

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра МО ЭВМ**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе №4**  
**по дисциплине «Построение и анализ алгоритмов»**  
**Тема: Кнут-Моррис-Пратт**

Студент гр. 9382

Русинов Д.А.

Преподаватель

Фирсов М.А.

Санкт-Петербург

2021

### **Цель работы.**

Изучить алгоритм Кнута-Морриса-Пратта и создать программу, которая находит все вхождения подстроки в тексте. Также реализовать программу, которая определяет, является ли строка циклическим сдвигом другой строки.

### **Задание 1**

Реализуйте алгоритм КМП и с его помощью для заданных шаблона  $P$  ( $|P| \leq 15000$ ) и текста  $T$  ( $|T| \leq 5000000$ ) найдите все вхождения  $P$  в  $T$ .

Вход:

Первая строка -  $P$

Вторая строка -  $T$

Выход:

индексы начал вхождений  $P$  в  $T$ , разделенных запятой, если  $P$  не входит в  $T$ , то вывести  $-1$

### **Задание 2**

Заданы две строки  $A$  ( $|A| \leq 5000000$ ) и  $B$  ( $|B| \leq 5000000$ ).

Определить, является ли  $A$  циклическим сдвигом  $B$  (это значит, что  $A$  и  $B$  имеют одинаковую длину и  $A$  состоит из суффикса  $B$ , склеенного с префиксом  $B$ ). Например, defabc является циклическим сдвигом abcdef.

Вход:

Первая строка -  $A$

Вторая строка -  $B$

Выход:

Если  $A$  является циклическим сдвигом  $B$ , индекс начала строки  $B$  в  $A$ , иначе вывести  $-1$ . Если возможно несколько сдвигов вывести первый индекс.

## Описание алгоритма

Первоначально определяются значения префикс-функции для шаблона, который необходимо найти в тексте. Значение префикс-функции означает длину наибольшего совпадения префикса и суффикса в подстроке шаблона, которая рассматривается. Всего значений будет  $N$ , где первое значение – 0, так как размер подстроки равен единице, соответственно максимальный размер префикса и суффикса этой подстроки равен единице.

В первой программе необходимо найти все вхождения шаблона в тексте. Рассматриваются символы текста до тех пор, пока не будет рассмотрен конечный символ. Также рассматриваются символы строки-шаблона. Если символ текста и символ шаблона равен, то рассматриваются следующие символы. Если этот символ был последним символом строки-шаблона, то было найдено вхождение шаблона в тексте, индекс вхождения записывается в результат. Индекс строки-шаблона в этом случае становится значением префикс-функции под предыдущим значением индекса строки-шаблона.

Если рассматриваемые символы не равны, и рассматриваемый символ строки-шаблона был начальным, то сдвигается индекс символа, который рассматривается в тексте на единицу. Если же символ был не начальным, то индекс символа в строке-шаблоне становится равен значению префикс-функции предыдущего индекса.

Во второй программе происходит конкатенация строки, для которой необходимо определить является ли она циклическим сдвигом другой строки, с собой же. Затем в полученной строке происходит поиск изначальной строке с помощью алгоритма КМП. Если удалось найти вхождение, то строка является циклическим сдвигом.

### **Оценка сложности по памяти**

В обеих программах необходимо хранить две строки – шаблон и текст, а также нужно хранить вектор с значениями префикс-функции. Сложность составляет  $O(N + M)$ , где  $N$  – длина первой строки,  $M$  – длина второй строки.

### **Оценка сложности по времени**

Значение префикс-функции вычисляется за  $O(M)$  сравнений, где  $M$  – длина строки-шаблона, так как необходимо пройти по всей строке, чтобы определить префикс-функцию.

Поиск строки-шаблона в тексте с помощью алгоритма КМП будет занимать  $O(N)$ , где  $N$  – длина текста, так как весь текст будет пройден ровно один раз. Каждый символ текста будет рассмотрен ровно один раз за счет использования префикс-функции.

Итоговая оценка –  $O(M + N)$ .

Оценка для второй программы будет такой же.

### **Тестирование**

Результаты тестирования программы можно посмотреть в приложениях Б и В.

