

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»  
  
Институт компьютерных наук и кибербезопасности  
Высшая школа технологий искусственного интеллекта  
02.03.01 Математика и компьютерные науки

Отчёт по дисциплине  
**Дискретная математика**  
**Курсовая работа**  
«Калькулятор конечной арифметики  $Z_8$ »

**Выполнил:**

студент группы 5130201/40003

Джабраилов А.В.

**Принял:**

Востров А.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Санкт-Петербург, 2025

# Содержание

Введение . . . . .	3
1 Постановка задачи . . . . .	4
2 Математическое описание . . . . .	5
2.1 Конечная арифметика $Z_8$ . . . . .	5
2.2 Арифметические операции . . . . .	5
2.3 Ограничения . . . . .	8
3 Особенности реализации . . . . .	10
3.1 Реализация алгебраической логики . . . . .	10
3.2 Реализация консольного меню . . . . .	21
4 Результаты работы программы . . . . .	22
Заключение . . . . .	25
Список литературы . . . . .	27
Приложение 1. Файл Z8.h . . . . .	28
Приложение 2. Файл Z8.cpp . . . . .	30
Приложение 3. Файл main.cpp . . . . .	42

# **Введение**

## **Актуальность и цель работы**

Использование кода Грея позволяет минимизировать количество ошибок при переходе от одного состояния к другому, что применяется, например, в кодировании данных. Мульти множества позволяют описывать системы, где элемент может встречаться несколько раз — это востребовано в базах данных, статистике и других областях.

Таким образом, разработка программного инструмента, который демонстрирует генерацию кода Грея и операции над мульти множествами, способствует формированию навыков работы с дискретными структурами данных и алгоритмами, а также помогает на практике закрепить фундаментальные понятия теории множеств.

# 1 Постановка задачи

В рамках лабораторной работы необходимо реализовать калькулятор "большой" конечной арифметики  $\langle Z_i; +, * \rangle$  (8 разрядов) для четырех действий  $(+, -, *, /)$  на основе "малой" конечной арифметики, где задано правило «+1» и выполняются свойства коммутативности  $(+, *)$ , ассоциативности  $(+, *)$ , дистрибутивности  $*$  относительно  $+$ , заданы аддитивная единица «а» и мультипликативная единица «б», а также выполняется свойство:  $(\forall x) * a = a$ .

Цель данной работы — реализовать программу, которая:

- поддерживает сложение для данной арифметики,
- поддерживает разность для данной арифметики,
- поддерживает умножение для данной арифметики,
- поддерживает деление для данной арифметики,
- поддерживает мультиразрядность (возможна операция  $bbb + ccc$ ),
- поддерживает отрицательные числа,
- выполняет вычисления только в рамках данной арифметики без перевода в иные системы счисления.

## 2 Математическое описание

### 2.1 Конечная арифметика $Z_8$

Рассмотрим нашу конечную арифметику

$$Z_8 = \{a, b, c, d, e, f, g, h\},$$

в которой задана операция « $+1$ », определяющая правило перехода от элемента к следующему:

$x$	a	b	c	d	e	f	g	h
$x + 1$	b	d	e	h	g	a	f	c

Это правило задаёт циклическую аддитивную структуру порядка 8.

Элемент  $a$  является **аддитивной единицей**:

$$\forall x \in Z_8, \quad x + a = x.$$

Элемент  $b$  задан как **мультипликативная единица**:

$$\forall x \in Z_8, \quad x \cdot b = x.$$

Выполняется свойство поглощения:

$$\forall x \in Z_8, \quad x \cdot a = a.$$

В этой алгебре выполняются следующие свойства: коммутативность, ассоциативность и дистрибутивность.

Эти свойства позволяют рассматривать структуру  $\langle Z_8; +, \cdot \rangle$  как **коммутативное кольцо с единицей**.

### 2.2 Арифметические операции

Для выполнения арифметических операций  $(+, -, *, /)$  была составлена следующая логика.

## Сложение

Сложение выполняется по следующей логике.

1. Пусть надо сложить числа  $A$  и  $B$ .
2. Выбирается наибольшее из этих двух чисел (можно, т.к. данная алгебра коммутативна). Пусть наибольшее в данном случае  $A$ .
3. К  $A$  прибавляется элемент  $b$  (мультипликативная единица)  $B$  раз.  
Это, в свою очередь, производится по следующей логике.
  - (a) Если разряд, к которому прибавлялось  $b$ , не был равен  $f$  до прибавления, измененным остается только текущий разряд.
  - (b) В противном случае,  $b$  прибавляется к следующему разряду (перенос), и так до тех пор, пока не надо будет совершать перенос.

Выбор наибольшего из двух чисел во втором пункте обоснован оптимизацией вычислений, т.к. если мы складываем, например,  $b$  и  $fffffg$ , намного быстрее прибавить один раз  $b$  к  $fffffg$ , чем наоборот.

## Умножение

Умножение выполняется по следующей логике.

1. Пусть надо умножить число  $A$  на  $B$ .
2. Выбирается наибольшее из этих двух чисел (коммутативность). Пусть наибольшее в данном случае  $A$ .
3. К  $A$  прибавляется  $A$   $B-1$  раз, что реализовано через правило "+1".

Выбор наибольшего из двух чисел во втором пункте обоснован оптимизацией вычислений, т.к. если мы умножем, например,  $baa$  и  $baaa$ , намного быстрее прибавлять к себе  $baaa$   $baa$  раз, чем наоборот.

