

**РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ**  
**Факультет физико-математических и естественных наук Кафедра**  
**прикладной информатики и теории вероятностей**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе № 9**  
дисциплина: Архитектура компьютера

Студент: Клименко Кирилл Русланович

Группа: НММбд-02-24

**МОСКВА**

2025г.

# **Содержание**

<b>1 Цель работы</b>	<b>6</b>
<b>2 Задание</b>	<b>7</b>
<b>3 Теоретическое введение</b>	<b>9</b>
<b>4 Выполнение лабораторной работы</b>	<b>14</b>
<b>5 Выводы</b>	<b>41</b>
<b>Список литературы</b>	<b>42</b>

# Список иллюстраций

4.1 Создание каталога для выполнения лабораторной работы .....	14
4.2 Листинг 1.....	15
4.3 Результаты работы программы из листинга 1 методического указания	16
4.4 Листинг1 с внесенными изменениями .....	17
4.5 Результаты работы программы из листинга 1 с внесенными изменениями.....	18
4.6 Листинг 2.....	19
4.7 Отладка программы из Листинга 2.....	20
4.8 Проверка работы программы с помощью команды run.....	21
4.9 Брейкпоинт на метку _start.....	22
4.10 Дисассимилированный код программы.....	23
4.11 Отображение команд с Intel'овским синтаксисом .....	24
4.12 Режим псевдографики.....	25
4.13 Установка точки останова по адресу инструкции .....	26
4.14 Просмотр регистров.....	27
4.15 Измененные регистры .....	27
4.16 Значение переменной msg1 .....	29
4.17 Значение переменной msg2.....	29
4.18 Измененное значение переменной msg1.....	30
4.19 Измененное значение переменной msg2 .....	30
4.20 Значение регистра edx в различных форматах .....	30
4.21 Значение регистра ebx.....	31
4.22 Завершение работы с файлов.....	31
4.23 Создание исполняемого файла lab09-3.asm.....	32
4.24 Запуск файла в отладчике .....	32
4.25 Точка останова перед первой инструкцией в программе .....	33
4.26 Адрес вершины стека.....	33
4.27 Все позиции стека .....	34
4.28 Листинг 1 самостоятельного задания №1 .....	35
4.29 Результат работы программы.....	36
4.30 Листинг из самостоятельного задания №2 .....	37
4.31 Проверка результата работы программы из Листинга самостоятельного задания №2.....	37
4.32 Запуск программы в отладчике .....	38
4.33 Анализ регистров .....	39
4.34 Повторный запуск программы.....	39
4.35 Листинг программы .....	40



# **Список таблиц**

# **1 Цель работы**

Приобретение навыков написания программ с использованием подпрограмм.  
Знакомство с методами отладки при помощи GDB и его основными возможностями.

## **2 Задание**

1. Создать каталог для выполнения лабораторной работы № 9, перейти в него и создать файл lab09-1.asm.
2. Ввести в файл lab09-1.asm текст программы из листинга 1 методического указания. Создать исполняемый файл и проверить его работу.
3. Изменить текст программы, добавив подпрограмму \_subcalcul в подпрограмму \_calcul, для вычисления выражения  $f(g(x))$ , где  $x$  вводится с клавиатуры,  $f(x) = 2x + 7$ ,  $g(x) = 3x + 1$ . Т.е.  $x$  передается в подпрограмму \_calcul из нее в подпрограмму \_subcalcul, где вычисляется выражение  $g(x)$ , результат возвращается в \_calcul и вычисляется выражение  $f(g(x))$ . Результат возвращается в основную программу для вывода результата на экран.
4. Создать файл lab09-2.asm с текстом программы из Листинга 2 методического указания.
5. Получить исполняемый файл. Для работы с GDB в исполняемый файл необходимо добавить отладочную информацию. Загрузить исполняемый файл в отладчик.
6. Проверить работу программы, запустив ее в оболочке GDB.
7. Установить брейкпоинт на метку \_start и запустить её.
8. Посмотреть дисассимилированный код программы.
9. Переключить на отображение команд с Intel'овским синтаксисом.

10. Включить режим псевдографики.
11. Установить несколько точек останова.
12. Выполнить 5 инструкций с помощью команды si.
13. Посмотреть значение переменных msg1 и msg2.
14. Изменить значение переменных msg1 и msg2.
15. Вывести в различных форматах значение регистра edx.
16. Изменить значение регистра ebx.
17. Скопировать файл lab8-2.asm, созданный при выполнении лабораторной работы №8, с программой выводящей на экран аргументы командной строки в файл с именем labo9-3.asm. Создать исполняемый файл.
18. Загрузить исполняемый файл в отладчик, указав аргументы.
19. Исследовать расположение аргументов командной строки в стеке после запуска программы.
20. Проверить адрес вершины стека и посмотреть все позиции стека.

Задание для самостоятельной работы

1. Преобразовать программу из лабораторной работы №8 (Задание №1 для самостоятельной работы), реализовав вычисление значения функции  $f(x)$  как подпрограмму.
2. В листинге из самостоятельного задания приведена программа вычисления выражения  $(3 + 2) * 4 + 5$ . При запуске данная программа дает неверный результат. Проверить это. С помощью отладчика GDB, анализируя изменения значений регистров, определить ошибку и исправить ее.

### **3 Теоретическое введение**

Понятие об отладке

Отладка — это процесс поиска и исправления ошибок в программе. В общем случае его можно разделить на четыре этапа:

обнаружение ошибки;

поиск её местонахождения;

определение причины ошибки;

исправление ошибки.

Можно выделить следующие типы ошибок:

синтаксические ошибки — обнаруживаются во время трансляции исходного кода и вызваны нарушением ожидаемой формы или структуры языка;

семантические ошибки — являются логическими и приводят к тому, что программа запускается, отрабатывает, но не даёт желаемого результата;

ошибки в процессе выполнения — не обнаруживаются при трансляции и вызывают прерывание выполнения программы (например, это ошибки, связанные с переполнением или делением на ноль).

Второй этап — поиск местонахождения ошибки. Некоторые ошибки обнаружить довольно трудно. Лучший способ найти место в программе, где находится ошибка, это разбить программу на части и произвести их отладку отдельно друг от друга.

Третий этап — выяснение причины ошибки. После определения местонахождения ошибки обычно проще определить причину неправильной работы программы.

Последний этап — исправление ошибки. После этого при повторном запуске

программы, может обнаружиться следующая ошибка, и процесс отладки начнётся заново.

Наиболее часто применяют следующие методы отладки:  
создание точек контроля значений на входе и выходе участка программы (например, вывод промежуточных значений на экран — так называемые диагностические сообщения);  
использование специальных программ-отладчиков.