### **Выводы.**

Был изучен алгоритм Кнута-Морриса-Пратта и создана программа, которая находит все вхождения подстроки в тексте. Также была реализована программа, которая определяет, является ли строка циклическим сдвигом другой строки.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ

Название файла: main.cpp

```
#include "string"
#include "vector"
#include "iostream"

#define task 1

std::string getArrowString(int stringLength, int index) {
    auto string = std::string();
    for (int i = 0; i < stringLength; ++i) {
        if (i == index) string += "\u2193";
        else string += " ";
    }
    return string;
}

void print(std::string & first, std::string & second,
           int firstIndex, int secondIndex, const std::string&
           information) {
    std::cout << getArrowString(first.length(), firstIndex) << " | ";
    std::cout << getArrowString(second.length(), secondIndex) << '\n';
    std::cout << first << " | " << second << '\n';
    std::cout << information << "\n\n";
}

std::vector<int> getPrefixFunction(std::string & pattern) {
    auto prefixFunction = std::vector<int>(pattern.length());

    // вычисляем префикс-функцию для строки-шаблона

    int i = 1;
```

```

int j = 0;

// индексы символов, который мы в данный момент рассматриваем
// и сравниваем

std::cout << "[Формирование префикс-функции]" << std::endl;

while (i != pattern.length()) {

    std::cout << "i = " << std::to_string(i) << "; j = " <<
std::to_string(j) << "\n";

    if (pattern[i] == pattern[j]) {

        // если символы равны, то запишем в префикс функцию
        // для символа i образ j + 1

        auto information = std::string("Символы равны, поэтому
образ функции под индексом ") + std::to_string(i) + std::string("
равен ") + std::to_string(j + 1);
        information += ", j и i увеличиваются на 1";
        print(pattern, pattern, j, i, information);

        prefixFunction[i] = j + 1;
        i++;
        j++;
    } else if (j == 0) {

        // если символ j начальный, и символы i j не равны,
        // то образ функции для i = 0

        auto information = std::string("Символы не равны, и символ
под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом ") +
std::to_string(i) + std::string(" равен 0");
        information += ", i увеличивается на 1";
        print(pattern, pattern, j, i, information);
    }
}

```

```

        prefixFunction[i] = 0;
        i++;
    } else {
        auto information = std::string("Символы не равны, и символ
под индексом j - не начальный, поэтому новое значение j - ") +
std::to_string(prefixFunction[j - 1]);
        print(pattern, pattern, j, i, information);
        j = prefixFunction[j - 1]; // иначе сдвигаем j назад
    }
}

return prefixFunction;
}

```

```

std::vector<int> getSubstringIndexes(std::string & text, std::string &
pattern) {
    auto prefixFunction = getPrefixFunction(pattern);

    int textIndex = 0;
    int substringIndex = 0;
    auto result = std::vector<int>();

    std::cout << "[Поиск шаблона в тексте]" << std::endl;

    // пока не рассмотрим весь текст
    while (textIndex != text.length()) {

        std::cout << "textIndex = " << std::to_string(textIndex) << "
substringIndex = " << std::to_string(substringIndex) << "\n";

        if (text[textIndex] == pattern[substringIndex]) {
            // если символы равны, то смотрим следующие символы

            auto info = "";

            if (substringIndex + 1 == pattern.length()) {

```

```

        // если индекс конечный для подстроки, то мы нашли
заданную подстроку в тексте
        // сдвигаемся назад в подстроке

        info = "Символы равны, в подстроке не осталось
символов для сравнения, поэтому найдено вхождение подстроки в текст";
        print(text, pattern, textIndex, substringIndex, info);

        result.push_back(textIndex - substringIndex);
        substringIndex = prefixFunction[substringIndex];
    } else {
        info = "Символы равны, и в подстроке еще есть символы
для сравнения, рассматриваем следующие символы";
        print(text, pattern, textIndex, substringIndex, info);
    }

    textIndex += 1;
    substringIndex += 1;

} else { // Если символы не равны
    // если символ подстроки первый, то сдвигаем индекс текста
    if (substringIndex == 0) {
        auto info = "Символы не равны, рассматривался
начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ
текста";

        print(text, pattern, textIndex, substringIndex, info);
        textIndex += 1;
    }
    // если не первый, то сдвигаемся по значению в префикс-
функции
    else {
        auto info = "Символы не равны, рассматривался не
начальный символ подстроки, теперь он равен " +
std::to_string(prefixFunction[substringIndex - 1]);
        print(text, pattern, textIndex, substringIndex, info);
        substringIndex = prefixFunction[substringIndex - 1];
    }
}

