«Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ **09.03.01 Информатика и вычислительная техника**

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе № 1

Дисциплина: Машинно-зависимые языки и основы компиляции

Название лабораторной работы: Изучение среды и отладчика ассемблера

Студент гр. ИУ6-43Б	**01.03.2022** (Подпись, дата)	**М.А. Мяделец** (И.О. Фамилия)
Преподаватель	_____ (Подпись, дата)	**М.В. Широкова** (И.О. Фамилия)

Москва, 2022

Изучение среды и отладчика ассемблера

Цель работы: изучение процессов создания, запуска и отладки программ на ассемблере Nasm под управлением операционной системы Linux, а также особенностей описания и внутреннего представления данных.

Задание 1. Выполнение шаблона и работа с отладчиком.

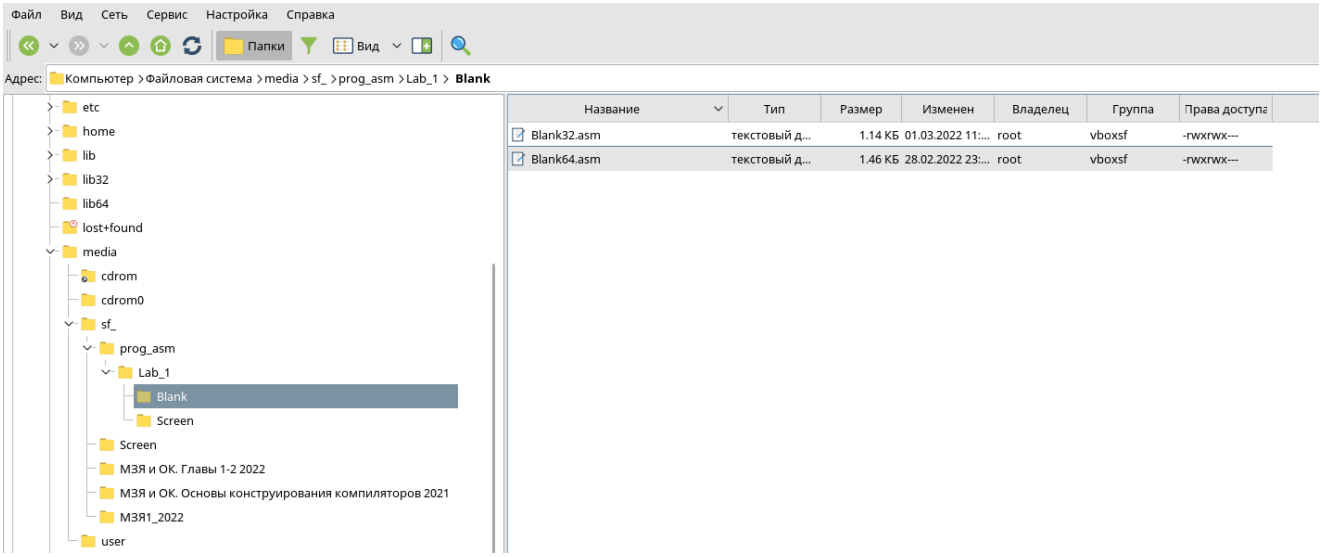


Рисунок 1 - Шаблоны для 32-разрядной и 64-разрядной программ

Запустим на 64-разрядном компьютере 32-разрядную программу в режиме **эмуляции** (смотри рисунок 2).

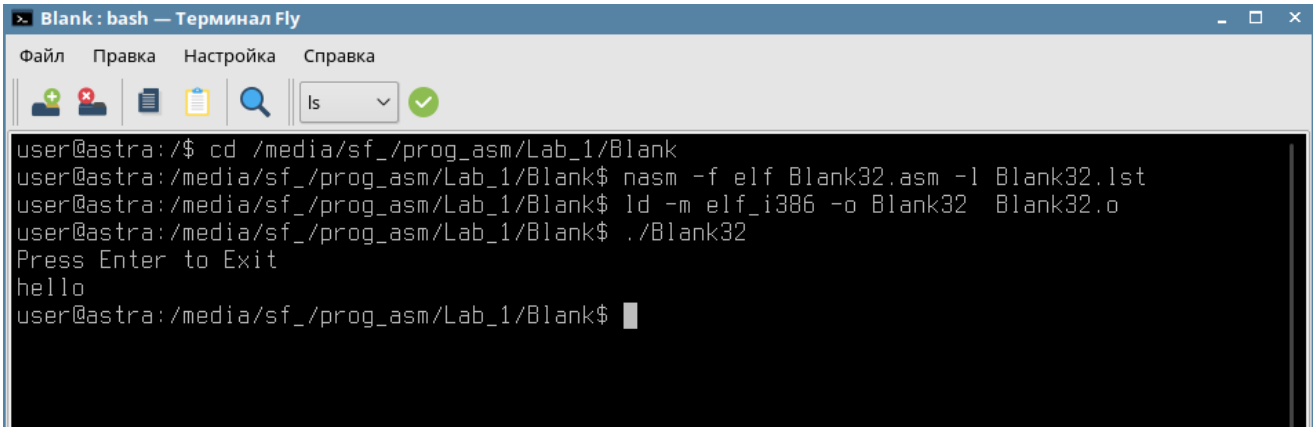
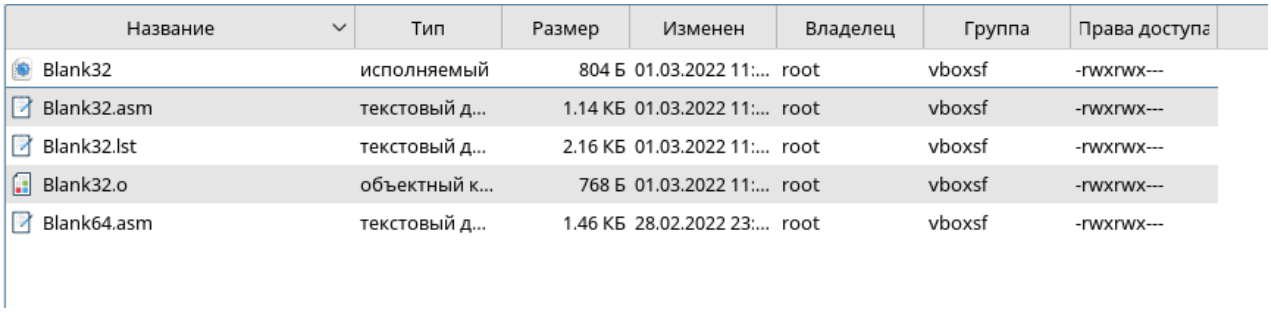