Отладчики позволяют управлять ходом выполнения программы, контролировать и изменять данные. Это помогает быстрее найти место ошибки в программе и ускорить её исправление. Наиболее популярные способы работы с отладчиком — это использование точек останова и выполнение программы по шагам.

Пошаговое выполнение — это выполнение программы с остановкой после каждой строчки, чтобы программист мог проверить значения переменных и выполнить другие действия.

Точки останова — это специально отмеченные места в программе, в которых программа отладчик приостанавливает выполнение программы и ждёт команд. Наиболее популярные виды точек останова:

Breakpoint — точка останова (остановка происходит, когда выполнение доходит до определённой строки, адреса или процедуры, отмеченной программистом);  
Watchpoint — точка просмотра (выполнение программы приостанавливается, если программа обратилась к определённой переменной: либо считала её значение, либо изменила его).

Точки останова устанавливаются в отладчике на время сеанса работы с кодом программы, т.е. они сохраняются до выхода из программы-отладчика или до смены отлаживаемой программы.

#### Основные возможности отладчика GDB

GDB (GNU Debugger — отладчик проекта GNU) работает на многих UNIX-подобных системах и умеет производить отладку многих языков программирования. GDB предлагает обширные средства для слежения и контроля за

выполнением компьютерных программ. Отладчик не содержит собственного графического пользовательского интерфейса и использует стандартный текстовый интерфейс консоли. Однако для GDB существует несколько сторонних графических надстроек, а кроме того, некоторые интегрированные среды разработки используют его в качестве базовой подсистемы отладки. Отладчик GDB (как и любой другой отладчик) позволяет увидеть, что происходит «внутри» программы в момент её выполнения или что делает программа в момент сбоя. GDB может выполнять следующие действия:

- начать выполнение программы, задав всё, что может повлиять на её поведение;
- остановить программу при указанных условиях;
- исследовать, что случилось, когда программа остановилась;
- изменить программу так, чтобы можно было поэкспериментировать с устранением эффектов одной ошибки и продолжить выявление других.

#### Дизассемблирование программы

Если есть файл с исходным текстом программы, а в исполняемый файл включена информация о номерах строк исходного кода, то программу можно отлаживать, работая в отладчике непосредственно с её исходным текстом. Чтобы программу можно было отлаживать на уровне строк исходного кода, она должна быть откомпилирована с ключом `-g`.

Существует два режима отображения синтаксиса машинных команд: режим Intel, используемый в том числе в NASM, и режим ATT (значительно отличающийся внешне). По умолчанию в дизассемблере GDB принят режим ATT. Переключиться на отображение команд с привычным Intel'овским синтаксисом можно, введя команду `set disassembly-flavor intel`.

#### Точки останова

Установить точку останова можно командой `break` (кратко `b`). Типичный аргумент этой команды — место установки. Его можно задать как имя метки или как адрес. Чтобы не было путаницы с номерами, перед адресом ставится «звёздочка». Информацию о всех установленных точках останова можно вывести командой

`info` (кратко `i`).

Для того чтобы сделать неактивной какую-нибудь ненужную точку останова, можно воспользоваться командой `disable`.

Обратно точка останова активируется командой `enable`.

Если же точка останова в дальнейшем больше не нужна, она может быть удалена с помощью команды `delete`.

#### Пошаговая отладка

Для продолжения остановленной программы используется команда `continue`. Выполнение программы будет происходить до следующей точки останова. В качестве аргумента может использоваться целое число `N`, которое указывает отладчику проигнорировать `N - 1` точку останова (выполнение остановится на `N`-й точке).

Команда `stepi` (кратко `si`) позволяет выполнять программу по шагам, т.е. данная команда выполняет ровно одну инструкцию.

При указании в качестве аргумента целого числа `N` отладчик выполнит команду `step N` раз при условии, что не будет точек останова или выполнение программы не прервётся по другим причинам.

Команда `nexti` (или `ni`) аналогична `stepi`, но вызов процедуры (функции) трактуется отладчиком как одна инструкция.

#### Работа с данными программы в GDB

Как уже упоминалось, отладчик может показывать содержимое ячеек памяти и регистров, а при необходимости позволяет вручную изменять значения регистров и переменных. Посмотреть содержимое регистров можно с помощью команды `info registers` (или `i r`).

Изменить значение для регистра или ячейки памяти можно с помощью команды `set`, задав ей в качестве аргумента имя регистра или адрес. При этом перед именем регистра ставится префикс `$`, а перед адресом нужно указать в фигурных скобках тип данных (размер сохраняемого значения; в качестве типа данных можно использовать типы языка Си).

## Понятие подпрограммы

Подпрограмма — это, как правило, функционально законченный участок кода, который можно многократно вызывать из разных мест программы. В отличие от простых переходов из подпрограмм существует возврат на команду, следующую за вызовом. Если в программе встречается одинаковый участок кода, его можно оформить в виде подпрограммы, а во всех нужных местах поставить её вызов. При этом подпрограмма будет содержаться в коде в одном экземпляре, что позволит уменьшить размер кода всей программы.

### Инструкция call и инструкция ret

Для вызова подпрограммы из основной программы используется инструкция `call`, которая заносит адрес следующей инструкции в стек и загружает в регистр `eip` адрес соответствующей подпрограммы, осуществляя таким образом переход. Затем начинается выполнение подпрограммы, которая, в свою очередь, также может содержать подпрограммы.

Подпрограмма завершается инструкцией `ret`, которая извлекает из стека адрес, занесённый туда соответствующей инструкцией `call`, и заносит его в `eip`. После этого выполнение основной программы возобновится с инструкции, следующей за инструкцией `call`.

Подпрограмма может вызываться как из внешнего файла, так и быть частью основной программы.

## 4 Выполнение лабораторной работы

1. Создали каталог для выполнения лабораторной работы № 9, перешли в него и создали файл lab09-1.asm (рис. 4.1 Создание каталога для выполнения лабораторной работы).

```
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab08$ cd ~/work/study/arhPC/labs/lab09
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ touch lab09-1.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$
```

Рис. 4.1: Создание каталога для выполнения лабораторной работы

2. В качестве примера рассмотрели программу вычисления арифметического выражения  $f(x) = 2x + 7$  с помощью подпрограммы \_calcul. В данном примере  $x$  вводится с клавиатуры, а само выражение вычисляется в подпрограмме. Внимательно изучили текст программы из Листинга 1 методического указания (рис 4.2 Листинг1).

Первые строки программы отвечают за вывод сообщения на экран (call sprint), чтение данных введенных с клавиатуры (call sread) и преобразования введенных данных из символьного вида в численный (call atoi).