## Вычитание

В добавок к таблице правила " $+1$ " была создана аналогичная таблица правила " $1$ ".

Логика вычитания реализована так же, как и сложения, за исключением того, что мы "занимаем" разряд в случае, если вычитаемый разряд на момент вычитания равен  $a$ , что вызовет переход к  $f$ , далее операция производится для старшего разряда, и так до тех пор, пока занимать разряд не придется.

## Деление

Деление реализовано так же, как умножение, за исключением того, что вместо сложения мы используем вычитание из числа  $A$  числа  $B$  до тех пор, пока промежуточный результат вычитания не будет меньше  $A$ ; ответ равен текущему результату вычитания и остатку (последнему промежуточному результату).

## Отрицательные числа и операции с ними

Операции с отрицательными числами основываются на операциях с положительными, всё заключается в изменении самой операции (например, сложение положительного и отрицательного чисел можно рассматривать как разность), а эти изменения опираются на свойства коммутативных колец (например,  $-a + b = b + -a = b - a$ ).

Операции с отрицательными числами проводятся по следующей логике:

### **Если отрицательно одно число:**

1. Пусть модуль отрицательного числа  $A$ , а положительное число  $B$ .
2. При сложении вычитаем из модуля большего модуль меньшего; если  $A > B$ , приписываем минус в начале ответа, в противном случае нет.
3. При вычитании складываем модули чисел.
4. При умножении совершаюм умножение и приписываем минус.
5. При делении:
  - если остатка при делении нет, приписываем минус;
  - если остаток при делении есть, увеличиваем модуль частного на 1 и вычитаем из делителя текущий остаток.

### **Если оба числа отрицательны:**

1. Пусть модули двух отрицательных чисел  $A$  и  $B$  соответственно.
2. При сложении складываем модули и приписываем минус.
3. При вычитании берем модуль большего, вычитаем из него модуль меньшего; если  $A > B$ , приписываем минус, в противном случае нет.
4. При умножении совершаюм умножение модулей.
5. При делении совершается деление модулей.

## **2.3 Ограничения**

В данной алгебре присутствуют следующие ограничения:

- нельзя делить на ноль;
- нельзя проводить операции над числами, превышающими 8 разрядов;
- результат операции не должен превышать 8 разрядов.

Выход за эти ограничения ведет к неопределенному выходу, т.е. результат таких операций неизвестен.

### 3 Особенности реализации

#### 3.1 Реализация алгебраической логики

Математическая логика программы реализована в классе `Z8Number`. Он содержит в себе поля для хранения данных о числе и функции для проведения операций над ними.

В рамках данного описания числами будут называться элементы структуры  $Z_8$  (`a`, `b`, ..., `f`).

- Метод `getNeg`

**Вход:** `bool isNegative` - отрицательно ли данное число.

**Выход:** `bool isNegative` - отрицательно ли данное число.

**Назначение:** возвращает булевое значение, означающее отрицательно ли данное число.

**Код:**

```
1 bool Z8Number::getNeg() const {  
2     return isNegative;  
3 }
```

- Метод `inc`

**Вход:** `char c` - текущее число.

**Выход:** `char c` - следующее число.

**Назначение:** возвращает число, получающееся в результате операции "+1" над текущим.

**Код:**

```
1 char Z8Number::inc(char c) {  
2     switch (c) {  
3         case 'a': return 'b';
```

```

4     case 'b': return 'd';
5     case 'c': return 'e';
6     case 'd': return 'h';
7     case 'e': return 'g';
8     case 'f': return 'a';
9     case 'g': return 'f';
10    case 'h': return 'c';
11    default: throw std::invalid_argument("Invalid digit");
12}
13}

```

- Метод dec

**Вход:** char c - текущее число.

**Выход:** char c - предыдущее число.

**Назначение:** возвращает число, получающееся в результате операции 1 над текущим.

**Код:**

```

1 char Z8Number::dec(char c) {
2     switch (c) {
3         case 'a': return 'f';
4         case 'b': return 'a';
5         case 'c': return 'h';
6         case 'd': return 'b';
7         case 'e': return 'c';
8         case 'f': return 'g';
9         case 'g': return 'e';
10        case 'h': return 'd';
11        default: throw std::invalid_argument("Invalid digit");
12    }
13}

```

- Метод `normalize`

**Вход:** `std::string s` - введенное число.

**Выход:** `std::string r` - модуль данного числа без незначащих 'а'.

**Назначение:** возвращает модуль данного числа без незначащих 'а'.

**Код:**

```
1 std::string Z8Number::normalize(const std::string& s) {  
2     size_t i = s[0] == '-' ? 1 : 0;  
3     while (i < s.length() - 1 && s[i] == '0')  
4         ++i;  
5     return s.substr(i);  
6 }
```

- Метод `isEqual`

**Вход:** `std::string a, std::string b` - числа для сравнения.

**Выход:** `bool n` - результат сравнения чисел.

**Назначение:** сравнивает два числа и возвращает `true`, если их модули равны, иначе `false`.

**Код:**

```
1 bool Z8Number::isEqual(const std::string& a, const std::string& b) {  
2     return normalize(a) == normalize(b);  
3 }
```