Рисунок 2 - Трансляция, компоновка и выполнение программы Blank32



Название	Тип	Размер	Изменен	Владелец	Группа	Права доступа
Blank32	исполняемый	804 Б	01.03.2022 11:...	root	vboxsf	-rwxrwx---
Blank32.asm	текстовый д...	1.14 КБ	01.03.2022 11:...	root	vboxsf	-rwxrwx---
Blank32.lst	текстовый д...	2.16 КБ	01.03.2022 11:...	root	vboxsf	-rwxrwx---
Blank32.o	объектный к...	768 Б	01.03.2022 11:...	root	vboxsf	-rwxrwx---
Blank64.asm	текстовый д...	1.46 КБ	28.02.2022 23:...	root	vboxsf	-rwxrwx---

Рисунок 3 - Созданные файлы

`nasm -f elf Blank32.asm -l Blank32.lst`

Трансляция программы. Создание объектного файла Blank32.o и файла листинга Blank32.lst (смотри рисунок 5), в который помещается листинг программы и сообщения об ошибках.

`ld -m elf_i386 -o Blank32  Blank32.o`

Компоновка в режиме эмуляции 32-х разрядной адресации. Создание исполняемого файла Blank32.out (смотри рисунок 3).

`./Blank32`

Выполнение программы (см. рисунок 4).

`edb --run Blank32`

Запуск отладки программы (см. рисунок 6).

