

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 Исходная структура — «малая» конечная арифметика . .	5
2.2 Арифметические операции . . . . .	6
2.3 Ограничения . . . . .	8
3 Особенности реализации . . . . .	10
3.1 Класс Z8Number . . . . .	10
3.2 Класс OverflowError . . . . .	21
4 Результаты работы программы . . . . .	22
Заключение . . . . .	24
Список литературы . . . . .	26
Приложение 1. Файл Z8.h . . . . .	27
Приложение 2. Файл Z8.cpp . . . . .	29
Приложение 3. Файл main.cpp . . . . .	40

# **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 Исходная структура — «малая» конечная арифметика

Рассмотрим конечное множество

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

на котором 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  $A - B$  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 совершается деление и приписывается минус.

**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

Программа состоит из двух классов: `Z8Number` и `OverflowError`.

Класс `Z8Number` содержит в себе поля для хранения данных о числе и функции для проведения операций над ними.

Класс `OverflowError` содержит в себе код ошибку, вызываемую при переполнении (ограничение на число в рамках данной структуры составляет 8 разрядов).

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

#### 3.1 Класс `Z8Number`

- 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    }
```

```
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 '0'.

**Назначение:** возвращает модуль данного числа без незначащих '0'.

**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 OverflowError();
14        break;
15    }
16    --i;
17 }
18 return normalize(res);
19 }
```

- **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;  
12 }
```

- 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, "aaaa")) res = res + "aaaa";
9 else if (isEqual(y, "aaaaaa")) res = res + "aaaaaa";
10 else if (isEqual(y, "aaaaaaaa")) res = res + "aaaaaaaa";
11 else if (isEqual(y, "aaaaaaaaa")) res = res + "aaaaaaaaa";
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) {
2     if (isEqual(y, "a")) {
3         throw std::domain_error("Division by zero");
4     }
5     if (isEqual(x, "a")) {
6         return "a";
```

```

7 }
8
9 std::string quotient = "a";
10 std::string remainder = x;
11
12 while (greaterOrEqual(remainder, y)) {
13     remainder = subNumbers(remainder, y);
14     quotient = incNumber(quotient);
15 }
16
17 if (isEqual(remainder, "a")) {
18     return quotient;
19 }
20 else {
21     return quotient + "." + remainder;
22 }
23 }
```

- **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 вызовов 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 Класс OverflowError

Данный класс содержит только метод OverflowError, вызывающий ошибку std::overflow\_error с текстом "Number exceeds 8 digits".

**Код:**

```
1 class OverflowError : public std::overflow_error {
2     public:
3     OverflowError() : std::overflow_error("Number exceeds 8 digits") {}
4 };
```

## 4 Результаты работы программы

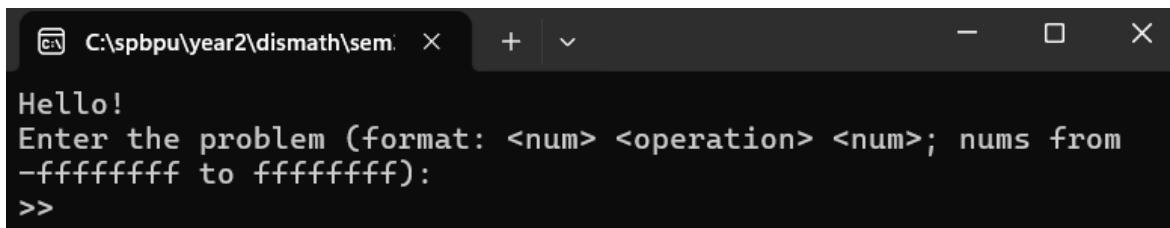
Разработанная программа имеет консольный интерфейс и предоставляет пользователю меню, позволяющее выполнять все действия.

### 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\sem1> + - X
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:
```

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 мультипликативностями.