- Метод `validate`

**Вход:** `std::string s` - число на проверку корректности.

**Выход:** `bool n` - корректно ли данное число.

**Назначение:** проверяет, корректно ли данное число (не превышает ли лимиты и не содержит ли лишних символов).

**Код:**

```

1 void Z8Number::validate(const std::string& s) {
2     if (s.empty()) throw std::invalid_argument("Empty number");
3     if (s.size() > 8 && s[0] != '-' || s.size() > 9) throw std::invalid_argument("More
4         than 8 digits");
5     for (char c : s) {
6         if (c != 'a' && c != 'b' && c != 'c' && c != 'd' &&
7             c != 'e' && c != 'f' && c != 'g' && c != 'h' && c != '-')
8             throw std::invalid_argument("Invalid character");
9     }

```

- Метод `operator==`

**Вход:** `Z8Number current, Z8Number other` - числа на сравнение.

**Выход:** `bool n` - результат сравнения двух чисел.

**Назначение:** сравнивает два числа по модулю.

**Код:**

```

1 bool Z8Number::operator==(const Z8Number& other) const {
2     return isEqual(digits, other.digits);
3 }

```

- Метод `incNumber`

**Вход:** `std::string num` - число на увеличение.

**Выход:** `std::string new` - число после увеличения.

**Назначение:** увеличивает число на единицу, учитывая переносы.

**Код:**

```

1 std::string Z8Number::incNumber(const std::string& num) {
2     std::string res = num;
3     int i = static_cast<int>(res.size()) - 1;
4     while (i >= 0) {

```

```

5     char old = res[i];
6     res[i] = inc(old);
7     if (old != 'f') { // no carry
8         break;
9     }
10    if (i == 0) { // carrying until no need to
11        res = 'b' + res;
12        if (res.size() > 8)
13            throw std::overflow_error("Number exceeds 8 digits");
14        break;
15    }
16    --i;
17 }
18 if (normalize(res).size() > 8)
19 throw std::overflow_error("Number exceeds 8 digits");
20 return normalize(res);
21 }
```

- **Метод** decNumber

**Вход:** std::string num - число на уменьшение.

**Выход:** std::string new - число после уменьшения.

**Назначение:** уменьшает число на единицу, учитывая переносы.

**Код:**

```

1 std::string Z8Number::decNumber(const std::string& num) {
2     if (isEqual(num, "a"))
3         throw std::domain_error("Cannot decrement zero");
4     std::string res = num;
5     int i = static_cast<int>(res.size()) - 1;
6     while (i >= 0) {
7         char old = res[i];
8         res[i] = dec(old);
```

```

9      if (old != 'a') { // a -> f, so we need to take one from higher
10         break;
11     }
12     --i;
13   }
14   return normalize(res);
15 }
```

- Метод greaterOrEqual

**Вход:** std::string num1, std::string num2 - числа на сравнение.

**Выход:** bool n - результат сравнения чисел.

**Назначение:** сравнивает два числа: больше или равно ли первое, чем второе.

**Код:**

```

1 bool Z8Number::greaterOrEqual(const std::string& x, const std::string& y) {
2     if (isEqual(x, y)) return true;
3     if (isEqual(y, "a")) return true;
4     if (isEqual(x, "a")) return false;
5     try {
6         subNumbers(x, y);
7         return true;
8     }
9     catch (...) {
10        return false;
11    }
12 }
```

- Метод greater

**Вход:** std::string num1, std::string num2 - числа на сравнение.

**Выход:** bool n - результат сравнения чисел.

**Назначение:** сравнивает два числа: больше ли первое, чем второе.

**Код:**

```
1 bool greater(const Z8Number& x, const Z8Number& y) {  
2     if (x == y) return false;  
3     if (y == Z8Number("a")) return true;  
4     if (x == Z8Number("a")) return false;  
5     try {  
6         x - y;  
7         return true;  
8     }  
9     catch (...) {  
10        return false;  
11    }  
12 }
```

- **Метод** addNumbers

**Вход:** std::string num1, std::string num2 - числа для суммирования.

**Выход:** std::string result - результат суммирования.

**Назначение:** выполняет сложение двух чисел.

**Код:**

```
1 std::string Z8Number::addNumbers(const std::string& x, const std::string& y) {  
2     if (isEqual(y, "a")) return x;  
3     std::string res = x;  
4     std::string counter = "a";  
5     while (!isEqual(counter, y)) {  
6         res = incNumber(res);  
7         counter = incNumber(counter);  
8         if (normalize(res).size() > 8)  
9             throw std::overflow_error("Number exceeds 8 digits");  
10    }  
11    return res;
```

- Метод subNumbers

**Вход:** std::string num1, std::string num2 - числа для выполнения вычитания.

**Выход:** std::string result - разность.

**Назначение:** выполняет вычитание одного числа из другого, возвращает их разность.

**Код:**

```

1 std::string Z8Number::subNumbers(const std::string& x, const std::string& y) {
2     if (isEqual(y, "a")) return x;
3     if (isEqual(x, y)) return "a";
4     std::string res = x;
5     std::string counter = "a";
6     while (!isEqual(counter, y)) {
7         res = decNumber(res);
8         counter = incNumber(counter);
9     }
10    return res;
11 }
```