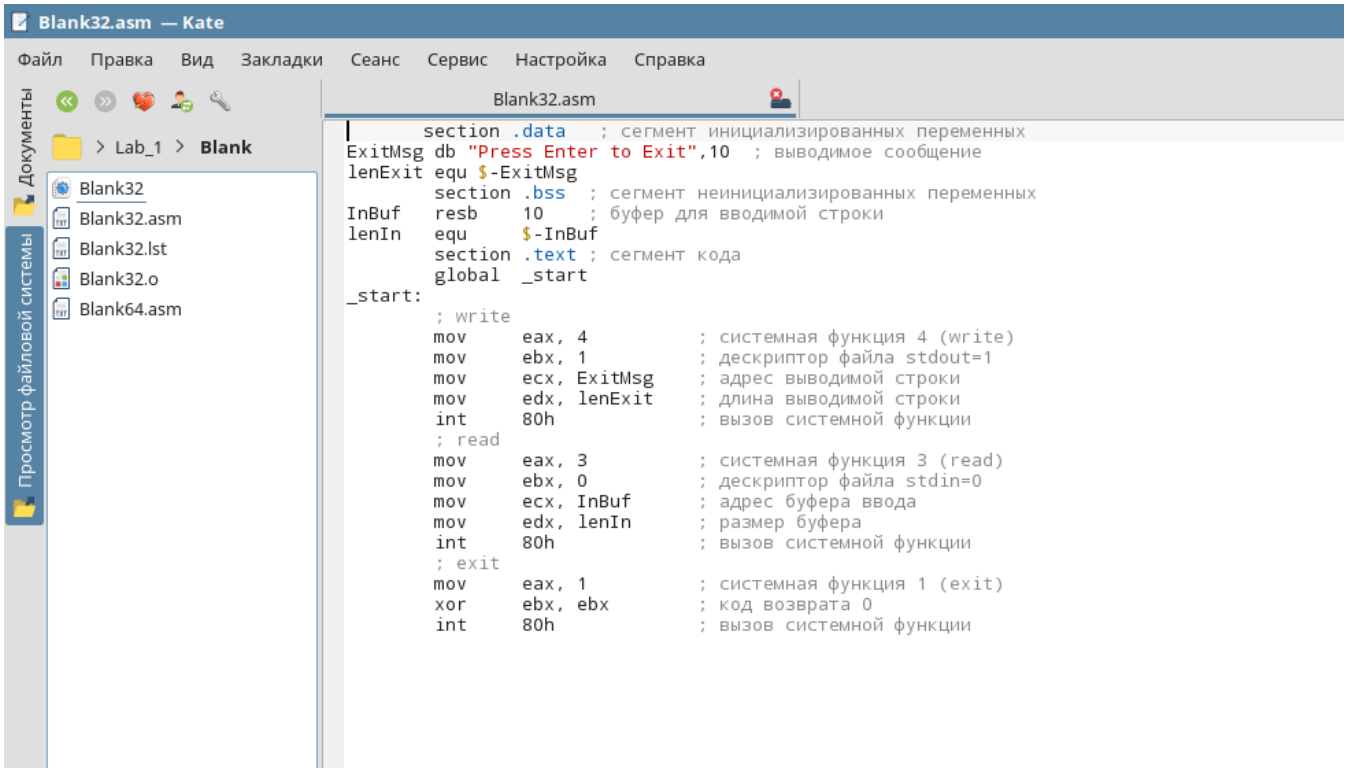


Рисунок 4 - Программа на языке ассемблера в редакторе Kate

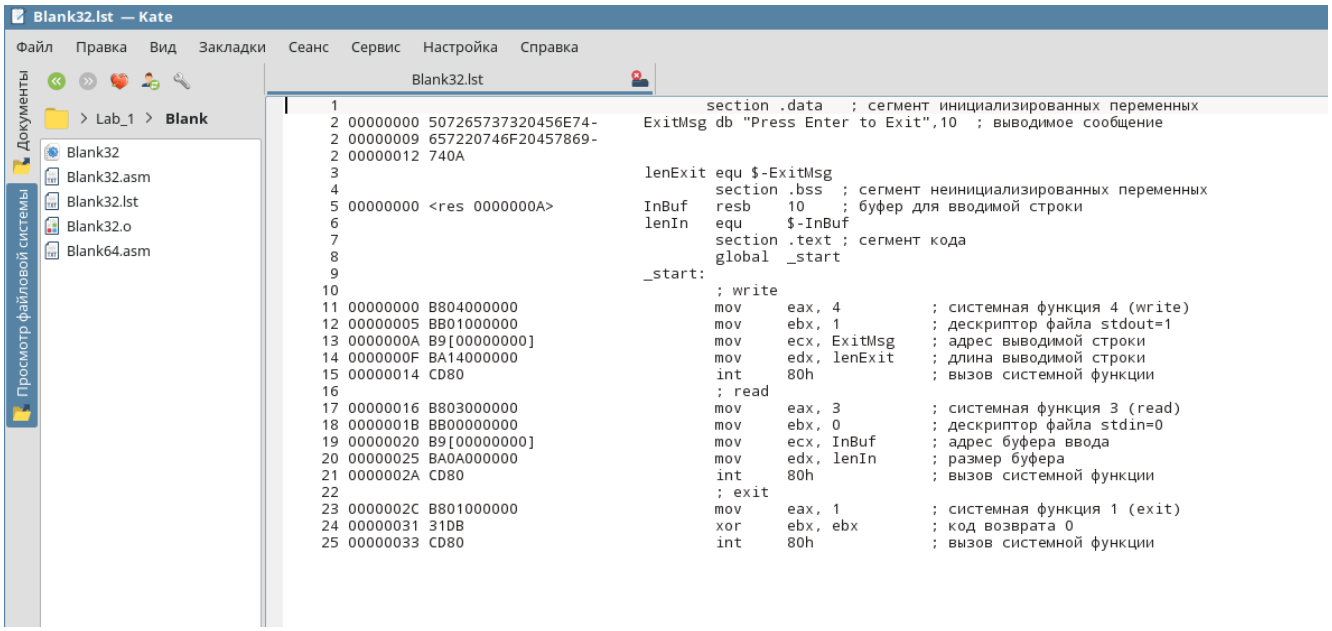


Рисунок 5 - Листинг программы

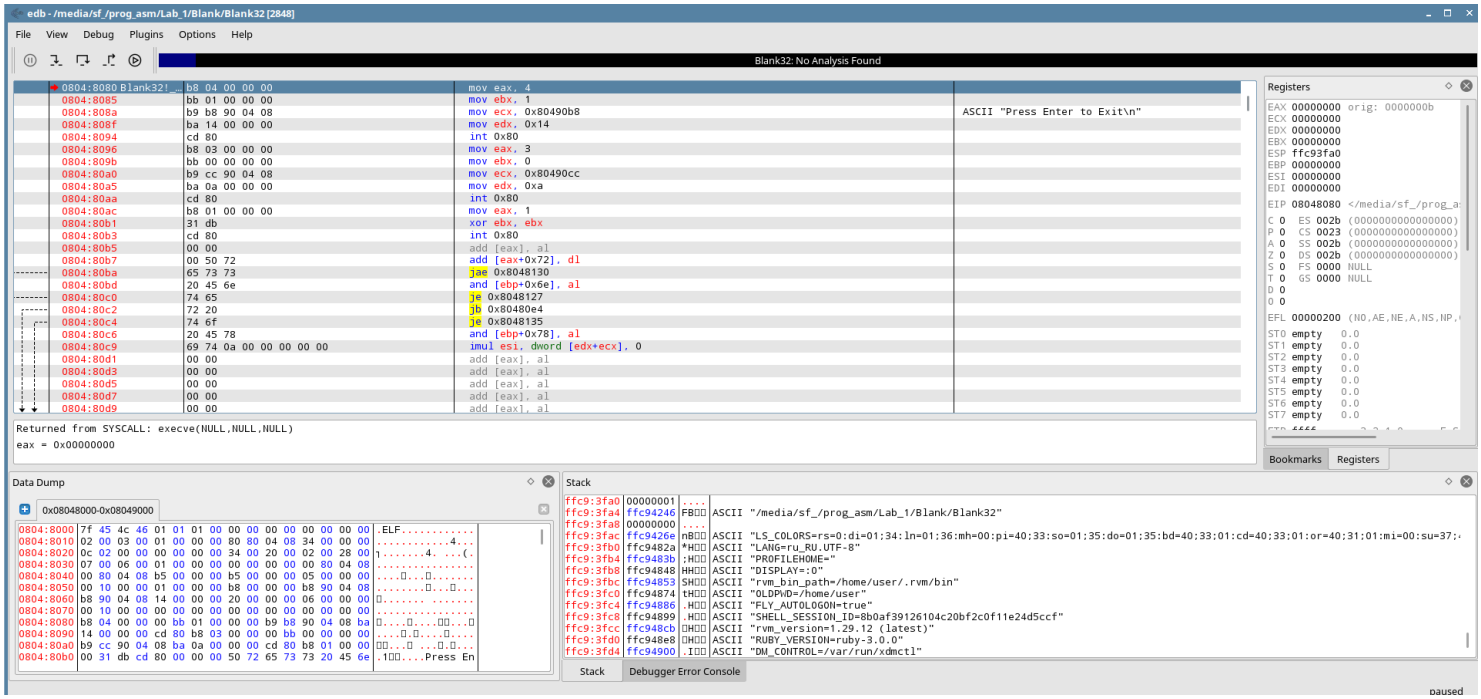


Рисунок 6 - Отладчик edb с исполняемой программой Blank32.out

Настройка на нужный адрес области сегмента данных (смотри рисунок 7).