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) 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);
34     static bool greaterOrEqual(const std::string& x, const std::string& y);
35     friend bool greaterOrEqual(const Z8Number& x, const Z8Number& y);
36     friend bool greater(const Z8Number& x, const Z8Number& y);
37     static std::string normalize(const std::string& s);
38     static void validate(const std::string& s);
39     static bool isEqual(const std::string& a, const std::string& b);
40     friend void calculate(const Z8Number& a, const Z8Number& b, std::string op);
41 };
42
43 class OverflowError : public std::overflow_error {
44 public:
45     OverflowError() : std::overflow_error("Number exceeds 8 digits") {}
46 };
```

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 bool Z8Number::operator==(const Z8Number& other) const {
77
78     return isEqual(digits, other.digits);
79 }
80
81 std::string Z8Number::incNumber(const std::string& num) {
82
83     std::string res = num;
84
85     int i = static_cast<int>(res.size()) - 1;
86
87     while (i >= 0) {
88
89         char old = res[i];
90
91         res[i] = inc(old);
92
93         if (old != 'f') { // no carry
94
95             break;
96         }
97
98         if (i == 0) { // carrying until no need to
99             res = 'b' + res;
100
101             if (res.size() > 8)
102
103                 throw OverflowError();
104
105             break;
106         }
107
108         --i;
109     }
110
111     return normalize(res);
112 }
```

```

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

```

```

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

```

```

158     std::string counter = "a";
159     while (!isEqual(counter, y)) {
160         res = decNumber(res);
161         counter = incNumber(counter);
162     }
163     return res;
164 }
165
166 std::string Z8Number::mulNumbers(const std::string& x, const std::string& y) {
167     if (isEqual(x, "a") || isEqual(y, "a")) return "a";
168     std::string res = x;
169     std::string counter = "b";
170     while (!isEqual(counter, y)) {
171         res = addNumbers(res, x);
172         counter = incNumber(counter);
173     }
174     return res;
175 }
176
177 std::string Z8Number::divNumbers(const std::string& x, const std::string& y) {
178     if (isEqual(y, "a")) {
179         throw std::domain_error("Division by zero");
180     }
181     if (isEqual(x, "a")) {
182         return "a";
183     }
184
185     std::string quotient = "a";
186     std::string remainder = x;
187
188     while (greaterOrEqual(remainder, y)) {
189         remainder = subNumbers(remainder, y);

```

```

190     quotient = incNumber(quotient);
191 }
192
193 if (isEqual(remainder, "a")) {
194     return quotient;
195 }
196 else {
197     return quotient + "." + remainder;
198 }
199 }
200
201 std::string Z8Number::divide(const Z8Number& divisor) const {
202     return divNumbers(digits, divisor.digits);
203 }
204
205 Z8Number Z8Number::operator+(const Z8Number& o) const {
206     return Z8Number(addNumbers(digits, o.digits));
207 }
208
209 Z8Number Z8Number::operator-(const Z8Number& o) const {
210     return Z8Number(subNumbers(digits, o.digits));
211 }
212
213 Z8Number Z8Number::operator*(const Z8Number& o) const {
214     return Z8Number(mulNumbers(digits, o.digits));
215 }
216
217 Z8Number& Z8Number::operator=(const Z8Number& other) {
218     digits = other.digits;
219     isNegative = other.isNegative;
220     return *this;
221 }
```

```

222
223 std::string Z8Number::toString() const {
224     return digits;
225 }
226
227 void calculate(const Z8Number& a, const Z8Number& b, std::string op) {
228     std::string result;
229     if (!(a.isNegative) && !(b.isNegative))) {
230         try {
231             if (op == "+") {
232                 result = (a + b).toString();
233             }
234             else if (op == "-") {
235                 try {
236                     result = (a - b).toString();
237                 }
238                 catch (...) {
239                     result = "-!" + (b - a).toString();
240                 }
241             }
242             else if (op == "*") {
243                 if (greater(a, b)) result = (a * b).toString();
244                 else result = (b * a).toString();
245             }
246             else if (op == "/") {
247                 result = a.divide(b);
248             }
249             else {
250                 std::cerr << "Unknown operator\n";
251             }
252         }
253         catch (const std::exception& e) {

```

```

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

```

```

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

```

```
315     else {
316         std::cerr << "Unknown operator\n";
317     }
318 }
319 catch (const std::exception& e) {
320     std::cerr << "Error: " << e.what() << "\n";
321 }
322 }
323 std::cout << result << std::endl;
324 }
```

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

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

Листинг 3: Файл main.cpp