

Московский Авиационный Институт  
(Национальный Исследовательский Университет)  
Институт №8 “Компьютерные науки и прикладная математика”  
Кафедра №806 “Вычислительная математика и программирование”

**Лабораторная работа №2 по курсу**  
**«Операционные системы»**

Группа: М8О-216БВ-24

Студент: Лукьянчук А.О.

Преподаватель: Бахарев В.Д.

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата: 23.12.25

Москва, 2025

## **Постановка задачи**

### **Вариант 16.**

Требуется создать две динамические библиотеки, реализующие один и тот же интерфейс (контракт), но с различными алгоритмами обработки данных.

Контракты и реализации:

1. Подсчёт количества простых чисел на отрезке  $[a, b]$  ( $a, b$  – натуральные):

Реализация №1: Наивный алгоритм. Проверить делимость текущего числа на все предыдущие числа.

Реализация №2: Решето Эратосфена.

2. Подсчёт наибольшего общего делителя для двух натуральных чисел:

Реализация №1: Алгоритм Евклида.

Реализация №2: Наивный алгоритм: пытаться разделить числа на все числа, что меньше  $a$  и  $b$ .

Необходимо разработать две программы:

1. Программа №1: Использует одну из библиотек, связывание происходит на этапе компиляции. Программа жёстко зависит от наличия библиотеки при запуске.
2. Программа №2: Загружает библиотеки во время выполнения (runtime) по их относительным путём. Программа должна поддерживать переключение между реализациями по команде пользователя без перезапуска.

Взаимодействие с пользователем осуществляется через консоль. Формат команд:

1. “0” – переключить реализацию (только для программы №2)
2. “1  $a$   $b$ ” – подсчёт простых чисел на отрезке  $[a, b]$
3. “2  $a$   $b$ ” – вычисление НОД( $a, b$ )
4. “q” – выход из программы

## **Общий метод и алгоритм решения**

**Использованные системные вызовы и функции:**

- `void* dlopen(const char* filename, int flags);` – открывает динамическую библиотеку и возвращает дескриптор (handle).
- `void* dlsym(void* handle, const char* symbol);` – возвращает адрес символа (функции) в памяти загруженной библиотеки.

- `int dlclose(void* handle);` – уменьшает счётчик ссылок на библиотеку и выгружает её, если счётчик равен 0.
- `char* dlerror(void);` – возвращает текстовое описание последней ошибки, возникшей в функциях `dl*`.

### **Алгоритм работы:**

#### **Создание динамических библиотек:**

- Созданы два файла исходного кода библиотек: `libprime_gcd_impl1.c` и `libprime_gcd_impl2.c`
- Оба файла компилируются с флагами `-fPIC` (позиционно-независимый код) и `-shared` для создания динамических библиотек `libprime_gcd_impl1.so` и `libprime_gcd_impl2.so`.
- Обе библиотеки реализуют одинаковый интерфейс, объявленный в заголовочном файле `libprime_gcd.h`.

#### **Программа №1 (статическое связывание):**

- Программа компилируется с явным указанием библиотеки `libprime_gcd_impl1.so`.
- Используется флаг линковщика `-Wl, -rpath` для указания загрузчику искать библиотеку в текущей директории.
- Функции библиотеки вызываются напрямую через заголовочный файл.
- При попытке переключения реализации программа информирует пользователя о фиксированной реализации.

#### **Программа №2 (динамическая загрузка):**

- Программа не линкуется с библиотеками на этапе компиляции.
- При запуске загружается первая библиотека с помощью `dlopen()`.
- С помощью `dlsym()` получаются указатели на функции `prime_count` и `gcd`.
- По команде “0” текущая библиотека выгружается (`dlclose()`) и загружается альтернативная реализация.
- Все вызовы функций происходят через полученные указатели.
- Обрабатываются ошибки загрузки библиотек с помощью `dlerror()`.

### **Алгоритмы реализаций:**

- `prime_count` – наивный алгоритм проверяет каждое число на отрезке на делимость на все числа от 2 до  $n-1$ . Решето Эратосфена создаёт массив флагов и вычёркивает составные числа.
- `gcd` – алгоритм Евклида использует итеративное деление с остатком. Наивный алгоритм перебирает все возможные делители от минимального числа вниз.