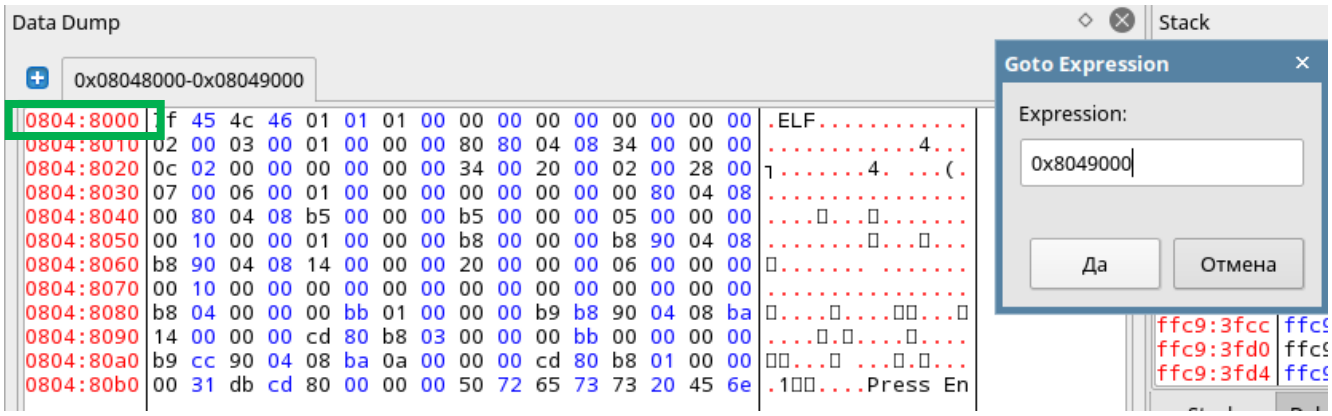


Рисунок 7 - Goto Expression

Относительный адрес данных, т.е. смещение в соответствующем сегменте, стал равным указанному в «Goto Expression» (смотри рисунок 8).

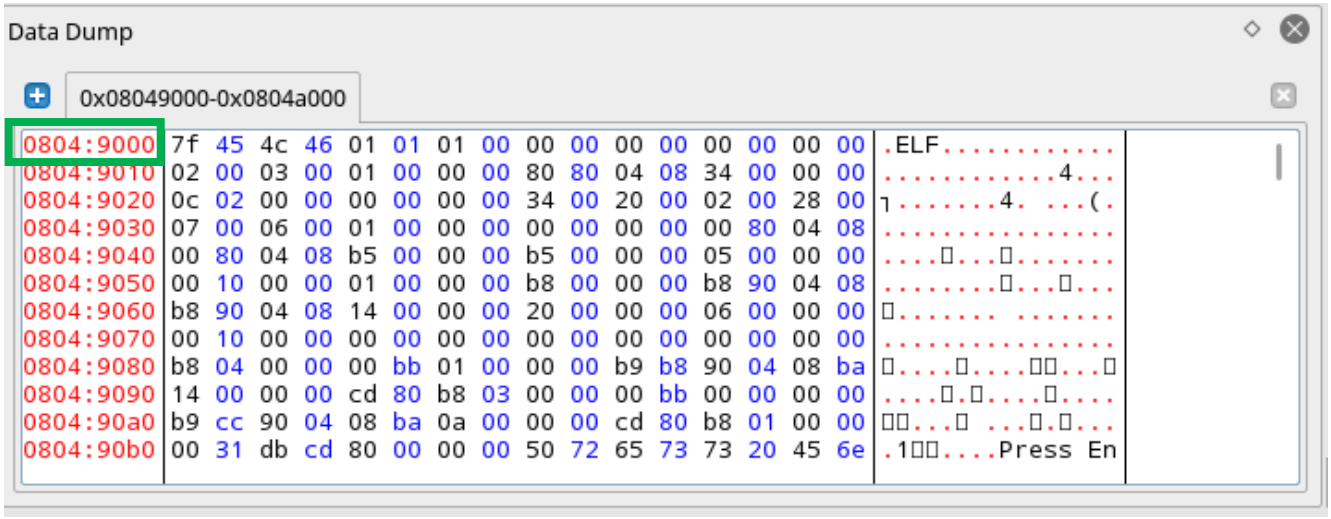


Рисунок 8 - Data Dump

`mov eax, 4`

Пересылка литерала со значение 4 в регистр EAX (смотри рисунок 9).

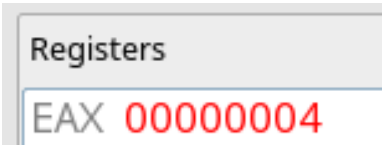


Рисунок 9 - Значение регистра EAX

`mov ecx, ExitMsg`

Пересылка адреса, который символизирует идентификатор ExitMsg, в регистр ECX (смотри рисунки 10, 11 и 12).