Инструкция `ret` является последней в подпрограмме и ее исполнение приводит к возвращению в основную программу к инструкции, следующей за инструкцией `call`, которая вызвала данную подпрограмму.

Последние строки программы реализуют вывод сообщения (`call sprint`), результата вычисления (`call iprintLF`) и завершение программы (`call quit`).

Ввели в файл `lab09-1.asm` текст программы из листинга 1 методического указания. Создали исполняемый файл и проверили его работу (рис. 4.3).



```
GNU nano 8.4
%include 'in_out.asm'
SECTION .data
msg: DB 'Введите x: ',0
result: DB '2x+7=',0
SECTION .bss
x: RESB 80
res: RESB 80
SECTION .text

GLOBAL _start

_start:
mov eax, msg
call sprint
mov ecx, x
mov edx, 80
call sread
mov eax,x
call atoi
call _calcul ; Вызов подпрограммы _calcul
mov eax,result
call sprint
mov eax,[res]
call iprintLF
call quit

_calcul:
mov ebx,2
mul ebx
add eax,7
mov [res],eax
ret
```

Рис. 4.2: Листинг 1

```
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ nasm -f elf lab09-1.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ ld -m elf_i386 -o lab09-1 lab09-1.o
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ ./lab09-1
Введите x: 5
2x+7=17
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$
```

Рис. 4.3: Результаты работы программы из листинга 1 методического указания

Изменили текст программы, добавив подпрограмму `_subcalcul` в подпрограмму `_calcul`, для вычисления выражения  $f(g(x))$ , где  $x$  вводится с клавиатуры,  $f(x) = 2x + 7$ ,  $g(x) = 3x + 1$ . Т.е.  $x$  передается в подпрограмму `_calcul` из нее в подпрограмму `_subcalcul`, где вычисляется выражение  $g(x)$ , результат возвращается в `_calcul` и вычисляется выражение  $f(g(x))$ . Результат возвращается в основную программу для вывода результата на экран.

```
GNU nano 8.4
%include 'in_out.asm'
SECTION .data
msg: DB 'Введите x: ',0
prim1: DB 'f(x) =2x+7',0
prim2: DB 'g(x) = 3x-1',0
result: DB 'f(g(x)) = ',0

SECTION .bss
x: RESB 80
res: RESB 80
SECTION .text
GLOBAL _start

_start:
    mov eax, prim1
    call sprintLF

    mov eax, prim2
    call sprintLF

    mov eax,msg
    call sprint

    mov eax,x
    mov edx,80
    call sread

    mov eax,x
    call atoi

    call _calcul

    mov eax,result
    call sprint
    mov eax,[res]
    call iprintLF

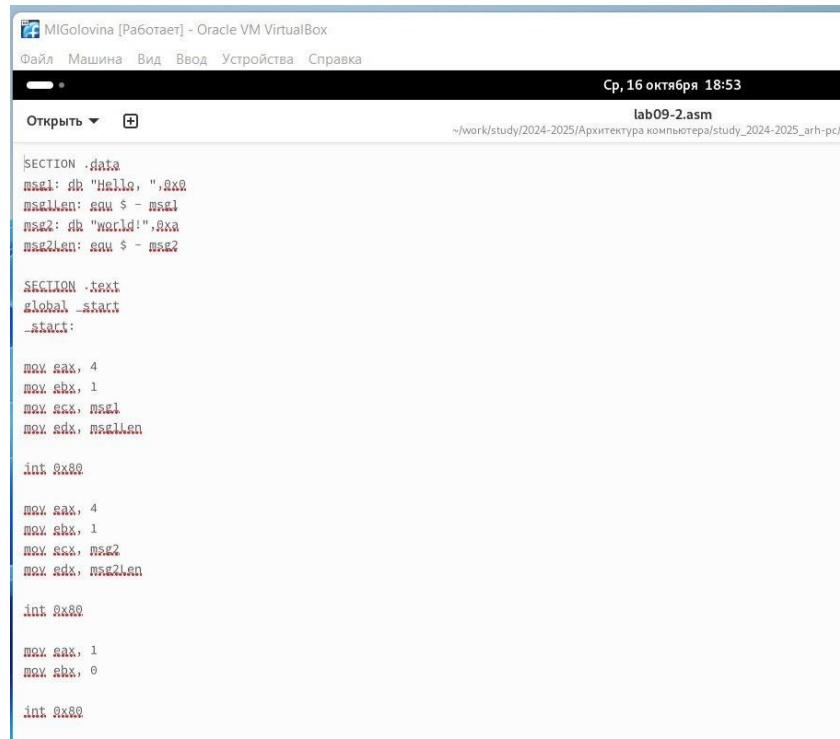
    call quit
```

Рис. 4.4: Листинг1 с внесенными изменениями

```
ubuntu@ubuntu:~/work/study/арhPC/labs/lab09$ nasm -f elf lab09-1.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/арhPC/labs/lab09$ ld -m elf_i386 -o lab09-1 lab09-1.o
ubuntu@ubuntu:~/work/study/арhPC/labs/lab09$ ./lab09-1
f(x) =2x+7
g(x) = 3x-1
Введите x: 1
f(g(x)) = 5
```

Рис. 4.5: Результаты работы программы из листинга 1 с внесенными изменениями

3. Создали файл lab09-2.asm с текстом программы из Листинга 2 методического указания (рис. 4.6 Листинг 2).



The screenshot shows a window titled "MIGolovina [Работает] - Oracle VM VirtualBox". The menu bar includes "Файл", "Машина", "Вид", "Ввод", "Устройства", "Справка". The title bar shows the date "Ср, 16 октября 18:53" and the file name "lab09-2.asm". The path "C:/work/study/2024-2025/Архитектура компьютера/study\_2024-2025\_arh-pc" is displayed. The main area contains the following assembly code:

```
SECTION .data
msg1: db "Hello, ",0x0
msg1len: equ $ - msg1
msg2: db "world!",0xa
msg2len: equ $ - msg2

SECTION .text
global _start
_start:

    mov ax, 4
    mov bx, 1
    mov cx, msg1
    mov dx, msg1len

    int 0x00

    mov ax, 4
    mov bx, 1
    mov cx, msg2
    mov dx, msg2len

    int 0x00

    mov ax, 1
    mov bx, 0

    int 0x00
```