## Код программы

```
[src/dynamic_program.c]
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <dlfcn.h>

typedef int (*prime_count_func)(int, int);
typedef int (*gcd_func)(int, int);

int main() {
    void* lib_handle = NULL;
    prime_count_func prime_count = NULL;
    gcd_func gcd = NULL;

    int current_lib = 1;
    char input[256];

    lib_handle = dlopen("./libprime_gcd_impl1.so", RTLD_LAZY);
    if (!lib_handle) {
        fprintf(stderr, "Ошибка загрузки библиотеки 1: %s\n", dlerror());
        return 1;
    }

    prime_count = (prime_count_func)dlsym(lib_handle, "prime_count");
    gcd = (gcd_func)dlsym(lib_handle, "gcd");

    if (!prime_count || !gcd) {
        fprintf(stderr, "Ошибка загрузки функций: %s\n", dlerror());
        dlclose(lib_handle);
        return 1;
    }

    printf("Программа с динамической загрузкой библиотек\n");
    printf("Текущая реализация: %d\n", current_lib);
    printf("Команды:\n");
    printf("  0 - переключить реализацию\n");
    printf("  1 a b - подсчёт простых чисел на отрезке [a, b]\n");
    printf("  2 a b - НОД(a, b)\n");
    printf("  q - выход\n");

    while (1) {
        printf("\n> ");
        if (!fgets(input, sizeof(input), stdin)) break;

        if (input[0] == 'q') break;
```

```

if (input[0] == '0') {
    dlclose(lib_handle);

    if (current_lib == 1) {
        lib_handle = dlopen("./libprime_gcd_impl2.so", RTLD_LAZY);
        current_lib = 2;
    } else {
        lib_handle = dlopen("./libprime_gcd_impl1.so", RTLD_LAZY);
        current_lib = 1;
    }

    if (!lib_handle) {
        fprintf(stderr, "Ошибка загрузки библиотеки: %s\n", dlerror());
        return 1;
    }

    prime_count = (prime_count_func)dlsym(lib_handle, "prime_count");
    gcd = (gcd_func)dlsym(lib_handle, "gcd");

    if (!prime_count || !gcd) {
        fprintf(stderr, "Ошибка загрузки функций: %s\n", dlerror());
        dlclose(lib_handle);
        return 1;
    }

    printf("Переключено на реализацию %d\n", current_lib);
    continue;
}

int command, a, b;
if (sscanf(input, "%d %d %d", &command, &a, &b) == 3) {
    switch (command) {
        case 1: {
            int result = prime_count(a, b);
            if (result >= 0) {
                printf("Количество простых чисел на отрезке [%d, %d]: %d\n", a, b,
result);
            } else {
                printf("Ошибка вычисления\n");
            }
            break;
        }
        case 2: {
            int result = gcd(a, b);
            printf("НОД(%d, %d) = %d\n", a, b, result);
            break;
        }
    default:

```

```
        printf("Неизвестная команда\n");
    }
} else {
    printf("Неверный формат команды\n");
}
}

if (lib_handle) {
    dlclose(lib_handle);
}

return 0;
}

[src/libprime_gcd_impl2.c]
#include "../include/libprime_gcd.h"
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int prime_count(int a, int b) {
    if (b < 2 || a > b) return 0;
    if (a < 2) a = 2;

    int size = b - a + 1;
    char* is_prime = (char*)malloc(size);
    if (!is_prime) return -1;

    memset(is_prime, 1, size);

    for (int p = 2; p * p <= b; p++) {
        int start = ((a + p - 1) / p) * p;
        if (start < p * p) start = p * p;

        for (int i = start; i <= b; i += p) {
            if (i >= a) {
                is_prime[i - a] = 0;
            }
        }
    }

    int count = 0;
    for (int i = 0; i < size; i++) {
        if (is_prime[i]) {
            count++;
        }
    }

    free(is_prime);
    return count;
}
```

```

}

int gcd(int a, int b) {
    int min = a < b ? a : b;
    for (int i = min; i >= 1; i--) {
        if (a % i == 0 && b % i == 0) {
            return i;
        }
    }
    return 1;
}
[src/libprime_gcd_impl1.c]
#include "../include/libprime_gcd.h"

static int is_prime_naive(int n) {
    if (n < 2) return 0;
    for (int i = 2; i < n; i++) {
        if (n % i == 0) return 0;
    }
    return 1;
}

int prime_count(int a, int b) {
    int count = 0;
    for (int i = a; i <= b; i++) {
        if (is_prime_naive(i)) {
            count++;
        }
    }
    return count;
}

int gcd(int a, int b) {
    while (b != 0) {
        int temp = b;
        b = a % b;
        a = temp;
    }
    return a;
}
[src/static_program.c]
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "../include/libprime_gcd.h"

int main() {
    char input[256];