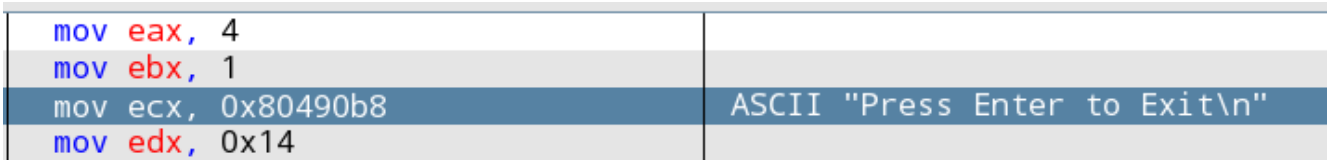


Рисунок 10 - Дисассемблированный код в отладчике

Рисунок 11 - Значение регистра ECX

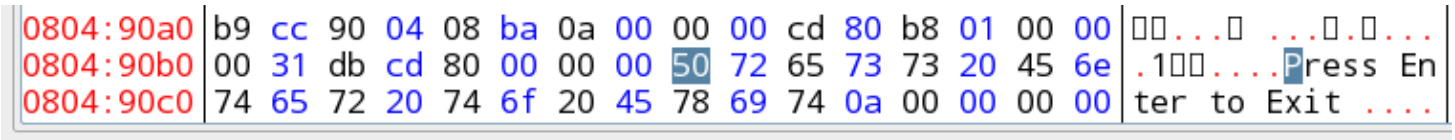


Рисунок 12 - Шестнадцатеричный дамп сегментов данных

Задание 2. Вычисление выражения.

Вычислим выражение (смотри рисунок 13)

$$X=A+5-B$$

Рисунок 13 – Выражение

Напишем программу, выполняющую данную задачу (смотри рисунки 14, 15).

```
        section .data   ; сегмент инициализированных переменных
ExitMsg db "Press Enter to Exit",10  ; выводимое сообщение
lenExit equ $-ExitMsg
A       dw -30
B       dw 21

        section .bss  ; сегмент неинициализированных переменных
InBuf   resb    10    ; буфер для вводимой строки
lenIn   equ     $-InBuf
X       resw    1

        section .text ; сегмент кода
        global  _start
_start:
        mov     AX, [A]
        add     AX, 5
        sub     AX, [B]
        mov     [X], AX
```

Рисунок 14 - Реализация программы по вычислению выражения (16-разрядные регистры)

```
66 a1 e0 90 04 08      mov ax, [0x80490e0]
66 83 c0 05            add ax, 5
66 2b 05 e2 90 04 08   sub ax, [0x80490e2]
66 a3 ee 90 04 08      mov [0x80490ee], ax
```

Рисунок 15 - Вычисление выражения – просмотр кода в отладчике

`mov AX, [A]`

Заносим в младшую часть регистра EAX, т.е. AX, содержимое по адресу A, т.е. -30.

Переведем значение регистра AX (2 байта) после пересылки в дополнительный код с учетом знакового бита (смотри таблицу 1 и результат – рисунок 17).

Таблица 1. Внутреннее представление числа

Десятичная система	-30
Прямой код	**1**0000000 00011110 (первый бит знаковый)
Обратный код	**1**1111111 11100001
Дополнительный код	**1**1111111 11100010 = **FF E2** (в 16-ричной)

Рассмотрим флажковый регистр.

1) **C**F = 1 при переполнении в операциях с числами без знака (первый на рисунке 16).

2) **O**F = 1 при переполнении в операциях с числами со знаком (последний на рисунке 16).

3) **P**F = 1, если младший значащий байт результата содержит чётное число единичных (ненулевых) битов.

4) **Z**F = 1, если результат равен 0.

5) **S**F равен знаковому биту числа (0 – положительное число, 1 – отрицательное)

Эти флаги состояния отражают результат выполнения арифметических инструкций, таких как ADD, SUB, MUL, DIV (смотри рисунки 16, 17).

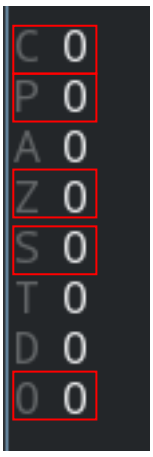


Рисунок 16 - EFLAGS

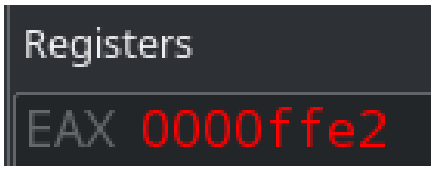


Рисунок 17 - Результат первой команды

`add AX, 5`

Произведем расчет: -30 + 5 = -25 = FF E7 (в дополнительном коде).

Флаги **CF, OF, ZF равны 0**. Флаг **PF = 1**, т.к. младший байт (из двух) числа -25 (11100111) содержит четное количество единиц, **SF = 1**, т.к. у отрицательного числа знаковый бит равен 1 (смотри рисунки 18, 19).

Рисунок 18 - EFLAGS после add

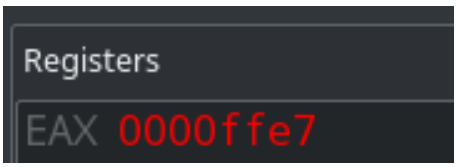


Рисунок 19 - Результат второй команды

`sub AX, [B]`

Произведем расчет: -25 - 21 = -46 = FF D2 (в дополнительном коде).

Состояния флажкового регистра не изменились (смотри рисунки 20, 21).

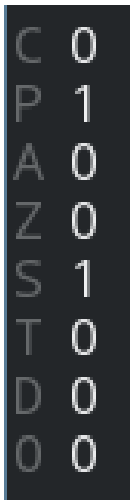


Рисунок 20 - EFLAGS после sub

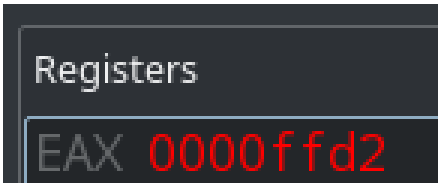


Рисунок 21 - Результат третьей команды

mov [X], AX

Поместим значение, находящиеся в регистре EAX в ячейку адреса, которую символизирует имя X = 0x080490ee.