Рис. 4.6: Листинг 2

Получили исполняемый файл. Для работы с GDB в исполняемый файл необходимо добавить отладочную информацию, для этого трансляцию программ необходимо проводить с ключом ‘-g’. Загрузили исполняемый файл в отладчик gdb (рис. 4.7 Отладка программы из Листинга 2).

```
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ nasm -f elf -g -l lab09-2.lst lab09-2.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ ld -m elf_i386 -o lab09-2 lab09-2.o

ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ gbd lab09-2
Command 'gbd' not found, did you mean:
  command 'dbd' from deb netatalk-tools (4.2.3~ds-1)
  command 'gzbdb' from deb zbd-utils (2.0.4-1.1build1)
  command 'gld' from deb postfix-gld (1.7-11)
  command 'zbd' from deb zbd-utils (2.0.4-1.1build1)
  command 'gbp' from deb git-buildpackage (0.9.38)
  command 'sbd' from deb sbd (1.5.2-5ubuntu2)
  command 'rbd' from deb ceph-common (19.2.1-0ubuntu3)
  command 'gdb' from deb gdb (16.3-1ubuntu2)
  command 'gsd' from deb python3-gsd (3.4.2-2build1)
  command 'gid' from deb id-utils (4.6.28-20250503ss15da)
  command 'bd' from deb bd (1.03-5)
Try: sudo apt install <deb name>
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ gdb lab09-2

GNU gdb (Ubuntu 16.3-1ubuntu2) 16.3
Copyright (C) 2024 Free Software Foundation, Inc.
License GPLv3+: GNU GPL version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.
Type "show copying" and "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-linux-gnu".
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<https://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>.
Find the GDB manual and other documentation resources online at:
  <http://www.gnu.org/software/gdb/documentation/>.

For help, type "help".
Type "apropos word" to search for commands related to "word"...
Reading symbols from lab09-2...
(gdb)
```

Рис. 4.7: Отладка программы из Листинга 2

Проверили работу программы, запустив ее в оболочке GDB с помощью команды run (рис. 4.8 Проверка работы программы с помощью команды run).

```
(gdb) run
Starting program: /home/ubuntu/work/study/arrPC/labs/lab09/lab09-2

This GDB supports auto-downloading debuginfo from the following URLs:
  <https://debuginfod.ubuntu.com>
Enable debuginfod for this session? (y or [n]) y
Debuginfod has been enabled.
To make this setting permanent, add 'set debuginfod enabled on' to .gdbinit.
Hello, world!
[Inferior 1 (process 16066) exited normally]
(gdb)
```

Рис. 4.8: Проверка работы программы с помощью команды run

Для более подробного анализа программы установили брейкпоинт на метку `_start`, с которой начинается выполнение любой ассемблерной программы, и запустили её (рис. 4.9 Брейкпоинт на метку `_start`).

```
This GDB supports auto-downloading debuginfo from the following URLs:  
  <https://debuginfod.ubuntu.com>  
Enable debuginfod for this session? (y or [n]) y  
Debuginfod has been enabled.  
To make this setting permanent, add 'set debuginfod enabled on' to .gdbinit.  
Hello, world!  
[Inferior 1 (process 16066) exited normally]  
(gdb) break _start  
Breakpoint 1 at 0x8049000: file lab09-2.asm, line 9.  
(gdb) run  
Starting program: /home/ubuntu/work/study/архPC/labs/lab09/lab09-2  
  
Breakpoint 1, _start () at lab09-2.asm:9  
9      mov eax, 4  
(gdb)
```

Рис. 4.9: Брейкпоинт на метку \_start

Посмотрели дисассимилированный код программы с помощью команды `disassemble` начиная с метки `_start` (рис. 4.10 Дисассимилированный код программы).

```
Breakpoint 1, _start () at lab09-2.asm:9
9      mov eax, 4
(gdb) disassemble _start
Dump of assembler code for function _start:
=> 0x08049000 <+0>:    mov    $0x4,%eax
 0x08049005 <+5>:    mov    $0x1,%ebx
 0x0804900a <+10>:   mov    $0x804a000,%ecx
 0x0804900f <+15>:   mov    $0x8,%edx
 0x08049014 <+20>:   int    $0x80
 0x08049016 <+22>:   mov    $0x4,%eax
 0x0804901b <+27>:   mov    $0x1,%ebx
 0x08049020 <+32>:   mov    $0x804a008,%ecx
 0x08049025 <+37>:   mov    $0x7,%edx
 0x0804902a <+42>:   int    $0x80
 0x0804902c <+44>:   mov    $0x1,%eax
 0x08049031 <+49>:   mov    $0x0,%ebx
 0x08049036 <+54>:   int    $0x80
End of assembler dump.
(gdb)
```

Рис. 4.10: Дисассимилированный код программы

Переключились на отображение команд с Intel'овским синтаксисом, введя команду set disassembly-flavor intel (рис. 4.11 Отображение команд с Intel'овским синтаксисом).

```
0x08049036 <+54>:    int    $0x80
End of assembler dump.
(gdb) set disassembly-flavor intel
(gdb) disassemble _start
Dump of assembler code for function _start:
=> 0x08049000 <+0>:    mov    eax,0x4
  0x08049005 <+5>:    mov    ebx,0x1
  0x0804900a <+10>:   mov    ecx,0x804a000
  0x0804900f <+15>:   mov    edx,0x8
  0x08049014 <+20>:   int    0x80
  0x08049016 <+22>:   mov    eax,0x4
  0x0804901b <+27>:   mov    ebx,0x1
  0x08049020 <+32>:   mov    ecx,0x804a008
  0x08049025 <+37>:   mov    edx,0x7
  0x0804902a <+42>:   int    0x80
  0x0804902c <+44>:   mov    eax,0x1
  0x08049031 <+49>:   mov    ebx,0x0
  0x08049036 <+54>:   int    0x80
End of assembler dump.
(gdb)
```

Рис. 4.11: Отображение команд с Intel'овским синтаксисом

Отличие заключается в командах, в дисассимилированном отображении в командах используют % и \$, а в Intel отображение эти символы не используются. На такое отображение удобнее смотреть.

Включили режим псевдографики для более удобного анализа программы (рис. 4.12 Режим псевдографики). В этом режиме есть три окна: в верхней части видны названия регистров и их текущие значения; в средней части виден результат дисассимилирования программы; нижняя часть доступна для ввода команд

The screenshot shows the GDB debugger interface. On the left is a vertical toolbar with icons for file operations, registers, memory dump, assembly, and help. The main window has three panes: the top pane displays the assembly code for `lab09-2.asm`, the middle pane shows the register values for the general purpose registers, and the bottom pane shows the current process information.