```



```

        }
    }

    std::cout << "Все символы текста рассмотрены, завершение работы
алгоритма" << std::endl;

    return result;
}

void firstTask(std::string & text, std::string & pattern) {
    auto result = getSubstringIndexes(text, pattern);

    if (!result.empty()) {
        for (int i = 0; i < result.size() - 1; ++i) std::cout <<
result[i] << ',';
        std::cout << result[result.size() - 1];
    } else std::cout << -1;
}

void secondTask(std::string & text, std::string & pattern) {

    if (text.length() != pattern.length()) {
        std::cout << -1;
        return;
    }

    text = text + text;
    auto result = getSubstringIndexes(text, pattern);
    if (!result.empty()) std::cout << result[0];
    else std::cout << -1;
}

int main() {
    std::string text;

```

```
std::string pattern;

std::cin >> text;
std::cin >> pattern;

if (task == 1) {
    firstTask(text, pattern);
} else {
    secondTask(text, pattern);
}

return 0;
}
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ 1

Входные данные	Выходные данные
ababab ab	<p>[Формирование префикс-функции]</p> <p><math>i = 1; j = 0</math></p> <p style="text-align: center;">↓   ↓</p> <p>ab   ab</p> <p>Символы не равны, и символ под индексом <math>j</math> - начальный, поэтому образ функции под индексом 1 равен 0, <math>i</math> увеличивается на 1</p> <p>[Поиск шаблона в тексте]</p> <p><math>textIndex = 0; substringIndex = 0</math></p> <p style="text-align: center;">↓   ↓</p> <p>ababab   ab</p> <p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p><math>textIndex = 1; substringIndex = 1</math></p> <p style="text-align: center;">↓   ↓</p> <p>ababab   ab</p> <p>Символы равны, в подстроке не осталось символов для сравнения, поэтому найдено вхождение подстроки в текст</p> <p><math>textIndex = 2; substringIndex = 1</math></p> <p style="text-align: center;">↓   ↓</p> <p>ababab   ab</p> <p>Символы не равны, рассматривался не начальный символ подстроки, теперь он равен 0</p> <p><math>textIndex = 2; substringIndex = 0</math></p> <p style="text-align: center;">↓   ↓</p> <p>ababab   ab</p>

	<p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>textIndex = 3; substringIndex = 1</p> <p>↓   ↓</p> <p>ababab   ab</p> <p>Символы равны, в подстроке не осталось символов для сравнения, поэтому найдено вхождение подстроки в текст</p> <p>textIndex = 4; substringIndex = 1</p> <p>↓   ↓</p> <p>ababab   ab</p> <p>Символы не равны, рассматривался не начальный символ подстроки, теперь он равен 0</p> <p>textIndex = 4; substringIndex = 0</p> <p>↓   ↓</p> <p>ababab   ab</p> <p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>textIndex = 5; substringIndex = 1</p> <p>↓   ↓</p> <p>ababab   ab</p> <p>Символы равны, в подстроке не осталось символов для сравнения, поэтому найдено вхождение подстроки в текст</p> <p>Все символы текста рассмотрены, завершение работы алгоритма 0,2,4</p>
oabcdfe abcdfeo	<p>[Формирование префикс-функции]</p> <p>i = 1; j = 0</p> <p>↓   ↓</p>

abcdfeo | abcdfeo

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 1 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 2; j = 0$

↓       |       ↓

abcdfeo | abcdfeo

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 2 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 3; j = 0$

↓       |       ↓

abcdfeo | abcdfeo

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 3 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 4; j = 0$

↓       |       ↓

abcdfeo | abcdfeo

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 4 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 5; j = 0$

↓       |       ↓

abcdfeo | abcdfeo

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 5 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 6; j = 0$

↓       |       ↓

abcdfeo | abcdfeo

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом  $b$  равен 0,  $i$  увеличивается на 1

[Поиск шаблона в тексте]

$textIndex = 0; substringIndex = 0$

↓     |   ↓

oabcdfе | abcdfeо

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

$textIndex = 1; substringIndex = 0$

↓     |   ↓

oabcdfе | abcdfeо

Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы

$textIndex = 2; substringIndex = 1$

↓     |   ↓

oabcdfе | abcdfeо

Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы

$textIndex = 3; substringIndex = 2$

↓     |   ↓

oabcdfе | abcdfeо

Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы

$textIndex = 4; substringIndex = 3$

↓     |   ↓

oabcdfе | abcdfeо

	<p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>textIndex = 5; substringIndex = 4</p> <p>↓   ↓</p> <p>oabcdfе   abcdfeо</p> <p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>textIndex = 6; substringIndex = 5</p> <p>↓   ↓</p> <p>oabcdfе   abcdfeо</p> <p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>Все символы текста рассмотрены, завершение работы алгоритма -1</p>