- Метод mulNumbers

**Вход:** std::string num1, std::string num2 - числа для умножения.

**Выход:** std::string result - произведение двух чисел.

**Назначение:** выполняет умножение двух чисел.

**Код:**

```

1 std::string Z8Number::mulNumbers(const std::string& x, const std::string& y) {
2     if (isEqual(x, "a") || isEqual(y, "a")) return "a";
3     std::string res = x;
```

```

4 std::string counter = "b";
5 if (isEqual(y, "ba")) res = res + "a";
6 else if (isEqual(y, "baa")) res = res + "aa";
7 else if (isEqual(y, "baaa")) res = res + "aaa";
8 else if (isEqual(y, "baaaa")) res = res + "aaaa";
9 else if (isEqual(y, "baaaaa")) res = res + "aaaaa";
10 else if (isEqual(y, "baaaaaa")) res = res + "aaaaaa";
11 else if (isEqual(y, "baaaaaaa")) res = res + "aaaaaaa";
12 else {
13     while (!isEqual(counter, y)) {
14         res = addNumbers(res, x);
15         counter = incNumber(counter);
16     }
17 }
18 if (normalize(res).size() > 8)
19 throw std::overflow_error("Number exceeds 8 digits");
20 return res;
21 }
```

- Метод `divNumbers`, `divide`

**Вход:** `std::string num1, std::string num2` - делимое и делитель.

**Выход:** `std::string result` - частное.

**Назначение:** выполняет деление одного числа на другое.

**Код:**

```

1 std::string Z8Number::divNumbers(const std::string& x, const std::string& y, bool
2 firstIsNeg) {
3     if (isEqual(y, "a")) {
4         if (isEqual(x, "a"))
5             return "-fffffff; fffffff";
6         else
7             return "empty set";
```

```

7   }
8   if (isEqual(x, "a")) {
9     return "a";
10  }
11
12 std::string quotient = "a";
13 std::string remainder = x;
14
15 while (greaterOrEqual(remainder, y)) {
16   remainder = subNumbers(remainder, y);
17   quotient = incNumber(quotient);
18 }
19
20 if (firstIsNeg && !isEqual(remainder, "a")) {
21   quotient = incNumber(quotient);
22   remainder = subNumbers(y, remainder);
23 }
24
25 if (isEqual(remainder, "a")) {
26   return quotient;
27 }
28 else {
29   return quotient + "(" + remainder + ")";
30 }
31 }
```

- Метод operator +, -, \*

**Вход:** Z8Number num1, Z8Number num2 - числа для проведения арифметической операции.

**Выход:** Z8Number result - результат выполнения арифм. операции.

**Назначение:** выполнение операции над двумя числами (аналоги вызо-

вов функций).

**Код:**

```
1 Z8Number Z8Number::operator+(const Z8Number& o) const {
2     return Z8Number(addNumbers(digits, o.digits));
3 }
4 Z8Number Z8Number::operator-(const Z8Number& o) const {
5     return Z8Number(subNumbers(digits, o.digits));
6 }
7 Z8Number Z8Number::operator*(const Z8Number& o) const {
8     return Z8Number(mulNumbers(digits, o.digits));
9 }
```

- **Метод** `operator =`

**Вход:** `Z8Number other` - число, к которому надо приравнять текущее.

**Выход:** `Z8Number result` - обновленное текущее число.

**Назначение:** присваивает значение другого числа текущему.

**Код:**

```
1 Z8Number& Z8Number::operator=(const Z8Number& other) {
2     digits = other.digits;
3     isNegative = other.isNegative;
4     return *this;
5 }
```

- **Метод** `toString`

**Вход:** `Z8Number num` - текущее число.

**Выход:** `std::string strNum` - текущее число в строковом формате.

**Назначение:** переводит число в строку.

**Код:**

```
1 std::string Z8Number::toString() const {
```

```
2     return digits;  
3 }
```

- Метод calculate

**Вход:** Z8Number a, Z8Number b, std::string op - числа и операция над ними.

**Выход:** Z8Number result - результат выполнения арифметической операции над числами.

**Назначение:** выполнение арифметической операции над двумя числами с учетом знаков и разрядов.

**Код:**

```
1 void calculate(const Z8Number& a, const Z8Number& b, std::string op) {  
2     std::string result;  
3     if (!(a.isNegative) && !(b.isNegative)) {  
4         try {  
5             if (op == "+") {  
6                 result = (a + b).toString();  
7             }  
8             else if (op == "-") {  
9                 try {  
10                     result = (a - b).toString();  
11                 }  
12                 catch (...) {  
13                     result = "- " + (b - a).toString();  
14                 }  
15             }  
16         ...  
17     }
```

## 3.2 Реализация консольного меню

Консольное меню реализовано в файле `main.py`. При запуске программы выводит приветственное сообщение, после чего до каждого ввода пользователя отображает допустимые границы чисел и формат ввода.

**Код тела `main`:**

```
1 std::cout << "Hello!" << std::endl;
2 std::string s1, s2, op;
3 while (true) {
4     std::cout << "Enter the problem (format: <num> <operation> <num>; nums from -
5         ffffffff to ffffffff):\n>> ";
6     std::cin >> s1;
7     std::cin >> op;
8     std::cin >> s2;
9
10    try {
11        Z8Number a(s1), b(s2);
12        calculate(a, b, op);
13    }
14    catch (...) {
15        std::cerr << "Error: incorrect input" << std::endl;
16    }
}
```

## 4 Результаты работы программы

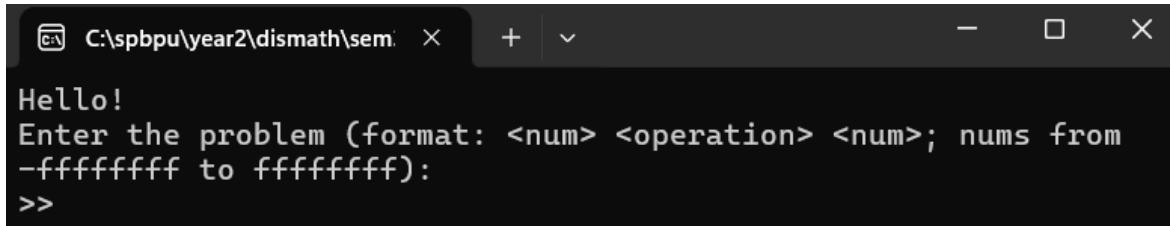
Разработанная программа имеет консольный интерфейс и предоставляет пользователю меню, позволяющее выполнять все действия.

