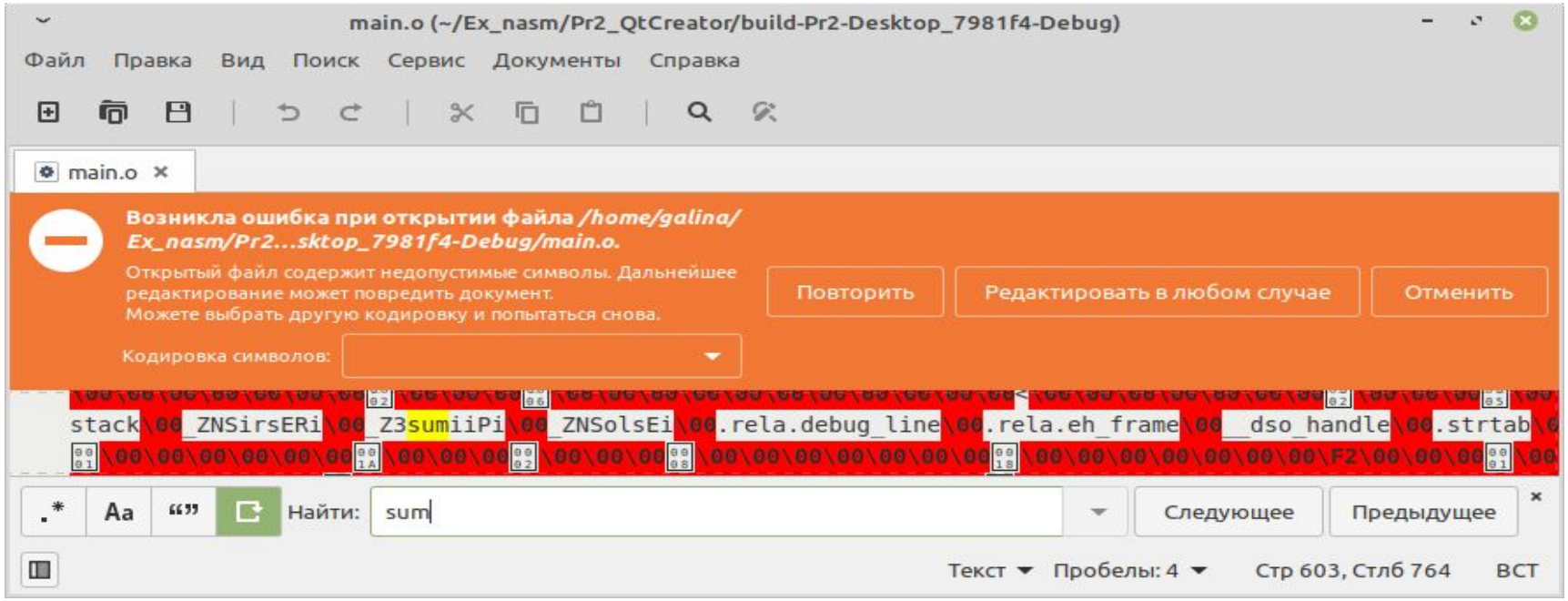
- отключить оптимизацию в процессе компиляции программы посредством добавления к файлу проекта строк *CONFIG*:

  CONFIG ~= s/-O[0123s]//g
  CONFIG += -O0

- задать подпрограмме на ассемблере требуемое компилятором имя, имя следует посмотреть открыв в любом текстовом редакторе содержимое файла объектного модуля вызывающей программы .o

- скопировать объектный модуль ассемблера в папку, в которой находится объектный модуль C++, или исправить настройки внешнего инструмента на заданные на слайде 53!!!

Поиск имени подпрограммы в объектном модуле вызывающей программы (редактор xed)



_Z<Целое число><Имя подпрограммы><Описание параметров>,
где <Целое число> – порядковый номер подпрограммы;
<Описание параметров> — строка кодов:
i — параметр целого типа;
c — параметр символьного типа;
Pi — указатель на параметр целого типа;
Pc — указатель на символ;
PKc — указатель на константный символ.

Пример 3.8 Связь Qt Creator - NASM

Программа определения суммы двух целых чисел.