**Register group: general**

	eax	edx	esp	esi	eip	cs	ds	fs	ecx	ebx	ebp	edi	eflags	ss	es	gs
0x0	0x0	0x0	0xfffffcff0	0x0	0x8049000	0x23	0x2b	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x202	0x2b	0x2b	0x0
0	0	0	0xfffffcff0	0	0x8049000 <_start>	35	43	0	0	0	0	0	0x202	0x2b	0x2b	0x0

**lab09-2.asm**

```
1 SECTION data
2 msg1: db "Hello, ",0x0
3 msg1Len: equ $ - msg1
4 msg2: db "world!",0xa
5 msg2Len: equ $ - msg2
6 SECTION text
7 global _start
8 _start:
B+> 9 mov eax, 4
10 mov ebx, 1
11 mov ecx, msg1
```

native process 16076 (src) In: \_start  
(gdb)

Рис. 4.12: Режим псевдографики

4 Установить точку останова можно командой `break`. Типичный аргумент этой команды — место установки. Его можно задать или как номер строки программы (имеет смысл, если есть исходный файл, а программа компилировалась с информацией об отладке), или как имя метки, или как адрес. Чтобы не было путаницы с номерами, перед адресом ставится «звёздочка»: На предыдущих шагах была установлена точка останова по имени метки (`_start`).

Проверили это с помощью команды `info breakpoints`. Установили еще одну точку останова по адресу инструкции. Адрес инструкции увидели в средней части экрана в левом столбце соответствующей инструкции. Определили адрес предпоследней инструкции (`mov ebx,ox0`) и установили точку останова (рис. 4.13 Установка точки останова по адресу инструкции).

```

Registers group: general
eax          0x0          0          ecx          0x0
edx          0x0          0          ebx          0x0
esp          0xfffffcff0    0xfffffcff0    ebp          0x0
esi          0x0          0          edi          0x0
eip          0x8049000    0x8049000 <_start>    eflags        0x202
cs           0x23         35         ss           0x2b
ds           0x2b         43         es           0x2b
fs           0x0          0          gs           0x0

lab09-2.asm:
1 SECTION .data
2 msg1: db "Hello, ",0x0
3 msg1Len: equ $ - msg1
4 msg2: db "world!",0xa
5 msg2Len: equ $ - msg2
6 SECTION .text
7 global _start
8 _start:
B+> 9 mov eax, 4
10 mov ebx, 1
11 mov ecx, msg1

native process 16076 (src) In: _start
(gdb) break *0x08049031
Breakpoint 2 at 0x8049031: file lab09-2.asm, line 20.
(gdb) i b
Num      Type            Disp Enb Address     What
1        breakpoint      keep y  0x08049000 lab09-2.asm:9
                  breakpoint already hit 1 time
2        breakpoint      keep y  0x08049031 lab09-2.asm:20
(gdb)

```

Рис. 4.13: Установка точки останова по адресу инструкции

5 Отладчик может показывать содержимое ячеек памяти и регистров, а при необходимости позволяет вручную изменять значения регистров и переменных. Выполнили 5 инструкций с помощью команды si и проследили за изменением значений регистров. Изменяются регистры eax и eip. Посмотреть содержимое регистров также можно с помощью команды info registers (рис. 4.14 Просмотр регистров).

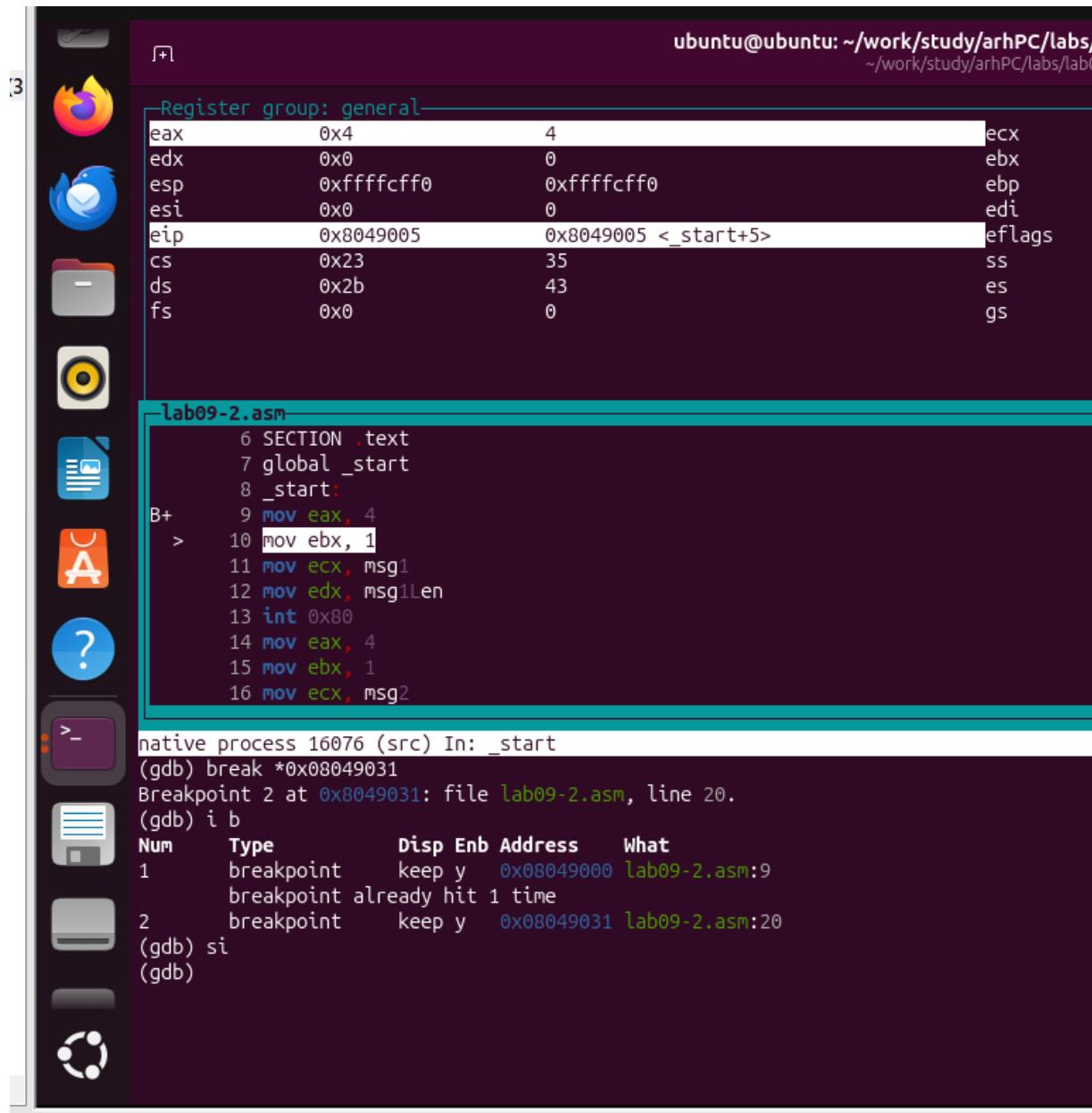


Рис. 4.14: Просмотр регистров

Register group: general					
eax	0x4	4	ecx	0x0	0
edx	0x0	0	ebx	0x0	0
esp	0xfffffcff0	0xfffffcff0	ebp	0x0	0x0
esi	0x0	0	edi	0x0	0
eip	0x8049005	0x8049005 <_start+5>	eflags	0x202	[ IF ]
cs	0x23	35	ss	0x2b	43
ds	0x2b	43	es	0x2b	43
fs	0x0	0	gs	0x0	0

Рис. 4.15: Измененные регистры

С помощью команды посмотрели значение переменной msg1 (рис. 4.16 Значение переменной msg1).