## Меню программы

После запуска программы пользователю предлагается ввести пример, который надо решить, в формате <число> <операция> <число>. В случае некорректного ввода (неверный формат, превышение лимитов, некорректные значения чисел) или ошибки в результате вычислений (деление на ноль, превышение лимитов) программа сообщит об этом пользователю.

## Пример работы

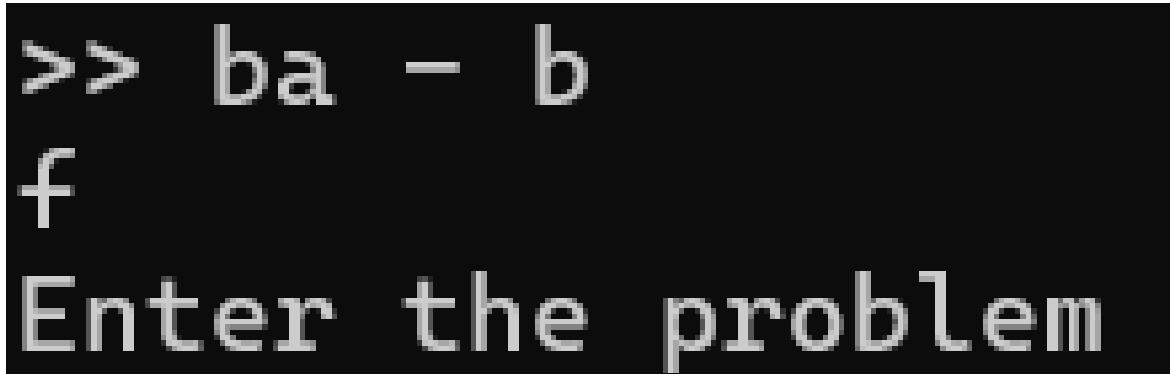
При запуске программы высвечивается приветственное окно и предложение ввести пример. (рис. 1).



```
  C:\spbpu\year2\dismath\sem: x + v - □ ×
Hello!
Enter the problem (format: <num> <operation> <num>; nums from
-ffffffff to ffffffff):
>>
```

Рис. 1: Приветственное сообщение при запуске программы.

Когда пользователь введет пример и нажмет Enter, программа выведет результат вычислений (рис. 2).



```
>> ba - b
f
Enter the problem
```

Рис. 2: Вывод решения примера.

Если пользователь сделает некорректный ввод, программа об этом сообщит и предложит ввести пример снова (рис. 3).

```
>> takogo - net  
Error: incorrect input  
Enter the problem (format: <num>
```

Рис. 3: Обработка некорректного пользовательского ввода.

Если результат операции превышает лимиты, программа так же сообщит об этом (рис. 4).

```
Enter the problem (format: <num>  
>> ffffffff + b  
Error: Number exceeds 8 digits
```

Рис. 4: Обработка попытки проведения операций над несуществующими мультипликативными множествами.

Результаты подтвердили, что программа реализована корректно.

# Заключение

В ходе лабораторной работы была разработана программа, позволяющая:

- работать с арифметикой  $Z_8$  с элементами (в порядке таблицы "+1") a, b, d, h, c, e, g, f:
  - сложение,
  - разность,
  - умножение,
  - деление,
- работать с мультиразрядностью,
- работать с отрицательными числами,
- обрабатывать некорректный ввод пользователя и ограничения в операциях,
- выполнять вычисления только в рамках данной арифметики без перевода в иные системы счисления.

Программа демонстрирует корректную реализацию всех заданных функций. Программа создана по принципам ООП что удобно разделяет интерфейс и функционал класса, работающего с числами, и позволяет вносить изменения в программу легче, чем если бы она имела процедурную структуру.

## Плюсы программы.

- Использование объектно-ориентированной парадигмы программирования, что позволяет удобно модифицировать программу.

## Минусы программы.

- Результаты операций не сохраняются, что позволило бы проводить несколько операций подряд.
- Использование стандартных контейнеров библиотеки: вручную можно было бы создать более оптимизированные контейнеры.
- Неоптимизированный подход к выполнению арифметических операций: всё строится на правиле  $+1$ , что означает, что при масштабировании программы и включении возможности проводить операции с большим числом разрядов, операции будут проводиться медленнее, чем при использовании большего числа матриц переходов для оптимальных вычислений.

**Масштабирование.** Используемая архитектура позволяет добавлять новые операции над числами данной алгебры (например, степени, НОК, НОД). Возможна интеграция с графическим интерфейсом или веб-интерфейсом. В будущем можно добавить возможность работы с несколькими операциями в одной строке.

Таким образом, реализованная программа является масштабируемой и обладает потенциалом развития. Её структура позволяет расширять функциональность и использовать в более крупных программных системах.