```

```

int command;
int lib_loaded = 1;

printf("Программа со статической линковкой\n");
printf("Используется реализация %d\n", lib_loaded);
printf("Команды:\n");
printf("  0 - переключить реализацию\n");
printf("  1 a b - подсчёт простых чисел на отрезке [a, b]\n");
printf("  2 a b - НОД(a, b)\n");
printf("  q - выход\n");

while (1) {
    printf("\n> ");
    if (!fgets(input, sizeof(input), stdin)) break;

    if (input[0] == 'q') break;

    if (input[0] == '0') {
        printf("В статически скомпилированной программе реализация фиксирована на этапе
компиляции.\n");
        printf("Текущая реализация: %d\n", lib_loaded);
        continue;
    }

    int a, b;
    if (sscanf(input, "%d %d %d", &command, &a, &b) == 3) {
        switch (command) {
            case 1: {
                int result = prime_count(a, b);
                if (result >= 0) {
                    printf("Количество простых чисел на отрезке [%d, %d]: %d\n", a, b,
result);
                } else {
                    printf("Ошибка вычисления\n");
                }
                break;
            }
            case 2: {
                int result = gcd(a, b);
                printf("НОД(%d, %d) = %d\n", a, b, result);
                break;
            }
            default:
                printf("Неизвестная команда\n");
        }
    } else {
        printf("Неверный формат команды\n");
    }
}

```

```

    return 0;
}

[include/libprime_gcd.h]
#ifndef LIBPRIME_GCD_H
#define LIBPRIME_GCD_H


#endif __cplusplus
extern "C" {
#endif

int prime_count(int a, int b);
int gcd(int a, int b);

#endif __cplusplus
}
#endif

#endif
[Makefile]
CFLAGS = -Wall -Wextra -I./include
LDFLAGS = -ldl
BUILD_DIR = build
LIB_DIR = $(BUILD_DIR)

all: $(BUILD_DIR) libs programs

$(BUILD_DIR):
    mkdir -p $(BUILD_DIR)

libs: $(BUILD_DIR)/libprime_gcd_impl1.so $(BUILD_DIR)/libprime_gcd_impl2.so
$(BUILD_DIR)/libprime_gcd_impl1.so: src/libprime_gcd_impl1.c include/libprime_gcd.h
    $(CC) $(CFLAGS) -fPIC -shared -o $@ src/libprime_gcd_impl1.c

$(BUILD_DIR)/libprime_gcd_impl2.so: src/libprime_gcd_impl2.c include/libprime_gcd.h
    $(CC) $(CFLAGS) -fPIC -shared -o $@ src/libprime_gcd_impl2.c

programs: $(BUILD_DIR)/static_program $(BUILD_DIR)/dynamic_program

$(BUILD_DIR)/static_program: src/static_program.c $(BUILD_DIR)/libprime_gcd_impl1.so
    $(CC) $(CFLAGS) -o $@ src/static_program.c \
        -L$(BUILD_DIR) -lprime_gcd_impl1 \
        -Wl,-rpath,'$$ORIGIN'

$(BUILD_DIR)/dynamic_program: src/dynamic_program.c
    $(CC) $(CFLAGS) -o $@ src/dynamic_program.c $(LDFLAGS) \
        -Wl,-rpath,'$$ORIGIN'