чение переменной msg1).

```
(gdb) x/1sb &msg1  
0x804a000 <msg1>:      "Hello, "  
(gdb) █
```

Рис. 4.16: Значение переменной msg1

6 Посмотрели значение переменной msg2 по адресу. Адрес переменной можно определить по дисассемблированной инструкции. Посмотрели инструкцию mov ecx,msg2 которая записывает в регистр ecx адрес переменной msg2 (рис. 4.17 Значение переменной msg2).

```
(gdb) x/lsd 0x804a008  
0x804a008 <msg2>:      1819438967  
(gdb)
```

Рис. 4.17: Значение переменной msg2

7) Изменить значение для регистра или ячейки памяти можно с помощью команды set, задав ей в качестве аргумента имя регистра или адрес. При этом перед именем регистра ставится префикс \$, а перед адресом нужно указать в фигурных скобках тип данных (размер сохраняемого значения; в качестве типа данных можно использовать типы языка Си). Изменили первый символ переменной msg1 (рис. 4.18 Измененное значение переменной msg1) и заменили символ во второй переменной msg2 (рис. 4.19 Измененное значение переменной msg2).

```
(gdb) x/lsb &msg1  
0x804a000 <msg1>:      "hello, "  
(gdb)
```

Рис. 4.18: Измененное значение переменной msg1

```
(gdb) set {char}0x804a008='L'  
(gdb) set {char}0x804a00b=' '  
(gdb) x/lsb &msg2  
0x804a008 <msg2>:      "Log d!\n\034"  
(gdb) █
```

Рис. 4.19: Измененное значение переменной msg2

**8** Вывели в различных форматах значение регистра edx (рис. 4.20 Значение регистра edx в различных форматах).

```
(gdb) p/s $edx  
$1 = 0  
(gdb) p/t $edx  
$2 = 0  
(gdb) p/x $edx  
$3 = 0x0  
(gdb) █
```

Рис. 4.20: Значение регистра edx в различных форматах

**9** С помощью команды set изменили значение регистра ebx (рис. 4.21 Значение регистра ebx).

```
(gdb) set $ebx='2'  
(gdb) p/s $ebx  
$4 = 50  
(gdb) set $ebx = 2  
(gdb) p/s $ebx  
$5 = 2  
(gdb)
```

Рис. 4.21: Значение регистра ebx

Команда выводит разные значения, так как в первый раз мы вносим значение 2, а во второй раз регистр равен двум, поэтому и значения разные.

**10** Завершили выполнение программы и вышли из GDB. (рис. 4.22 Завершение работы с файлов)

```
0x08049050 <+54>:  
End of assembler dump.  
(gdb) layout regs
```

Рис. 4.22: Завершение работы с файлов

**11** Скопировали файл lab8-2.asm, созданный при выполнении лабораторной работы №8, с программой выводящей на экран аргументы командной строки в файл с именем labo9-3.asm. Создали исполняемый файл (рис. 4.23 Создание исполняемого файла labo9-3.asm).

```
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ nasm -f elf -g -l lab09-3.lst lab09-3.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ ld -m elf_i386 -o lab09-3 lab09-3.o
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$
```

Рис. 4.23: Создание исполняемого файла lab09-3.asm

**12** Для загрузки в gdb программы с аргументами необходимо использовать ключ `--args`. Загрузили исполняемый файл в отладчик, указав аргументы (рис. 4.24 Запуск файла в отладчике).

```
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ nasm -f elf -g -l lab09-3.lst lab09-3.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ ld -m elf_i386 -o lab09-3 lab09-3.o
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ gdb --args lab09-3 аргумент1 аргумент2 'аргумент3'
GNU gdb (Ubuntu 16.3-1ubuntu2) 16.3
Copyright (C) 2024 Free Software Foundation, Inc.
License GPLv3+: GNU GPL version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.
Type "show copying" and "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-linux-gnu".
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<https://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>.
Find the GDB manual and other documentation resources online at:
  <http://www.gnu.org/software/gdb/documentation/>.

For help, type "help".
Type "apropos word" to search for commands related to "word"...
Reading symbols from lab09-3...
(gdb)
```

Рис. 4.24: Запуск файла в отладчике

**13** Исследовали расположение аргументов командной строки в стеке после запуска программы с помощью gdb. Для начала установили точку останова перед первой инструкцией в программе и запустим ее (рис. 4.25 Точка останова перед первой инструкцией в программе).

```
(gdb) b _start
Breakpoint 1 at 0x80490e8: file lab09-3.asm, line 5.
(gdb) r
Starting program: /home/ubuntu/work/study/архPC/labs/lab09/lab09-3 аргумент1 аргумент2 аргуме
This GDB supports auto-downloading debuginfo from the following URLs:
<https://debuginfod.ubuntu.com>
Enable debuginfod for this session? (y or [n]) y
Debuginfod has been enabled.
To make this setting permanent, add 'set debuginfod enabled on' to .gdbinit.

Breakpoint 1, _start () at lab09-3.asm:5
5      pop  ecx ; Извлекаем из стека в `ecx` количество
(gdb)
```

Рис. 4.25: Точка останова перед первой инструкцией в программе

Проверили адрес вершины стека и убедились, что там хранится 5 элементов (рис. 4.26 Адрес вершины стека).

```
(gdb) x/x $esp
0xffffcfb0:    0x00000005
(gdb)
```