# Список литературы

- [1] Павловская Т. А., Щюпак Ю. А. С++ Объектно-ориентированное программирование: Практикум. — СПб.: Питер, 2006 — 265 с.
- [2] 3. Хаггарти Р. Дискретная математика для программистов — Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2012 - 400 с.
- [3] Секция "Телематика"(Электронный ресурс).  
URL: <https://tema.spbstu.ru/dismath/>  
(дата обращения: 24.11.2025).

# Приложение 1. Файл Z8.h.

```
1 #pragma once
2
3 #include <string>
4 #include <stdexcept>
5
6 class Z8Number {
7 public:
8     Z8Number();
9     explicit Z8Number(const std::string& s);
10    Z8Number(const Z8Number& other);
11
12    Z8Number operator+(const Z8Number& other) const;
13    Z8Number operator-(const Z8Number& other) const;
14    Z8Number operator*(const Z8Number& other) const;
15    std::string divide(const Z8Number& divisor, bool firstIsNeg = false) const;
16    Z8Number& operator=(const Z8Number& other);
17
18    bool operator==(const Z8Number& other) const;
19    std::string toString() const;
20
21 private:
22     std::string digits;
23     bool isNegative;
24
25     bool getNeg() const;
26     static char inc(char c);
27     static char dec(char c);
28     static std::string incNumber(const std::string& num);
29     static std::string decNumber(const std::string& num);
30     static std::string addNumbers(const std::string& x, const std::string& y);
```

```
31     static std::string subNumbers(const std::string& x, const std::string& y);
32     static std::string mulNumbers(const std::string& x, const std::string& y);
33     static std::string divNumbers(const std::string& x, const std::string& y, bool firstIsNeg =
34         false);
35     static bool greaterOrEqual(const std::string& x, const std::string& y);
36     friend bool greaterOrEqual(const Z8Number& x, const Z8Number& y);
37     friend bool greater(const Z8Number& x, const Z8Number& y);
38     static std::string normalize(const std::string& s);
39     static void validate(const std::string& s);
40     static bool isEqual(const std::string& a, const std::string& b);
41     friend void calculate(const Z8Number& a, const Z8Number& b, std::string op);
41 };
```

Листинг 1: Файл Z8.h

## Приложение 2. Файл Z8.cpp.

```
1 #include "z8.h"
2 #include <algorithm>
3 #include <stdexcept>
4 #include <iostream>
5
6 bool Z8Number::getNeg() const {
7     return isNegative;
8 }
9
10 char Z8Number::inc(char c) {
11     switch (c) {
12         case 'a': return 'b';
13         case 'b': return 'd';
14         case 'c': return 'e';
15         case 'd': return 'h';
16         case 'e': return 'g';
17         case 'f': return 'a';
18         case 'g': return 'f';
19         case 'h': return 'c';
20         default: throw std::invalid_argument("Invalid digit");
21     }
22 }
23
24 char Z8Number::dec(char c) {
25     switch (c) {
26         case 'a': return 'f';
27         case 'b': return 'a';
28         case 'c': return 'h';
29         case 'd': return 'b';
30         case 'e': return 'c';
31 }
```

```

31     case 'f': return 'g';
32     case 'g': return 'e';
33     case 'h': return 'd';
34     default: throw std::invalid_argument("Invalid digit");
35   }
36 }
37
38 // --- normalizing: getting rid of extra 'a' in the beginning ---
39 std::string Z8Number::normalize(const std::string& s) {
40   size_t i = s[0] == '-' ? 1 : 0;
41   while (i < s.length() - 1 && s[i] == 'a')
42     ++i;
43   return s.substr(i);
44 }
45
46 bool Z8Number::isEqual(const std::string& a, const std::string& b) {
47   return normalize(a) == normalize(b);
48 }
49
50 void Z8Number::validate(const std::string& s) {
51   if (s.empty()) throw std::invalid_argument("Empty number");
52   if (s.size() > 8 && s[0] != '-' || s.size() > 9) throw std::invalid_argument("More than 8
53   digits");
54   for (char c : s) {
55     if (c != 'a' && c != 'b' && c != 'c' && c != 'd' &&
56         c != 'e' && c != 'f' && c != 'g' && c != 'h' && c != '-')
57       throw std::invalid_argument("Invalid character");
58   }
59
60 Z8Number::Z8Number() : digits("a"), isNegative(false) {}
61 Z8Number::Z8Number(const std::string& s) {

```

```

62     validate(s);
63
64     digits = normalize(s);
65
66     isNegative = s[0] == '-' ? true : false;
67 }
68
69 Z8Number::Z8Number(const Z8Number& other) {
70
71     digits = other.digits;
72
73     isNegative = other.isNegative;
74 }
75
76 std::string Z8Number::incNumber(const std::string& num) {
77
78     std::string res = num;
79
80     int i = static_cast<int>(res.size()) - 1;
81
82     while (i >= 0) {
83
84         char old = res[i];
85
86         res[i] = inc(old);
87
88         if (old != 'f') { // no carry
89
90             break;
91         }
92
93         if (normalize(res).size() > 8)
94             throw std::overflow_error("Number exceeds 8 digits");
95
96         --i;
97     }
98
99     if (normalize(res).size() > 8)
100        throw std::overflow_error("Number exceeds 8 digits");