Программа на C++ осуществляет ввод-вывод и вызов подпрограммы:

```
#include <iostream>
// прототип подпрограммы на ассемблере:
extern void sum(int x,int y,int *p);

int main()
{
    int d,b,c;
    std::cin >> d >> b;
    sum(d,b,&c);
    std::cout << c << std::endl;
    return 0;
}
```

Пример 3.8 Qt Creator – NASM (2)

```
extern void sum(int x,int y,int *p);
```

```
Параметры:
x  -> RDI
y  -> RSI
*p -> RDX
```

Текст подпрограммы на ассемблере:

```
        global  _Z3sumiiPi
        section .text
_Z3sumiiPi:
        push    rbp
        mov     rbp,rsp
        add     esi,edi
        mov     [rdx],esi
        mov     rsp,rbp
        pop     rbp
        ret
```

Пример 3.9 Создание внешних переменных в процедуре на ассемблере

Программа на C++:

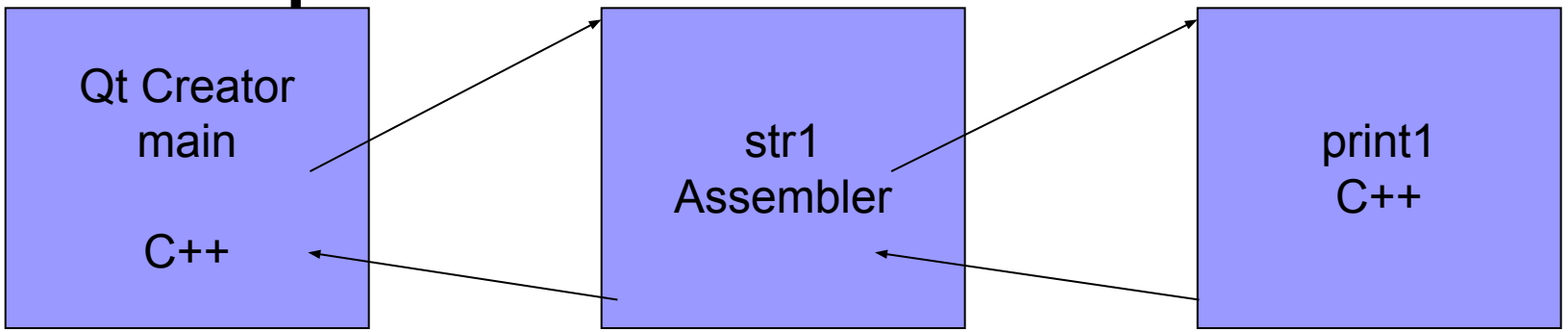
```
extern void sum1(int a, int b);
extern int fff;

int main()
{
  int a, b;
  std::cout << "Enter a and b:";
  std::cin >> a >> b;
  sum1(a, b);
  std::cout << "fff=" << fff;
  return 0;
}
```

Пример 3.9 Создание внешних переменных в процедуре на ассемблере (2)

Текст процедуры на ассемблере:

```
    global _Z4sum1ii
    global fff
    section .bss
fff     resd    1
    section .text
_Z4sum1ii:
        push rbp
        mov rbp,rsp

        add esi,edi
        mov [fff],esi

        mov rsp,rbp
        pop rbp
        ret
```

Пример 3.10 Вызов подпрограммы на C++ из ассемблера



Программа на C++ (вводит строку и выводит результат):

```
#include <string.h>
#include <iostream>
extern void str1(const char *s, char *sr);
int main()
{
  char s[20], sr[4];
  std::cout << "Enter s:";
  std::cin >> s;
  str1(s,sr);
  std::cout << sr<< std::endl;   return 0;}
```

Пример 3.10 Вызов подпрограммы на C++ из ассемблера (2)

Подпрограмма на C++, вызываемая из процедуры на ассемблере, выводит длину строки на экран:

```
void print1(int n)
{
    std::cout<<n<<'\n';
}
```

Пример 3.10 Вызов подпрограммы на C++ из ассемблера (3)

Процедура на ассемблере (копирует 1-й, 3-й и 5-й символы из заданной строки в строку результата):

```
    global    _Z4str1PKcPc
    extern    _Z6print1i
    section .text
_Z4str1PKcPc:
      ; пролог
        push rbp
        mov rbp,rsp
      ; сохранение содержимого регистров
        push rcx
        push rax
```

Содержимое регистра RAX на самом деле можно не сохранять, поскольку он может быть использован для возврата результата при вызове функции.

Пример 3.10 Вызов подпрограммы на C++ из ассемблера (4)

```
        mov ecx,3
        xchg rdi,rsi
.cycle:
        movsb
        inc rsi
        loop .cycle
        mov byte[rsi],0
    ; вызов процедуры на C++
        mov rdi,3
        call _Z6print1i
    ; восстановление регистров
        pop rax
        pop rcx
    ; эпилог
        mov rsp,rbp
        pop rbp
        ret
```