## Постановка Задачи

Задача: Разработать программу пирамидальной сортировки с последующим поиском методом Кнута-Морриса-Пратта, используя дек на базе связного списка. Оценить сложность по Фофанову.

## Техническое задание

1. **Описание алгоритма**

В программе используется класс Node, который отвечает за элементы дека. Реализацией самого дека и его методов занимается класс Deque.

Методы класса Deque:

- push_front – добавление элемента в начало дека.
- push_back – добавление элемента в конец дека.
- pop_front – удаление элемента из начала дека.
- pop_back – удаление элемента из конца дека.

Для упрощенной работы с деком реализованы вспомогательные функции:

- size_deq – вычисляет размер дека.
- getLn – возвращает узел по индексу.
- insert – вставляет элемент в дека на указанную позицию.

Помимо выше перечисленного, в программе реализованы функции для пирамидальной сортировки:

- max_heap – преобразует поддерево в максимальную кучу (наибольший элемент в корне).
- pyramid_sort – сортирует дека с помощью пирамидальной сортировки:

Функция для метода КМП:

- KMP_SEQ

Описание алгоритма самой работы программы:

Основная программа(Main) начинается с выбора способа ввода данных в дек: ввод осуществляется либо из файла, либо из стандартного ввода. После этого мы вводим образ, который хотим найти в исходном деке и в отсортированном. Затем происходит проверка на пустоту деков. После этого мы вызываем функцию KMP_SEQ для поиска образа в исходном деке.

## Реализация KMP_SEQ:

1. Инициализация префикс-функции:

    1.1. Создается дополнительный дек (prefix) для хранения значений префикс-функции.

    1.2. Заполняется нулями (длиной равной образцу img).

2.Вычисление префикс-функции:

    2.1. Сравнивается образец сам с собой, начиная со второго элемента (i=1, j=0)

    2.2. При совпадении элементов (ptr1->data == ptr2->data):

        2.1.1. Записываем j+1 в prefix[i] (длина совпавшего префикса).

        2.1.1. Увеличиваем оба индекса (i++, j++).

    2.3 При несовпадении:

        2.2.1. Если j=0 - записываем 0 в prefix[i] и увеличиваем i.

        2.2.1. Иначе - сдвигаем j назад по уже вычисленной префикс-функции (j = prefix[j-1]).

3. Поиск образа в последовательности:

    3.1. Устанавливаем начальные индексы (i=0 для последовательности, j=0 для образа).

    3.2. Поэлементное сравнение:

        3.2.1. При совпадении - двигаемся дальше (i++, j++).

        3.2.2. При полном совпадении (j == m) - выводим позицию начала совпадения (i-j) и выходим из функции.

        3.2.3. При несовпадении:

            3.2.3.1. Если j>0 - сдвигаем j по префикс-функции (j = prefix[j-1]).

            3.2.3.1. Иначе - просто увеличиваем i.

4. Завершение:

    4.1. Если дошли до конца последовательности (i == n) - выводим "image not find".

Как только функция KMP_SEQ завершила свою работу, мы вызываем функцию pyramid_sort, чтобы отсортировать наш дек.

## Реализация pyramid_sort:

1. Подготовка:

1.1. Создается временный узел (ptr_tmp) для обмена значений.

1.2. Запоминается исходный размер дека (n_size).

2. Основной цикл сортировки:

2.1. Выполняется, пока в неотсортированной части больше 1 элемента.

2.2. Каждая итерация включает:

2.2.1. Построение максимальной кучи с помощью функции max_heap.

2.2.2. Обмен первого элемента (максимум) с последним в неотсортированной части.

2.2.3. Уменьшение размера неотсортированной части (n_size=n_size-1).

3. Завершение

3.1 Освобождается память временного узла.

## Реализация max_heap:

1.Инициализация:

1.1. Создаются временные переменные для хранения значений и указателей на

узлы.

1.2. Устанавливается флаг check_heap в true для первого прохода.

2. Основной цикл:

2.1. Выполняется, пока куча не будет полностью упорядочена (check_heap = false).

2.2Проход начинается с последнего родительского узла (индекс n_size/2-1) до корня (индекс 0).