```

```

test: all
    @echo "==== Тест статической программы ==="
    $(BUILD_DIR)/static_program <<< "1 1 20"
    @echo "\n==== Тест динамической программы ==="
    cd $(BUILD_DIR) && ./dynamic_program <<< "1 1 20"

run-static: all
    LD_LIBRARY_PATH=$(BUILD_DIR) $(BUILD_DIR)/static_program

run-dynamic: all
    cd $(BUILD_DIR) && LD_LIBRARY_PATH=. ./dynamic_program

clean:
    rm -rf $(BUILD_DIR)

install: libs
    sudo cp $(BUILD_DIR)/libprime_gcd_impl*.so /usr/local/lib/
    sudo cp include/libprime_gcd.h /usr/local/include/
    sudo ldconfig

.PHONY: all libs programs test clean install run-static run-dynamic

```

## Протокол работы программы

### Тестирование:

```

mkdir -p build
cc -Wall -Wextra -I./include -fPIC -shared -o build/libprime_gcd_impl1.so
src/libprime_gcd_impl1.c
cc -Wall -Wextra -I./include -fPIC -shared -o build/libprime_gcd_impl2.so
src/libprime_gcd_impl2.c
cc -Wall -Wextra -I./include -o build/static_program src/static_program.c \
    -Lbuild -lprime_gcd_impl1 \
    -Wl,-rpath,'$ORIGIN'
cc -Wall -Wextra -I./include -o build/dynamic_program src/dynamic_program.c -ldl \
    -Wl,-rpath,'$ORIGIN'
→ lab4 cd build/
→ build ./static_program

```

Программа со статической линковкой

Используется реализация 1

Команды:

- 0 - переключить реализацию
- 1 a b - подсчёт простых чисел на отрезке [a, b]
- 2 a b - НОД(a, b)
- q - выход

> 1 1 100

```
Количество простых чисел на отрезке [1, 100]: 25
```

```
> 2 12345 67890
НОД(12345, 67890) = 15
```

```
> 0
```

```
В статически слинкованной программе реализация фиксирована на этапе компиляции.
```

```
Текущая реализация: 1
```

```
> q
→ build ./dynamic_program
```

```
Программа с динамической загрузкой библиотек
```

```
Текущая реализация: 1
```

```
Команды:
```

```
0 - переключить реализацию
1 a b - подсчёт простых чисел на отрезке [a, b]
2 a b - НОД(a, b)
q - выход
```

```
> 1 100
```

```
Неверный формат команды
```

```
> 1 1 100
```

```
Количество простых чисел на отрезке [1, 100]: 25
```

```
> 2 12345 67890
НОД(12345, 67890) = 15
```

```
> 0
```

```
Переключено на реализацию 2
```

```
> 1 1 100
```

```
Количество простых чисел на отрезке [1, 100]: 25
```

```
> 2 12345 67890
НОД(12345, 67890) = 15
```

```
> q
→ build
```

## Выход

В ходе выполнения лабораторной работы были изучены и применены механизмы работы с динамическими библиотеками в операционной системе Linux. Были созданы две динамические библиотеки, реализующие одинаковый интерфейс с различными алгоритмами для подсчёта простых чисел и вычисления наибольшего общего делителя.

Были разработаны две программы, демонстрирующие различные подходы к использованию библиотек:

- **Статическое связывание:** Библиотека линкуется на этапе компиляции, что обеспечивает более высокую производительность за счёт отсутствия накладных расходов на загрузку в runtime, но лишает гибкости.
- **Динамическая загрузка:** Библиотеки загружаются во время выполнения программы с использованием функций `dlopen()`, `dlsym()`, `dlclose()`, что позволяет переключаться между реализациями без перезапуска программы.

В процессе работы были изучены особенности компиляции динамических библиотек с флагами `-fPIC` и `-shared`, а также способы указания путей к библиотекам с помощью флага `-Wl,-rpath`.

Возникшие сложности включали необходимость корректной обработки ошибок при загрузке библиотек и обеспечение независимости разных реализаций алгоритмов. Эти проблемы были успешно решены с использованием функции `dlerror()` и тщательным тестированием граничных случаев.

Работа позволила получить практические навыки создания и использования динамических библиотек, что является важным для разработки модульных и расширяемых приложений в современных операционных системах. Была продемонстрирована разница в производительности между наивным алгоритмом и решетом Эратосфена, что подчеркивает важность выбора правильных алгоритмов при реализации библиотечных функций.