```

```

94     return normalize(res);
95 }
96
97 std::string Z8Number::decNumber(const std::string& num) {
98     if (isEqual(num, "a"))
99         throw std::domain_error("Cannot decrement zero");
100    std::string res = num;
101    int i = static_cast<int>(res.size()) - 1;
102    while (i >= 0) {
103        char old = res[i];
104        res[i] = dec(old);
105        if (old != 'a') { // a -> f, so we need to take one from higher
106            break;
107        }
108        --i;
109    }
110    return normalize(res);
111 }
112
113 bool Z8Number::greaterOrEqual(const std::string& x, const std::string& y) {
114     if (isEqual(x, y)) return true;
115     if (isEqual(y, "a")) return true;
116     if (isEqual(x, "a")) return false;
117     try {
118         subNumbers(x, y);
119         return true;
120     }
121     catch (...) {
122         return false;
123     }
124 }
125

```

```

126 bool greater(const Z8Number& x, const Z8Number& y) {
127     if (x == y) return false;
128     if (y == Z8Number("a")) return true;
129     if (x == Z8Number("a")) return false;
130     try {
131         x - y;
132         return true;
133     }
134     catch (...) {
135         return false;
136     }
137 }
138
139 bool greaterOrEqual(const Z8Number& X, const Z8Number& Y) {
140     std::string x = X.digits;
141     std::string y = Y.digits;
142     return Z8Number::greaterOrEqual(x, y);
143 }
144
145 std::string Z8Number::addNumbers(const std::string& x, const std::string& y) {
146     if (isEqual(y, "a")) return x;
147     std::string res = x;
148     std::string counter = "a";
149     while (!isEqual(counter, y)) {
150         res = incNumber(res);
151         counter = incNumber(counter);
152         if (normalize(res).size() > 8)
153             throw std::overflow_error("Number exceeds 8 digits");
154     }
155     return res;
156 }
157

```

```

158 std::string Z8Number::subNumbers(const std::string& x, const std::string& y) {
159     if (isEqual(y, "a")) return x;
160     if (isEqual(x, y)) return "a";
161     std::string res = x;
162     std::string counter = "a";
163     while (!isEqual(counter, y)) {
164         res = decNumber(res);
165         counter = incNumber(counter);
166     }
167     return res;
168 }
169
170 std::string Z8Number::mulNumbers(const std::string& x, const std::string& y) {
171     if (isEqual(x, "a") || isEqual(y, "a")) return "a";
172     std::string res = x;
173     std::string counter = "b";
174     if (isEqual(y, "ba")) res = res + "a";
175     else if (isEqual(y, "baa")) res = res + "aa";
176     else if (isEqual(y, "baaa")) res = res + "aaa";
177     else if (isEqual(y, "baaaa")) res = res + "aaaa";
178     else if (isEqual(y, "baaaaa")) res = res + "aaaaa";
179     else if (isEqual(y, "baaaaaa")) res = res + "aaaaaa";
180     else if (isEqual(y, "baaaaaaa")) res = res + "aaaaaaa";
181     else {
182         while (!isEqual(counter, y)) {
183             res = addNumbers(res, x);
184             counter = incNumber(counter);
185         }
186     }
187     if (normalize(res).size() > 8)
188         throw std::overflow_error("Number exceeds 8 digits");
189     return res;

```

```

190 }
191
192 std::string Z8Number::divNumbers(const std::string& x, const std::string& y, bool firstIsNeg)
193 {
194     if (isEqual(y, "a")) {
195         if (isEqual(x, "a"))
196             return "-fffffff; fffffff";
197         else
198             return "empty set";
199     }
200     if (isEqual(x, "a")) {
201         return "a";
202     }
203     std::string quotient = "a";
204     std::string remainder = x;
205
206     while (greaterOrEqual(remainder, y)) {
207         remainder = subNumbers(remainder, y);
208         quotient = incNumber(quotient);
209     }
210
211     if (firstIsNeg && !isEqual(remainder, "a")) {
212         quotient = incNumber(quotient);
213         remainder = subNumbers(y, remainder);
214     }
215
216     if (isEqual(remainder, "a")) {
217         return quotient;
218     }
219     else {
220         return quotient + "(" + remainder + ")";

```

```

221     }
222 }
223
224 std::string Z8Number::divide(const Z8Number& divisor, bool firstIsNeg) const {
225     return divNumbers(digits, divisor.digits, firstIsNeg);
226 }
227
228 Z8Number Z8Number::operator+(const Z8Number& o) const {
229     return Z8Number(addNumbers(digits, o.digits));
230 }
231
232 Z8Number Z8Number::operator-(const Z8Number& o) const {
233     return Z8Number(subNumbers(digits, o.digits));
234 }
235
236 Z8Number Z8Number::operator*(const Z8Number& o) const {
237     return Z8Number(mulNumbers(digits, o.digits));
238 }
239
240 Z8Number& Z8Number::operator=(const Z8Number& other) {
241     digits = other.digits;
242     isNegative = other.isNegative;
243     return *this;
244 }
245
246 std::string Z8Number::toString() const {
247     return digits;
248 }
249
250 void calculate(const Z8Number& a, const Z8Number& b, std::string op) {
251     std::string result;
252     if (!(a.isNegative) && !(b.isNegative))) {

```

```

253     try {
254         if (op == "+") {
255             result = (a + b).toString();
256         }
257         else if (op == "-") {
258             try {
259                 result = (a - b).toString();
260             }
261             catch (...) {
262                 result = "- " + (b - a).toString();
263             }
264         }
265         else if (op == "*") {
266             if (greater(a, b)) result = (a * b).toString();
267             else result = (b * a).toString();
268         }
269         else if (op == "/") {
270             result = a.divide(b);
271         }
272         else {
273             std::cerr << "Unknown operator\n";
274         }
275     }
276     catch (const std::exception& e) {
277         std::cerr << "Error: " << e.what() << "\n";
278     }
279 }
280 else if ((a.isNegative) && (!(b.isNegative)) || (!(a.isNegative)) && (b.isNegative)) {
281     Z8Number neg, pos;
282     if ((a.isNegative) && (!(b.isNegative))) {
283         neg = a;
284         pos = b;