3. Обработка каждого узла:

3.1 Для текущего родительского узла (ptr1):

3.1.1. Запоминается его значение (value_leaf).

3.1.2. Проверяется существование левого потомка (индекс i*2+1).

3.1.3. Если левый потомок существует, сравнивается его значение с родителем.

3.1.4. Проверяется существование правого потомка (индекс i*2+2).

3.1.5. Если правый потомок существует, сравнивается его значение с текущим максимумом.

4.Обмен значений:

4.1Если найден потомок с большим значением:

4.1.1 Происходит обмен значений между родителем и этим потомком.

4.1.2. Устанавливается флаг check_heap = true (требуется повторная проверка кучи).

После того как мы отсортировали наш дек, мы выводим его и затем вызываем функцию KMP_SEQ для поиска образца уже в отсортированном деке. (Реализация KMP_SEQ в самом начале описания алгоритма программы.)

## 2.Переменные, используемые в программе.

Примечание:

Емкость указателей считается в отношение x86/x64.

### 2.1 Глобальные переменные:

Примечание:

Память под переменные deq и img_deq выделяется динамически, и размер диапазона зависит от количества введенных данных. Поэтому диапазон обозначим как N.

| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон | Ёмкость |
|---|---|---|---|---|
| deq | Основной дек. | Deque | N | N*12 байт |
| img_deq | Дек для образа. | Deque | N | N*12 байт |

### 2.2 Класс Node:

| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон(x86) | Ёмкость(байт) |
|---|---|---|---|---|
| data | Значение хранимое в узле. | float | - 3.4E+38 до +3.4E+38 | 4 |
| next | Указатель на следующий узел. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| prev | Указатель на предыдущий узел. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |

## 2.3 Класс Deque:

| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон(x86) | Ёмкость(байт) |
|---|---|---|---|---|
| head | Указатель на начало дека. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| tail | Указатель на конец дека. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |

## 2.4 Функция size_deq:

| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон(x86) | Ёмкость(байт) |
|---|---|---|---|---|
| k | Счетчик элементов. | int | 0 до $2^{31}$ -1 | 4 |
| ptr | Текущий узел при обходе. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |

## 2.5 Функция getLn:

| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон(x86) | Ёмкость(байт) |
|---|---|---|---|---|
| n | Счетчик при поиске. | int | 0 до $2^{31}$ -1 | 4 |
| ptr | Текущий узел при поиске. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |

## 2.6 Функция print_deck:

| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон(x86) | Ёмкость(байт) |
|---|---|---|---|---|
| ptr | Текущий узел при обходе. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |

## 2.7 Функция main

| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон(x86) | Ёмкость(байт) |
|---|---|---|---|---|
| x | Входное значение данных. | float | - 3.4E+38 до +3.4E+38 | 4 |
| mode | Режим ввода данных. | int | $-2^{31}$ до $2^{31}-1$ | 4 |
| file_name | Имя файла для ввода. | char | размер 256 | 256 |

## 2.8 Функция insert:

| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон(x86) | Ёмкость(байт) |
|---|---|---|---|---|
| ptr | Новый созданный узел. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| right | Узел после вставки. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| left | Узел перед вставкой. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |

## 2.9 Функция max_heap:

| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон(x86) | Ёмкость(байт) |
|---|---|---|---|---|
| ptr1 | Текущий узел. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| ptr2 | Левый потомок. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| ptr3 | Правый потомок. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| value | Текущее значение узла | float | - 3.4E+38 до +3.4E+38 | 4 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| temp | Временное значение. | float | - 3.4E+38 до +3.4E+38 | 4 |
| pre_value | Значение потомка. | float | - 3.4E+38 до +3.4E+38 | 4 |
| check_heap | Флаг проверки кучи. | bool | False;True | 4 |
| value_leaf | Исходное значение узла. | float | - 3.4E+38 до +3.4E+38 | 4 |
| i | Индекс текущего узла. | int | 0 до $2^{31}$ -1 | 4 |