Рис. 4.26: Адрес вершины стека

Посмотрели все позиции стека. По первому адресу хранится адрес, в остальных адресах хранятся элементы. Элементы расположены с интервалом в 4 единицы, так как стек может хранить до 4 байт, и для того чтобы данные сохранялись нормально и без помех, компьютер использует новый стек для новой информации (рис.4.27 Все позиции стека).

```
(gdb) x/x $esp
0xfffffcfb0:    0x00000005
(gdb) x/s *(void**)( $esp + 4)
0xfffffd192:    "/home/ubuntu/work/study/архPC/labs/lab09/lab09-3"
(gdb) x/s *(void**)( $esp + 8)
0xfffffd1c3:    "аргумент1"
(gdb) x/s *(void**)( $esp + 12)
0xfffffd1d5:    "аргумент"
(gdb) x/s *(void**)( $esp + 16)
0xfffffd1e6:    "2"
(gdb) x/s *(void**)( $esp + 20)
0xfffffd1e8:    "аргумент 3"
(gdb) x/s *(void**)( $esp + 24)
0x0:   <егног: Cannot access memory at address 0x0>
(gdb)
```

Рис. 4.27: Все позиции стека

### Задание для самостоятельной работы

1. Преобразовать программу из лабораторной работы №8 (Задание №1 для самостоятельной работы), реализовав вычисление значения функции  $f(x)$  как подпрограмму.

```
%include 'in_out.asm'

SECTION .data
prim DB 'Функция: f(x)=7 + 2x',0
otv DB 'Результат: ',0

SECTION .text
GLOBAL _start
_start:

pop ecx
pop edx

sub ecx,1
mov esi,0

mov eax,prim
call sprintLF

next:
cmp ecx,0
jz _end

mov ebx,2
pop eax
call atoi
mul ebx

add eax,7

add esi,eax
loop next

_end:
```

```
_end:
    mov eax,otv
    call sprint
    mov eax,esi
    call iprintLF
    call quit

    fir:
    mov ebx,2
    mul ebx
    add eax,7
    ret
```

Рис. 4.28: Листинг 1 самостоятельного задания №1

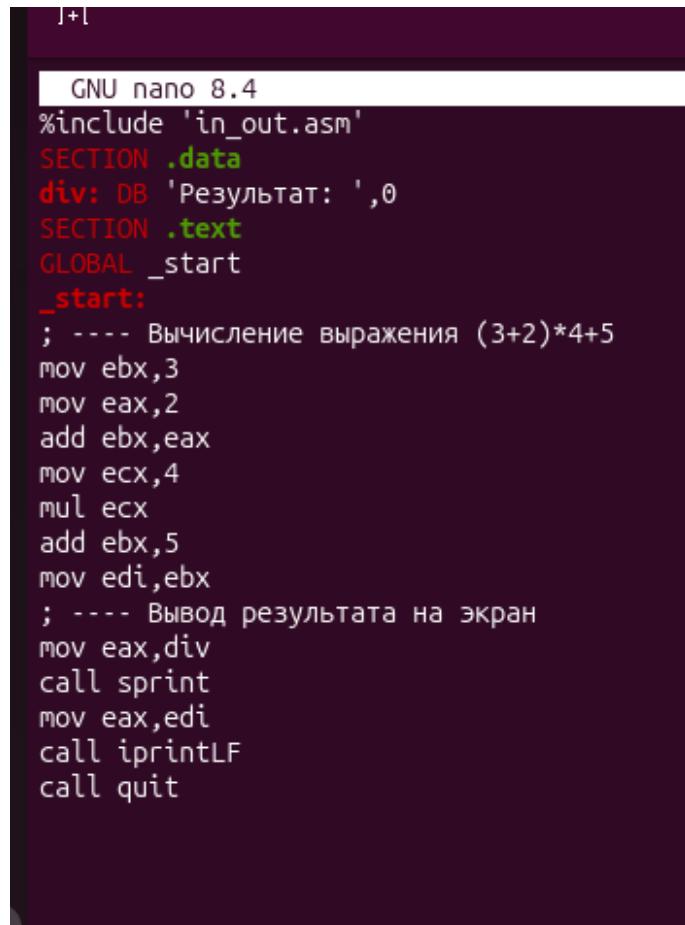
```
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ touch 1sr.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ nc
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ nasm -f elf 1sr.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ ld -m elf_i386 -o 1sr 1sr.o
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ ./1sr 1 2 3
Функция: f(x)=7 + 2x
Результат: 33
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ ./1sr 1 2 3 4
Функция: f(x)=7 + 2x
Результат: 48
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$
```

Рис. 4.29: Результат работы программы

2. В листинге из самостоятельного задания приведена программа вычисления выражения  $(3 + 2) * 4 + 5$ . При запуске данная программа дает неверный результат. Проверить это. С помощью отладчика GDB, анализируя изменения значений регистров, определить ошибку и исправить ее.

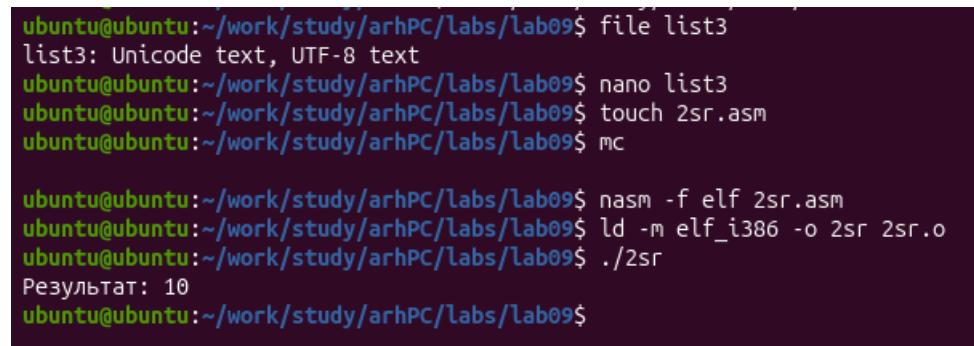
2.1 Переписали программу и попробовали запустить ее чтобы увидеть ошибку.