qwerty qwe	<p>0 [Формирование префикс-функции]</p> <p>i = 1; j = 0</p> <p>↓   ↓</p> <p>qwe   qwe</p> <p>Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 1 равен 0, i увеличивается на 1</p> <p>i = 2; j = 0</p> <p>↓   ↓</p> <p>qwe   qwe</p> <p>Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 2 равен 0, i увеличивается на 1</p> <p>[Поиск шаблона в тексте]</p> <p>textIndex = 0; substringIndex = 0</p>

↓   |   ↓

qwerty | qwe

Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы

textIndex = 1; substringIndex = 1

↓   |   ↓

qwerty | qwe

Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы

textIndex = 2; substringIndex = 2

↓   |   ↓

qwerty | qwe

Символы равны, в подстроке не осталось символов для сравнения, поэтому найдено вхождение подстроки в текст

textIndex = 3; substringIndex = 1

↓   |   ↓

qwerty | qwe

Символы не равны, рассматривался не начальный символ подстроки, теперь он равен 0

textIndex = 3; substringIndex = 0

↓   |   ↓

qwerty | qwe

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 4; substringIndex = 0

↓   |   ↓

qwerty | qwe



	<p>Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста</p> <p>textIndex = 5; substringIndex = 0</p> <p>↓   ↓</p> <p>qwerty   qwe</p> <p>Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста</p> <p>Все символы текста рассмотрены, завершение работы алгоритма</p> <p>0</p>
<p>qwe</p> <p>qwert</p>	<p>[Формирование префикс-функции]</p> <p>i = 1; j = 0</p> <p>↓   ↓</p> <p>qwert   qwert</p> <p>Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 1 равен 0, i увеличивается на 1</p> <p>i = 2; j = 0</p> <p>↓   ↓</p> <p>qwert   qwert</p> <p>Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 2 равен 0, i увеличивается на 1</p> <p>i = 3; j = 0</p> <p>↓   ↓</p> <p>qwert   qwert</p> <p>Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 3 равен 0, i увеличивается на 1</p> <p>i = 4; j = 0</p> <p>↓   ↓</p>

	<p>qwert   qwert</p> <p>Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 4 равен 0, i увеличивается на 1</p> <p>[Поиск шаблона в тексте]</p> <p>textIndex = 0; substringIndex = 0</p> <p>↓   ↓</p> <p>qwe   qwert</p> <p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>textIndex = 1; substringIndex = 1</p> <p>↓   ↓</p> <p>qwe   qwert</p> <p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>textIndex = 2; substringIndex = 2</p> <p>↓   ↓</p> <p>qwe   qwert</p> <p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>Все символы текста рассмотрены, завершение работы алгоритма -1</p>
<p>sdnvksefljjk</p> <p>pnkvsnvsklv</p>	<p>[Формирование префикс-функции]</p> <p>i = 1; j = 0</p> <p>↓   ↓</p> <p>pnkvsnvsklv   pnkvsnvsklv</p> <p>Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 1 равен 0, i увеличивается на 1</p>

$i = 2; j = 0$

↓            |       ↓

pnkvsnvsklv | pnkvsnvsklv

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 2 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 3; j = 0$

↓            |       ↓

pnkvsnvsklv | pnkvsnvsklv

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 3 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 4; j = 0$

↓            |       ↓

pnkvsnvsklv | pnkvsnvsklv

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 4 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 5; j = 0$

↓            |       ↓

pnkvsnvsklv | pnkvsnvsklv

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 5 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 6; j = 0$

↓            |       ↓

pnkvsnvsklv | pnkvsnvsklv

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 6 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 7; j = 0$

↓            |       ↓

pnkvsnvsklv | pnkvsnvsklv

Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 7 равен 0, i увеличивается на 1

i = 8; j = 0

↓            |            ↓

pnkvsnvsklv | pnkvsnvsklv

Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 8 равен 0, i увеличивается на 1

i = 9; j = 0

↓            |            ↓

pnkvsnvsklv | pnkvsnvsklv

Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 9 равен 0, i увеличивается на 1

i = 10; j = 0

↓            |            ↓

pnkvsnvsklv | pnkvsnvsklv

Символы не равны, и символ под индексом j - начальный, поэтому образ функции под индексом 10 равен 0, i увеличивается на 1

[Поиск шаблона в тексте]

textIndex = 0; substringIndex = 0

↓            |            ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 1; substringIndex = 0

↓            |            ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки,  
поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 2; substringIndex = 0

↓        |   ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки,  
поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 3; substringIndex = 0

↓        |   ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки,  
поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 4; substringIndex = 0

↓        |   ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки,  
поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 5; substringIndex = 0

↓        |   ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки,  
поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 6; substringIndex = 0

↓        |   ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки,  
поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 7; substringIndex = 0

↓ | ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 8; substringIndex = 0

↓ | ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 9; substringIndex = 0

↓ | ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 10; substringIndex = 0

↓ | ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

textIndex = 11; substringIndex = 0

↓ | ↓

sdnvksefljjk | pnkvsnvsklv

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

Все символы текста рассмотрены, завершение работы алгоритма

	-1	
--	----	--

# **ПРИЛОЖЕНИЕ Г** **ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ 2**

Входные данные	Выходные данные
abcdef defabc	abcdef defabc [Формирование префикс-функции] $i = 1; j = 0$ $\downarrow \quad   \quad \downarrow$ defabc   defabc Символы не равны, и символ под индексом $j$ - начальный, поэтому образ функции под индексом 1 равен 0, $i$ увеличивается на 1  $i = 2; j = 0$ $\downarrow \quad   \quad \downarrow$ defabc   defabc Символы не равны, и символ под индексом $j$ - начальный, поэтому образ функции под индексом 2 равен 0, $i$ увеличивается на 1  $i = 3; j = 0$ $\downarrow \quad   \quad \downarrow$ defabc   defabc Символы не равны, и символ под индексом $j$ - начальный, поэтому образ функции под индексом 3 равен 0, $i$ увеличивается на 1  $i = 4; j = 0$ $\downarrow \quad   \quad \downarrow$ defabc   defabc



Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 4 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

$i = 5; j = 0$

↓       |       ↓

defabc | defabc

Символы не равны, и символ под индексом  $j$  - начальный, поэтому образ функции под индексом 5 равен 0,  $i$  увеличивается на 1

[Поиск шаблона в тексте]

$textIndex = 0; substringIndex = 0$

↓       |       ↓

abcdefabcdef | defabc

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

$textIndex = 1; substringIndex = 0$

↓       |       ↓

abcdefabcdef | defabc

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

$textIndex = 2; substringIndex = 0$

↓       |       ↓

abcdefabcdef | defabc

Символы не равны, рассматривался начальный символ подстроки, поэтому рассматриваем следующий символ текста

$textIndex = 3; substringIndex = 0$

↓       |       ↓

abcdefabcdef | defabc

Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы

textIndex = 4; substringIndex = 1

↓       |       ↓

abcdefabcdef | defabc

Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы

textIndex = 5; substringIndex = 2

↓       |       ↓

abcdefabcdef | defabc

Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы

textIndex = 6; substringIndex = 3

↓       |       ↓

abcdefabcdef | defabc

Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы

textIndex = 7; substringIndex = 4

↓       |       ↓

abcdefabcdef | defabc

Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы

textIndex = 8; substringIndex = 5

↓       |       ↓

abcdefabcdef | defabc

	<p>Символы равны, в подстроке не осталось символов для сравнения, поэтому найдено вхождение подстроки в текст</p> <p>textIndex = 9; substringIndex = 1</p> <p style="text-align: center;">↓   ↓</p> <p>abcdefabcdef   defabc</p> <p>Символы не равны, рассматривался не начальный символ подстроки, теперь он равен 0</p> <p>textIndex = 9; substringIndex = 0</p> <p style="text-align: center;">↓   ↓</p> <p>abcdefabcdef   defabc</p> <p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>textIndex = 10; substringIndex = 1</p> <p style="text-align: center;">↓   ↓</p> <p>abcdefabcdef   defabc</p> <p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>textIndex = 11; substringIndex = 2</p> <p style="text-align: center;">↓   ↓</p> <p>abcdefabcdef   defabc</p> <p>Символы равны, и в подстроке еще есть символы для сравнения, рассматриваем следующие символы</p> <p>Все символы текста рассмотрены, завершение работы алгоритма</p> <p>3</p>
defabc abc	-1

aaaaaaaa bbbbbbbb	-1
abcabcabc bcabcabca	1
abcdfeo oabcdfe	6