После выполнения всех команд оперативной памяти остались числа, находящиеся по адресам A, B, X (смотри рисунок 22).

A = -30 = FF E2 (в дополнительном коде в 16-ричной системе) – находится по адресу 0x080490e0 и занимает 2 байта.

B = 21 = 00 15 (в 16-ричной системе) – находится по адресу 0x080490e2 и занимает 2 байта.

X = -46 = FF D2 (в дополнительном коде в 16-ричной системе) – находится по адресу 0x080490ee и занимает 2 байта.

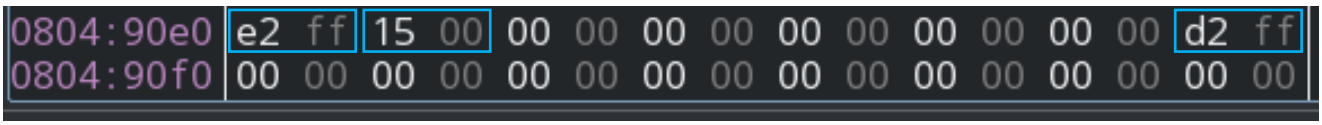


Рисунок 22 - Dump Data после выполнения вычислений

Как мы можем заметить, числа в оперативной памяти расположены в обратном порядке, сначала младший байт, потом старший.

Проверим результат при использовании 32-битных регистров (смотри рисунок 23).

```
        section .data   ; сегмент инициализированных переменных
ExitMsg db "Press Enter to Exit",10  ; выводимое сообщение
lenExit equ $-ExitMsg
A       dd -30
B       dd 21

        section .bss  ; сегмент неинициализированных переменных
InBuf   resb    10    ; буфер для вводимой строки
lenIn   equ     $-InBuf
X       resd    1

        section .text ; сегмент кода
        global  _start
_start:
        mov     EAX, [A]
        add     EAX, 5
        sub     EAX, [B]
        mov     [X], EAX
```

Рисунок 23 - Реализация программы по вычислению выражения (32-разрядные регистры)

Можно заметить, что теперь коды команд не содержат префикс размера операнда 66h (смотри рисунок 24).

```
a1 dc 90 04 08          mov eax, [0x80490dc]
83 c0 05                add eax, 5
2b 05 e0 90 04 08       sub eax, [0x80490e0]
a3 ee 90 04 08          mov [0x80490ee], eax
```

Рисунок 24 - Машинный и дисассемблированный коды

Используя регистр EAX, а не только его младшую часть AX, знаковый бит в дополнительном коде будет распространятся на все 32 бита (не на 16 бит, как в прошлом примере). Соответственно, в оперативной памяти также будут наблюдаться 4-х байтные числа в обратном порядке (смотри рисунок 25).

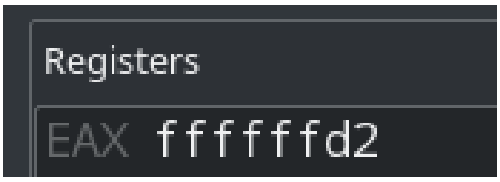


Рисунок 25 - Результат вычислений

Задание 3. Внутреннее представление данных.

Введем следующие инициализированные и неинициализированные данные (смотри рисунок 26).

```
        section .data   ; сегмент инициализированных переменных
ExitMsg db "Press Enter to Exit",10  ; выводимое сообщение
lenExit equ $-ExitMsg

val1    db 255
chart   dw 256
lue3    dw -128
v5      db 10h
        db 100101B
beta    db 23,23h,0ch
sdk     db "Hello",10
min     dw -32767
ar      dd 12345678h
valar   times 5 db 8


        section .bss  ; сегмент неинициализированных переменных
InBuf   resb    10    ; буфер для вводимой строки
lenIn   equ     $-InBuf

alu     resw 10
f1      resb 5
```

Рисунок 26 - Дисассемблированный код

Рассмотрим размещение в памяти инициализированных переменных (смотри рисунок 27).

Data Dump

0x08049000-0x0804a000

```
0804:9090 14 00 00 00 cd 80 b8 03 00 00 00 bb 00 00 00 00 ....□.□....□....
0804:90a0 b9 e8 90 04 08 ba 0a 00 00 00 cd 80 b8 01 00 00 □□...□  ...□.□...
0804:90b0 00 31 db cd 80 00 00 00 50 72 65 73 73 20 45 6e .1□□....Press En
0804:90c0 74 65 72 20 74 6f 20 45 78 69 74 0a ff 00 01 80 ter to Exit □...
0804:90d0 ff 10 25 17 23 0c 48 65 6c 6c 6f 0a 01 80 78 56 □.%.#┐Hello  ..xV
0804:90e0 34 12 08 08 08 08 08 00 00 00 00 00 00 00 00 00 4...............
0804:90f0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ................
```

Рисунок 27 - Data Dump. Выделен байт, с которого начинаются значения.

Сопоставим значения данных, которые мы задаем на языке ассемблера в задании 3, с их внутренним представлением в оперативной памяти (смотри таблицу 2).

Таблица 2 - Инициализированные данные.

Имя поля данных	Директива (тип)	Константы (последовательность констант)	Внутреннее представление
val1	db	255	FF
chart **(1)**	dw	256	00 01
lue3 **(2)**	dw	-128	80 ff
v5	db	10h	10
	db	100101B	25
beta	db	23, 23h, 0ch	17 23 0c
sdk **(3)**	db	“Hello”, 10	48 65 6c 6c 6f 0a
min **(4)**	dw	-32767	01 80
ar	dd	12345678h	78 56 34 12
valar	times 5 db	8	08 08 08 08 08

Байты данных в оперативной памяти располагаются в обратном порядке. Объясним внутреннее представление некоторых «переменных», обозначенных цифрой в скобках.