```

```

285     }
286     else {
287         neg = b;
288         pos = a;
289     }
290     try {
291         if (op == "+") {
292             if (greater(neg, pos)) result = "-" + (neg - pos).toString();
293             else result = (pos - neg).toString();
294         }
295         else if (op == "-") {
296             result = (neg + pos).toString();
297         }
298         else if (op == "*") {
299             if (a == Z8Number("a") || a == Z8Number("-a") || b == Z8Number("a") ||
300                 b == Z8Number("-a")) result = "a";
301             else result = "-" + (a * b).toString();
302         }
303         else if (op == "/") {
304             if (a == Z8Number("a")) result = a.divide(b);
305             else if (a.isNegative) result = "-" + a.divide(b, true);
306             else result = "-" + a.divide(b);
307         }
308         std::cerr << "Unknown operator\n";
309     }
310 }
311 catch (const std::exception& e) {
312     std::cerr << "Error: " << e.what() << "\n";
313 }
314 }
315 else {

```

```

316     try {
317         if (op == "+") {
318             if ((a == Z8Number("a") || a == Z8Number("-a")) && (b == Z8Number("a") || b == Z8Number("-a"))) result = "a";
319             else result = "-+" + (a + b).toString();
320         }
321         else if (op == "-") {
322             if (a == b) result = "a";
323             else if ((a == Z8Number("a") || a == Z8Number("-a")) && (b == Z8Number("a") || b == Z8Number("-a"))) result = "a";
324             else {
325                 try {
326                     result = "-+" + (a - b).toString();
327                 }
328                 catch (...) {
329                     result = (b - a).toString();
330                 }
331             }
332         }
333         else if (op == "*") {
334             result = (a * b).toString();
335         }
336         else if (op == "/") {
337             result = a.divide(b);
338         }
339         else {
340             std::cerr << "Unknown operator\n";
341         }
342     }
343     catch (const std::exception& e) {
344         std::cerr << "Error: " << e.what() << "\n";
345     }

```

```
346 }
347 if (result == "-empty set") result = "empty set";
348 std::cout << result << std::endl;
349 }
```

Листинг 2: Файл Z8.cpp

## Приложение 3. Файл main.cpp.

```
1 #include <iostream>
2 #include <string>
3 #include "z8.h"
4
5 int main() {
6     /*std::cout << "==== DEBUG ====" << std::endl;
7     std::cout << "a + b = " << (Z8Number("a") + Z8Number("b")).toString() << "\n";
8     std::cout << "f + b = " << (Z8Number("f") + Z8Number("b")).toString() << "\n";
9     std::cout << "a * d = " << (Z8Number("a") * Z8Number("d")).toString() << "\n";
10    std::cout << "ff * f = " << (Z8Number("ff") + Z8Number("f")).toString() << "\n";
11    std::cout << "aab * c = " << (Z8Number("aab") + Z8Number("c")).toString() <<
12        "\n";
13    std::cout << "f - b = " << (Z8Number("f") - Z8Number("b")).toString() << "\n";
14    std::cout << "ba - d = " << (Z8Number("ba") - Z8Number("d")).toString() << "\n";
15    std::cout << "e + e = " << (Z8Number("e") + Z8Number("e")).toString() << "\n";
16    std::cout << "ba / e = " << Z8Number("ba").divide(Z8Number("e")) << "\n";
17    std::cout << "-ba + b = "; calculate(Z8Number("-ba"), Z8Number("b"), "+");
18    std::cout << "-b + f = "; calculate(Z8Number("-b"), Z8Number("f"), "+");
19    std::cout << "-ba - ff = "; calculate(Z8Number("-ba"), Z8Number("-ff"), "-");
20    std::cout << "b - d = "; calculate(Z8Number("b"), Z8Number("d"), "-");
21    std::cout << "-a + a = "; calculate(Z8Number("-a"), Z8Number("a"), "+");
22    std::cout << "ba * baa = "; calculate(Z8Number("ba"), Z8Number("baa"), "*");
23    std::cout << "-a - -a ="; calculate(Z8Number("-a"), Z8Number("-a"), "-");
24    std::cout << "-a + -a ="; calculate(Z8Number("-a"), Z8Number("-a"), "+");
25    std::cout << "-a * a ="; calculate(Z8Number("-a"), Z8Number("a"), "*");
26    std::cout << "-a * baa ="; calculate(Z8Number("-a"), Z8Number("baa"), "*");
27    std::cout << "Hello!" << std::endl;
28    std::string s1, s2, op;
29    while (true) {
```

```
30     std::cout << "Enter the problem (format: <num> <operation> <num>; nums from  
31         -ffffffff to ffffffff):\n>> ";  
32     std::cin >> s1;  
33     std::cin >> op;  
34     std::cin >> s2;  
35  
36     try {  
37         Z8Number a(s1), b(s2);  
38         calculate(a, b, op);  
39     }  
40     catch (...) {  
41         std::cerr << "Error: incorrect input (invalid characters)" << std::endl;  
42     }  
43 }
```

Листинг 3: Файл main.cpp