Ошибка была арифметическая, так как вместо 25, программа выводит 10



```
GNU nano 8.4
%include 'in_out.asm'
SECTION .data
div: DB 'Результат: ',0
SECTION .text
GLOBAL _start
_start:
; ---- Вычисление выражения (3+2)*4+5
mov ebx,3
mov eax,2
add ebx,eax
mov ecx,4
mul ecx
add ebx,5
mov edi,ebx
; ---- Вывод результата на экран
mov eax,div
call sprint
mov eax,edi
call iprintLF
call quit
```

Рис. 4.30: Листинг из самостоятельного задания №2



```
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ file list3
list3: Unicode text, UTF-8 text
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ nano list3
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ touch 2sr.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ mc

ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ nasm -f elf 2sr.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ ld -m elf_i386 -o 2sr 2sr.o
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$ ./2sr
Результат: 10
ubuntu@ubuntu:~/work/study/arhPC/labs/lab09$
```

Рис. 4.31: Проверка результата работы программы из Листинга самостоятельного задания №2

2.2 После обнаружения ошибки, запустили программу в отладчике (рис. 4.32)

Запуск программы в отладчике).

```
(gdb) b _start
Breakpoint 2 at 0x80490e8
(gdb) r
Starting program: /home/ubuntu/work/study/archPC/labs/lab09/2sr

This GDB supports auto-downloading debuginfo from the following URLs:
<https://debuginfod.ubuntu.com>
Enable debuginfod for this session? (y or [n]) y
Debuginfod has been enabled.
To make this setting permanent, add 'set debuginfod enabled on' to .gdbinit

Breakpoint 2, 0x080490e8 in _start ()
(gdb) set disassembly-flavor intel
(gdb) disassemble _start
Dump of assembler code for function _start:
=> 0x080490e8 <+0>:    mov    ebx,0x3
    0x080490ed <+5>:    mov    eax,0x2
    0x080490f2 <+10>:   add    ebx,eax
    0x080490f4 <+12>:   mov    ecx,0x4
    0x080490f9 <+17>:   mul    ecx
    0x080490fb <+19>:   add    ebx,0x5
    0x080490fe <+22>:   mov    edi,ebx
    0x08049100 <+24>:   mov    eax,0x804a000
    0x08049105 <+29>:   call   0x804900f <sprint>
    0x0804910a <+34>:   mov    eax,edi
    0x0804910c <+36>:   call   0x8049086 <iprintfLF>
    0x08049111 <+41>:   call   0x80490db <quit>
End of assembler dump.
(gdb) █
```

Рис. 4.32: Запуск программы в отладчике

2.3 Открыли регистры и проанализировали их, поняли что некоторые регистры стоят не на своих местах, исправили это.

```
Register group: general
eax          0x0          0
ecx          0x0          0
edx          0x0          0
ebx          0x0          0
esp 0xfffffce0 0xfffffce0
ebp 0x0          0x0
esi          0x0          0
edi          0x0          0
eip 0x80490e8 0x80490e8 <_start>
eflags       0x202      [ IF ]
cs           0x23        35
ss           0x2b        43
ds           0x2b        43
es           0x2b        43

0x80490e0 <quit+5>    mov  eax,0x1
0x80490e5 <quit+10>   int  0x80
0x80490e7 <quit+12>   ret
B+>0x80490e8 <_start>  mov  ebx,0x3
0x80490ed <_start+5>   mov  eax,0x2
0x80490f2 <_start+10>  add  ebx,eax
0x80490f4 <_start+12>  mov  ecx,0x4
0x80490f9 <_start+17>  mul  ecx
0x80490fb <_start+19>  add  ebx,0x5
0x80490fe <_start+22>  mov  edi,ebx
0x8049100 <_start+24>  mov  eax,0x804a000
0x8049105 <_start+29>  call 0x804900f <sprint>
0x804910a <_start+34>  mov  eax,edi
0x804910c <_start+36>  call 0x8049086 <iprintf>
```

Рис. 4.33: Анализ регистров

2.4 Изменили регистры и запустили программу, программа вывела ответ 25, то есть все работает правильно (рис. 4.34 Повторный запуск программы).

```
ubuntu@ubuntu:~/work/study/argPC/labs/lab09$ nasm -f elf 2sr.asm
ubuntu@ubuntu:~/work/study/argPC/labs/lab09$ ld -m elf_i386 -o 2sr 2sr.o
ubuntu@ubuntu:~/work/study/argPC/labs/lab09$ ./2sr
Результат: 25
```

Рис. 4.34: Повторный запуск программы

```
GNU nano 8.4
%include 'in_out.asm'
SECTION .data
div: DB 'Результат: ',0
SECTION .text
GLOBAL _start
_start:
; ---- Вычисление выражения (3+2)*4+5
mov ebx,3
mov eax,2
add eax,ebx
mov ecx,4
mul ecx
add eax,5
mov edi,eax
; ---- Вывод результата на экран
mov eax,div
call sprint
mov eax,edi
call iprintLF
call quit
```

Рис. 4.35: Листинг программы

## **5 Выводы**

Приобрели навыки написания программ с использованием подпрограмм. Познакомились с методами отладки при помощи GDB и его основными возможностями.

# **Список литературы**

1. GDB: The GNU Project Debugger. — URL:<https://www.gnu.org/software/gdb/>.
2. GNU Bash Manual. — 2016. — URL: <https://www.gnu.org/software/bash/manual/>.
3. Midnight Commander Development Center. — 2021. — URL: <https://midnight-commander.org/>.
4. NASM Assembly Language Tutorials. — 2021. — URL: <https://asmtutor.com/>.
5. Newham C. Learning the bash Shell: Unix Shell Programming. — O'Reilly Media, 2005. — 354 с. — (In a Nutshell). — ISBN 0596009658. — URL: <http://www.amazon.com/Learningbash-Shell-Programming-Nutshell/dp/0596009658>.
6. Robbins A. Bash Pocket Reference. — O'Reilly Media, 2016. — 156 с. — ISBN 978-1491941591.
7. The NASM documentation. — 2021. — URL: <https://www.nasm.us/docs.php>.
8. Zarrelli G. Mastering Bash. — Packt Publishing, 2017. — 502 с. — ISBN 9781784396879.
9. Колдаев В. Д., Лупин С. А. Архитектура ЭВМ. — М. : Форум, 2018.
10. Куляс О. Л., Никитин К. А. Курс программирования на ASSEMBLER. — М. : Солон-Пресс, 2017.
11. Новожилов О. П. Архитектура ЭВМ и систем. — М. : Юрайт, 2016.
12. Расширенный ассемблер: NASM. — 2021. — URL: <https://www.opennet.ru/docs/RUS/nasm/>.
13. Робачевский А., Немнюгин С., Стесик О. Операционная система UNIX. — 2-е изд. — БХВПетербург, 2010. — 656 с. — ISBN 978-5-94157-538-1.
14. Столяров А. Программирование на языке ассемблера NASM для ОС Unix. — 2-е изд. — М. : МАКС Пресс, 2011. — URL: [http://www.stolyarov.info/books/asm\\_unix](http://www.stolyarov.info/books/asm_unix).

15. Таненбаум Э. Архитектура компьютера. — 6-е изд. — СПб. : Питер, 2013. — 874 с. — (Классика Computer Science).
16. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. — 4-е изд. — СПб. : Питер, 2015. — 1120 с. — (Классика Computer Science).