1) 256 = 00000001 00000000 (в 2-ичной) = **01 00** (в 16-ричной)

2) -128 = **1**0000000 10000000 (прямой код со знаковым битом) = **1**1111111 01111111 (обратный код) = 1111111 10000000 (дополнительный код) = **ff 80** (в 16-ричной)

3) По таблице ASCII символу ‘H’ сопоставлен код 72 (в 10-ричной) = **48** (в 16-ричной). Символу ‘e’ сопоставлен код 101 (в 10-ричной) = **65** (в 16-ричной). Последнее число в списки инициализации 10 = **0a** (в 16-ричной), обозначающее конец строки в ОС Linux.

4) -32767 = **1**111 1111 1111 1111 (прямой код со знаковым битом) = **1**000 0000 0000 0000 (обратный код) = 1000 0000 0000 0001 (дополнительный код) = **80 01** (в 16-ричной)

Адреса неинициализированных данных символизируются с именами alu и f1. Для alu будет зарезервировано 10 * 2 = 20 байт, так как использована директива resw, для f1 – 5 * 1 = 5 байт, т.к. использована директива resb.

Задание 4.

Определим в памяти следующие данные (смотри рисунки 28 и 29).

1) целое число 25 размером 2 байта со знаком;
2) двойное слово, содержащее число -35;
3) символьную строку, содержащую ваше имя (русскими буквами и латинскими буквами).

```
val1    dw 25
val2    dd -35
str_en  db "Mikhail", 10
str_ru  db "Михаил", 10
```

Рисунок 28 - Инициализированные данные в секции .data.

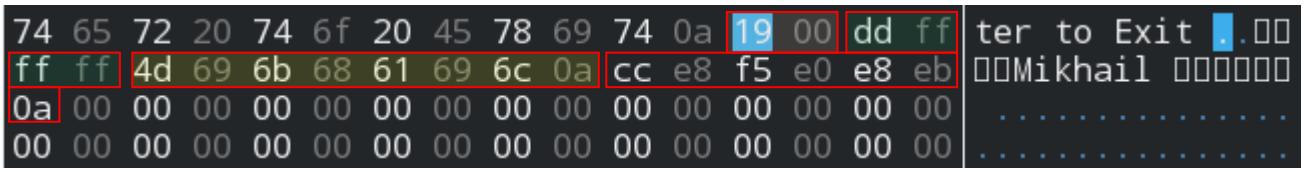


Рисунок 29 - Data Dump. Выделен байт, с которого начинаются значения.

Сопоставим значения данных, которые мы задаем на языке ассемблера в задании 4, с их внутренним представлением в оперативной памяти (смотри таблицу 3).

Таблица 3 - Инициализированные данные.

Имя поля данных	Директива (тип)	Константы (последовательность констант)	Внутреннее представление
val1	dw	25	19 00
val2	dd	-35	dd ff ff ff
str_en	db	"Mikhail", 10	4d 69 6b 68 61 69 6c 0a
str_ru	db	"Михаил", 10	**cc** e8 f5 e0 e8 eb 0a

Замечание. Русские символы не отображаются из-за того, что используется кодировка UTF-16 (таблица Unicode), в которой русские символы соответствуют кодам, начиная с 1040 (‘А’), т.е. кодируются двумя байтами. Коду **CC** (16-ричный) соответствует данный символ – Ì (смотри рисунок 30).

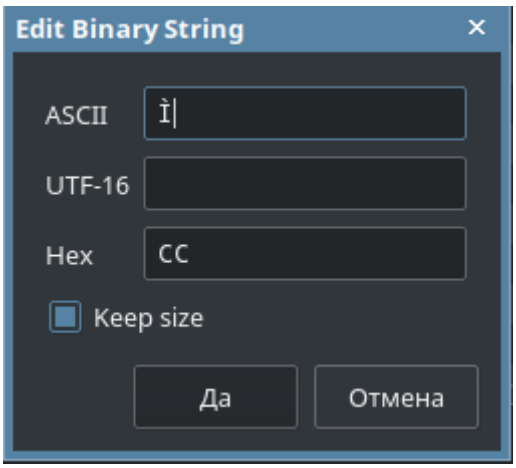


Рисунок 30 - Символ с кодом CC в таблице Unicode

Задание 5.

Определим константы в программе, которые во внутреннем представлении выглядят как **25 00** и **00 25** (смотри рисунки 31, 32).

```
val1_1     dw 25h
val1_2     dw 37
val1_3     dw 100101b
val1_4     dw "%"
val1_5     dw 45o

val2_1     dw 2500h
val2_2     dw 9472
val2_3     dw 10010100000000b
val2_5     dw 22400o
```

Рисунок 31 - Инициализированные данные.

```
0804:90c0 74 65 72 20 74 6f 20 45 78 69 74 0a 25 00 25 00  ter to Exit %.%.
0804:90d0 25 00 25 00 25 00 00 25 00 25 00 25 00 25 00 00  %.%.%..%.%.%.%..
0804:90e0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
```

Рисунок 32 - Внутреннее представление значений.

Задание 6.

Добавим в программу переменную F1 =65535 размером слово и переменную F2 = 65535 размером двойное слово (смотри рисунок 33). Сложим эти переменные с единицей и проанализируем результат (смотри рисунки 34, 35).

Blank32_5.asm

```
        section .data   ; сегмент инициализированных переменных
ExitMsg db "Press Enter to Exit",10  ; выводимое сообщение
lenExit equ $-ExitMsg

F1      dw 65535
F2      dd 65535

        section .bss  ; сегмент неинициализированных переменных
InBuf   resb    10    ; буфер для вводимой строки
lenIn   equ     $-InBuf


        section .text ; сегмент кода
        global  _start
_start:

        add [F1], 1
        add [F2], 1
```

Рисунок 33 - Дисассемблированный код.