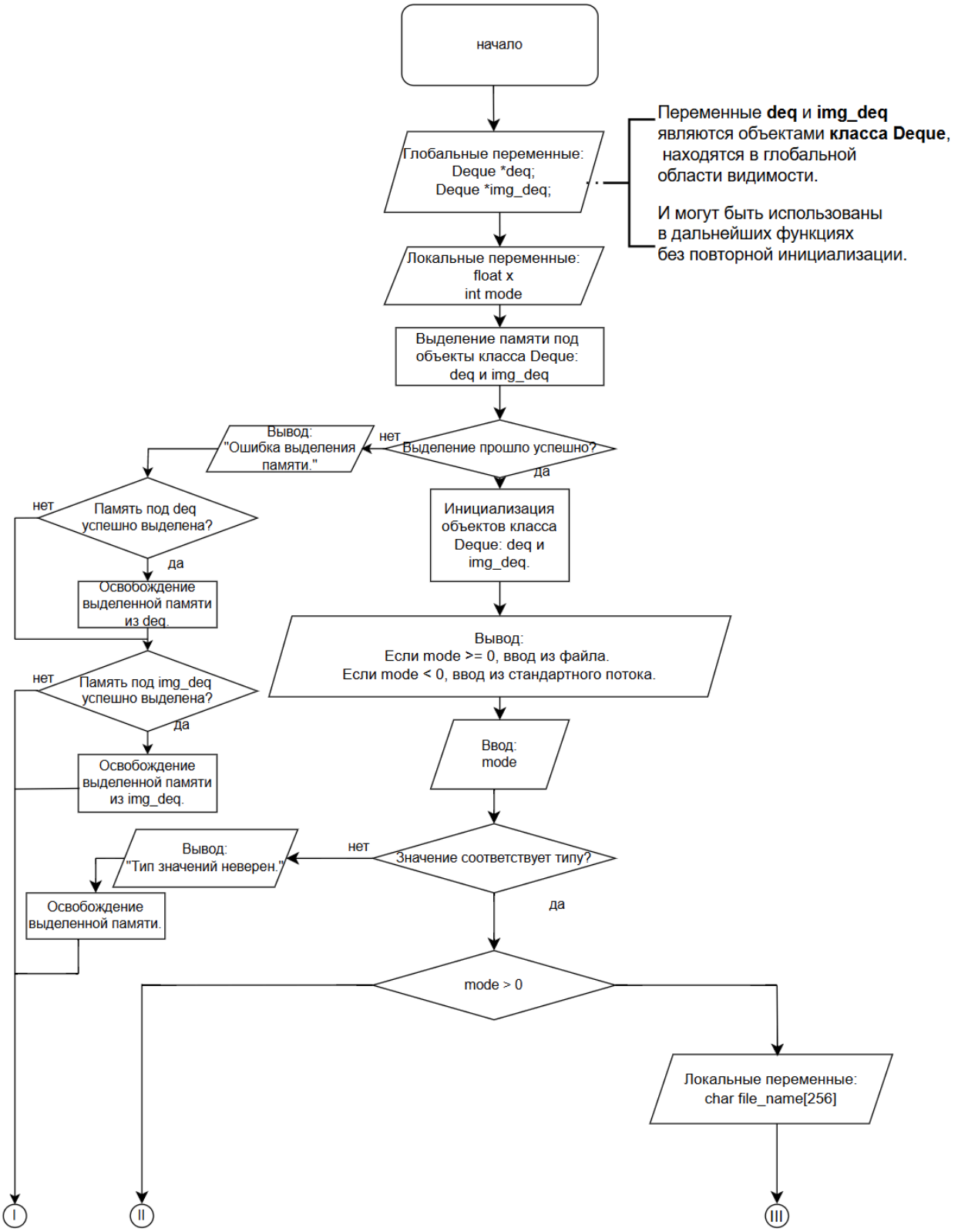
## 2.10 Функция pyramid_sort:

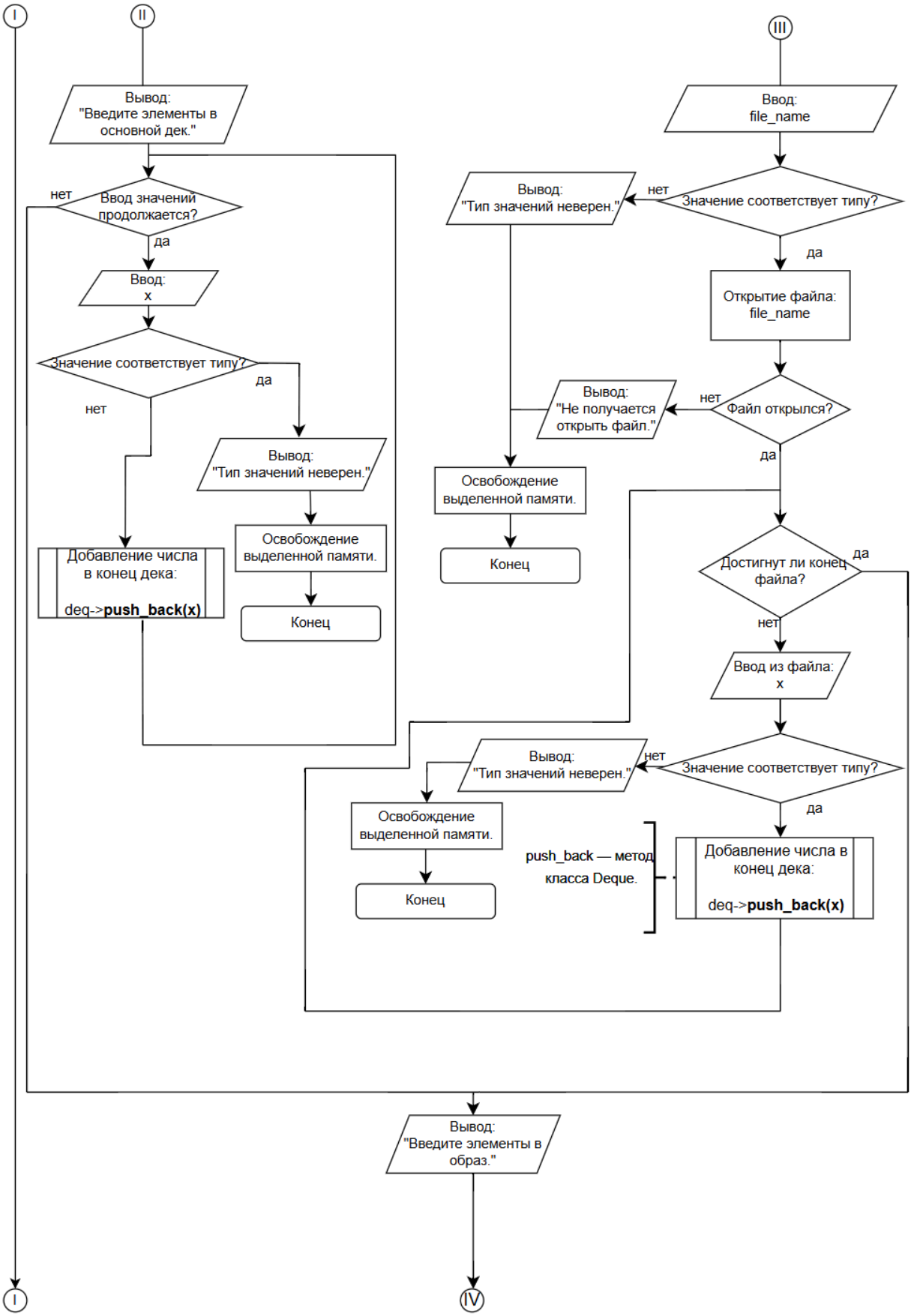
| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон(x86) | Ёмкость(байт) |
|---|---|---|---|---|
| ptr_tmp | Временный узел для обмена. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| n_size | Текущий размер неотсортированной части. | int | 0 до $2^{31}$ -1 | 4 |
| ptr | Последний элемент дека. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |

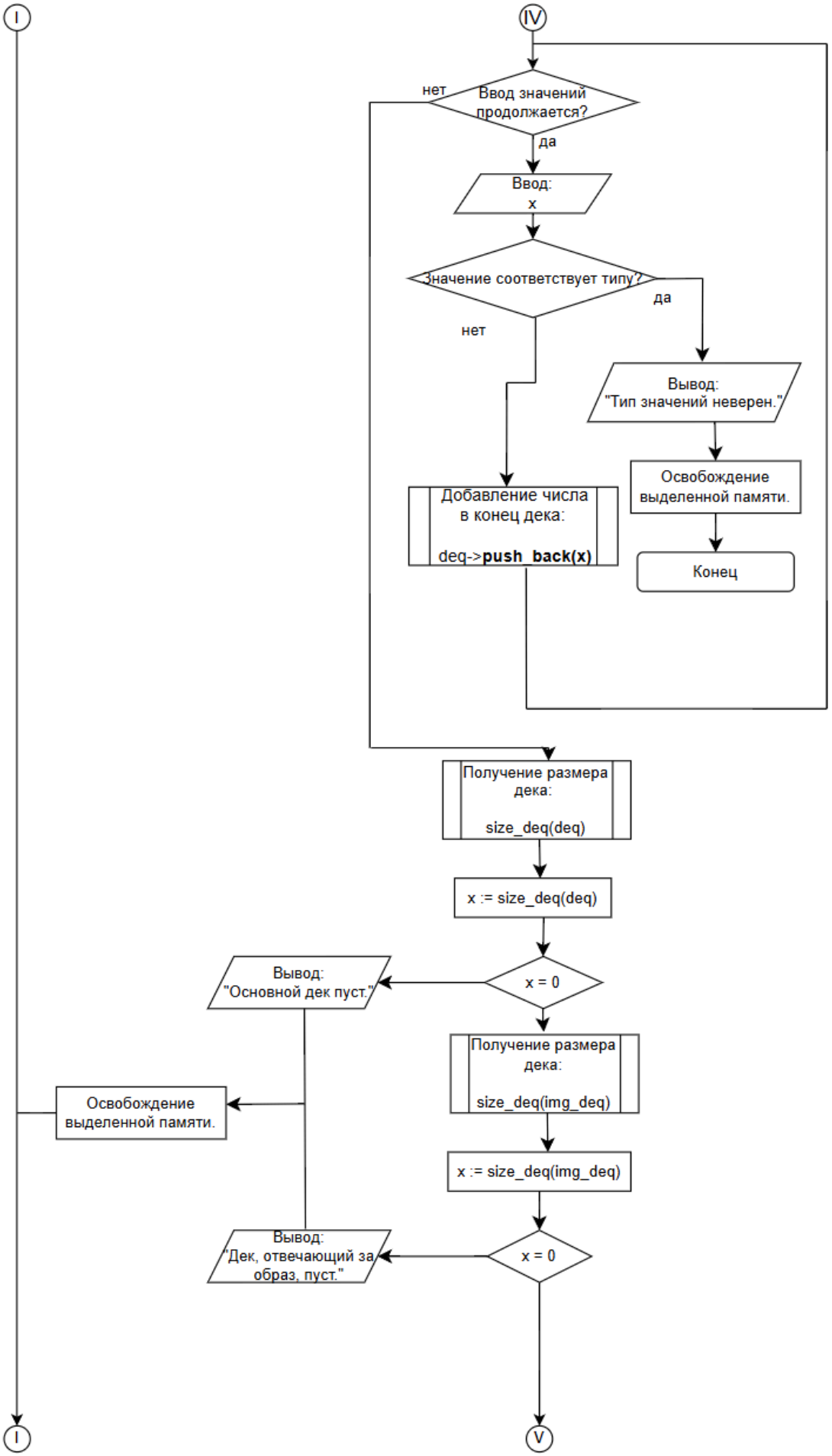
## 2.11 Функция KMP_SEQ:

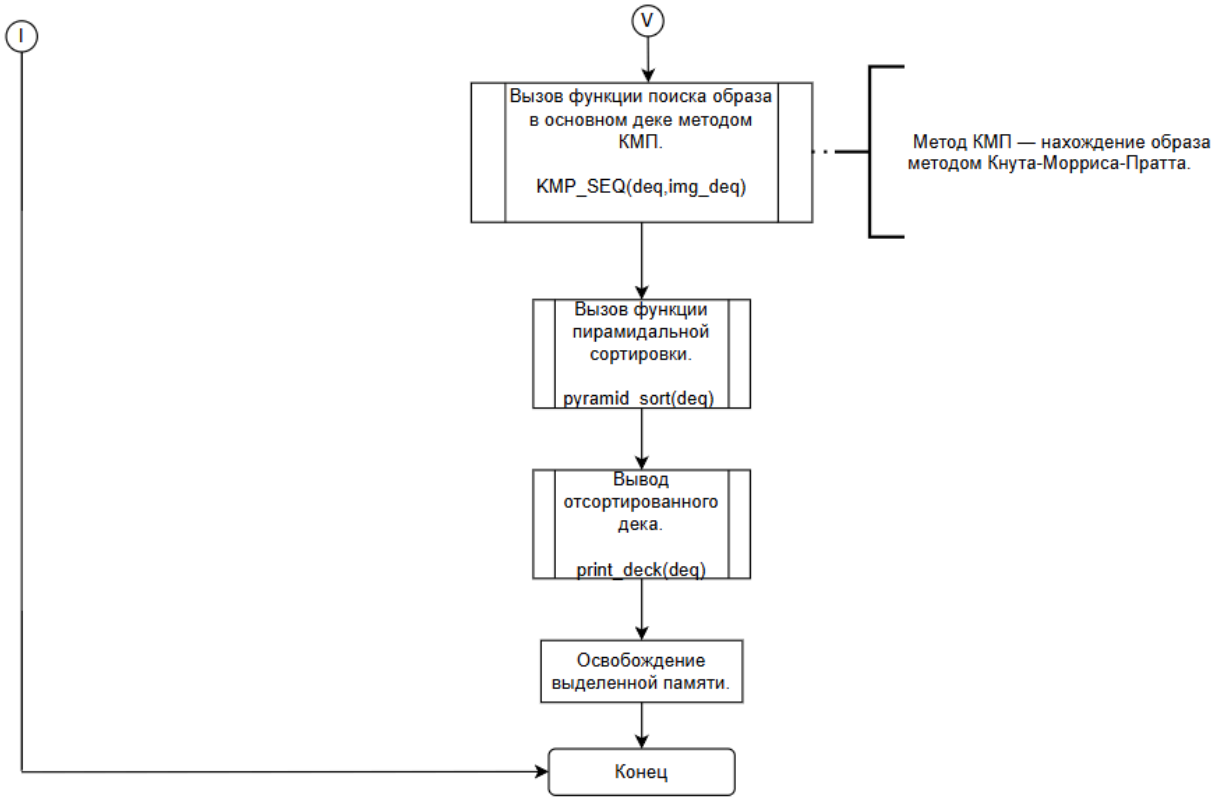
| Название переменной | Описание | Тип | Диапазон(x86) | Ёмкость(байт) |
|---|---|---|---|---|
| ptr1 | Узел последовательности. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| ptr2 | Узел образца. | Node* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| ptr | Префикс-функция. | Deque* | 0x00000000 до 0xFFFFFFFF | 4/8 |
| m | Длина образа. | int | 0 до $2^{31}$ -1 | 4 |
| n | Длина последовательности. | int | 0 до $2^{31}$ -1 | 4 |
| i,j | Индексы сравнения. | int | 0 до $2^{31}$ -1 | 4 |