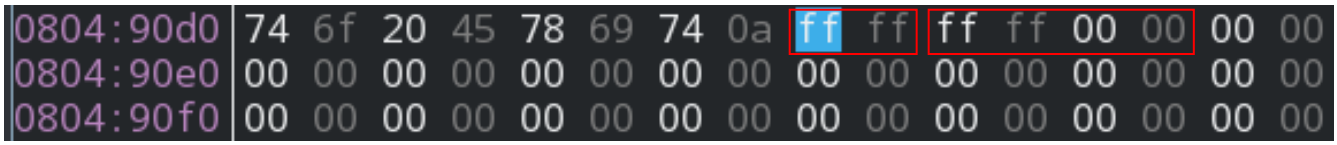


Рисунок 34 - Исходные значения в памяти

Рисунок 35 - EFLAGS после сложения F1 + 1.

Состояния флажкового регистра после первой операции (смотри рисунок 35):

1) **C**F = 1 – произошло переполнение, т.к. 65536 = 01 00 00 (в 16-ричной). Видим, что для хранения числа 65536 нужно минимум 3 байта (директива dw определяет 2 байта)

2) **P**F = 1 – младший байт числа 65536 содержит четное количество единиц (0 единиц).

3) **Z**F = 1 – результат равен 0 (00 00 в 16-ричной).

Рисунок 36 - EFLAGS после сложения F2 + 1.

Состояния флажкового регистра после второй операции (смотри рисунок 36):

1) **C**F = 0 – **не** произошло переполнение, т.к. 65536 = 00 01 00 00 (в 16-ричной).

2) **P**F = 1 – младший байт числа 65536 содержит четное количество единиц (0 единиц).

3) **Z**F = 0 – результат **не** равен 0.

Убедится в правильности рассуждений можно, посмотрев в Dump памяти (смотри рисунок 37)

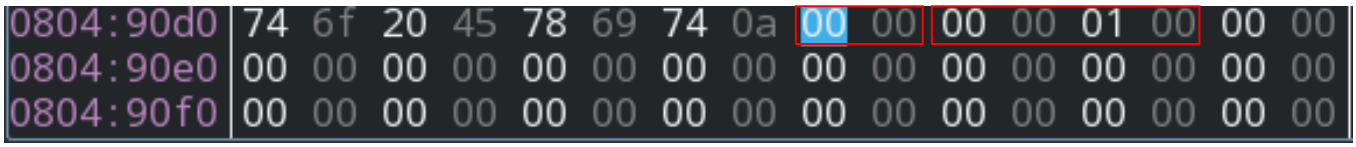


Рисунок 37 - Новые значения в памяти

Контрольные вопросы.

1) *Дайте определение ассемблеру. К какой группе языков он относится?*

Язык ассемблера или ассемблер — язык низкого уровня с командами, соответствующими командам процессора (так называемым машинным командам).

2) *Из каких частей состоит заготовка программы на ассемблере?*

Заготовка программы состоит из сегмента инициализированных и неинициализированных переменных и сегмента кода, в котором описаны системные функции 4, 3 и 1 (write, read и exit соответственно).

3) *Как запустить программу на ассемблере на выполнение? Что происходит с программой на каждом этапе обработки?*

Ответ на странице 3

4) *Назовите основные режимы работы отладчика. Как осуществить пошаговое выполнение программы и просмотреть результаты выполнения машинных команд.*

Отладчик позволяет выполнять программу по шагам, заходя или не заходя в подпрограммы, и при этом анализировать изменения содержимого регистров,

памяти и стека. Для этого используют соответствующие пункты меню или следующие клавиши:

- F7 — выполнить шаг с заходом в подпрограмму;
- F8 — выполнить шаг без захода в подпрограмму;
- Ctrl + F2 — начать отладку сначала;
- Ctrl + F9 — выполнить подпрограмму до возврата из нее.

5) В каком виде отладчик показывает положительные и отрицательные целые числа? Как будут представлены в памяти числа: A dw 5,-5 ? Как те же числа будут выглядеть после загрузки в регистр AX?

Положительные числа представляются в прямом двоичном коде, отрицательные – в дополнительном. 5 будет представлена как **05 00**, -5 будет представлена как **FB FF**. В регистре AX значения данных хранятся в прямом порядке, в отличие от оперативной памяти, поэтому 5 будет выглядеть как **00 05**, -5 – как **FF FB.**

6) Каким образом в ассемблере программируются выражения? Составьте фрагмент программы для вычисления C=A+B, где A, B и C – целые числа формата BYTE.

Программа представлена на рисунке 38.

```
        section .data   ; сегмент инициализированных переменных
ExitMsg db "Press Enter to Exit",10  ; выводимое сообщение
lenExit equ $-ExitMsg
A       db 5
B       db 3

        section .bss  ; сегмент неинициализированных переменных
InBuf   resb    10    ; буфер для вводимой строки
lenIn   equ     $-InBuf
C       resb    1

        section .text ; сегмент кода
        global  _start
_start:
        mov     AL, [A]
        add     AL, [B]
        mov     [C], AL

        ; write
```

Рисунок 38 - Дисассемблированный код. Задание.

Вывод: была выполнена лабораторная работа 1, которая была связана с изучением среды и отладчика ассемблера. В ходе выполнения заданий были изучены структура простейшей программы на ассемблере NASM, ввод, трансляция, компоновка и выполнение программы, работа с отладчиком для анализа значений регистров и внутреннего представления данных в оперативной памяти. Результаты тестирования корректны, работы выполнена успешно!