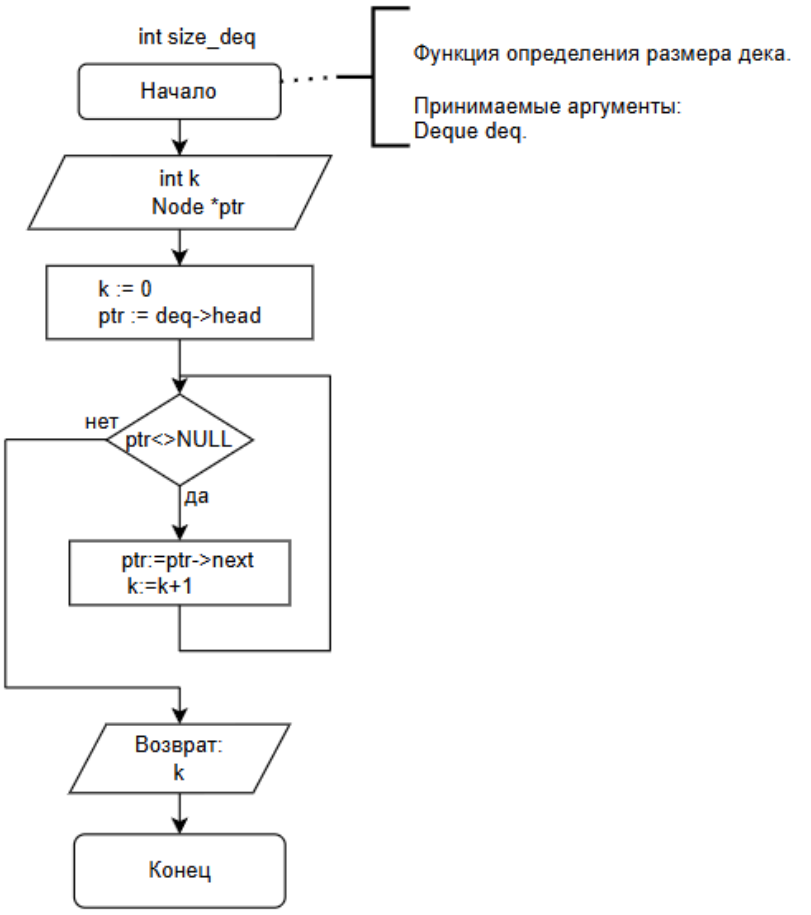
## 3.Блок-схема программы.

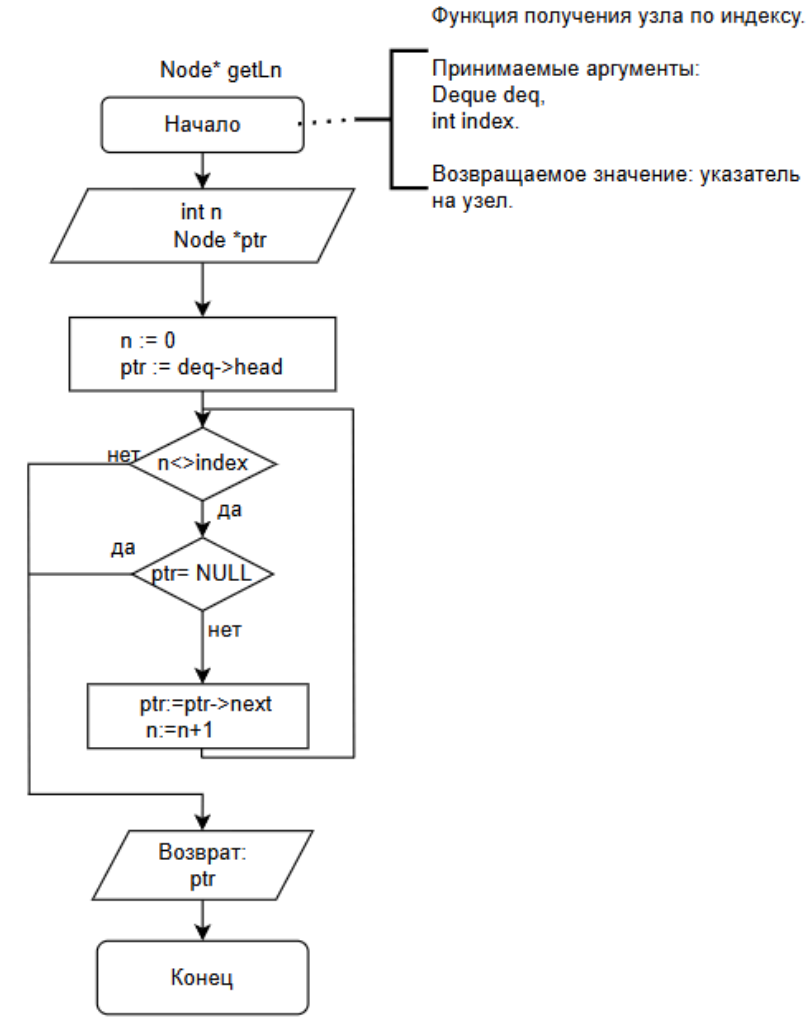


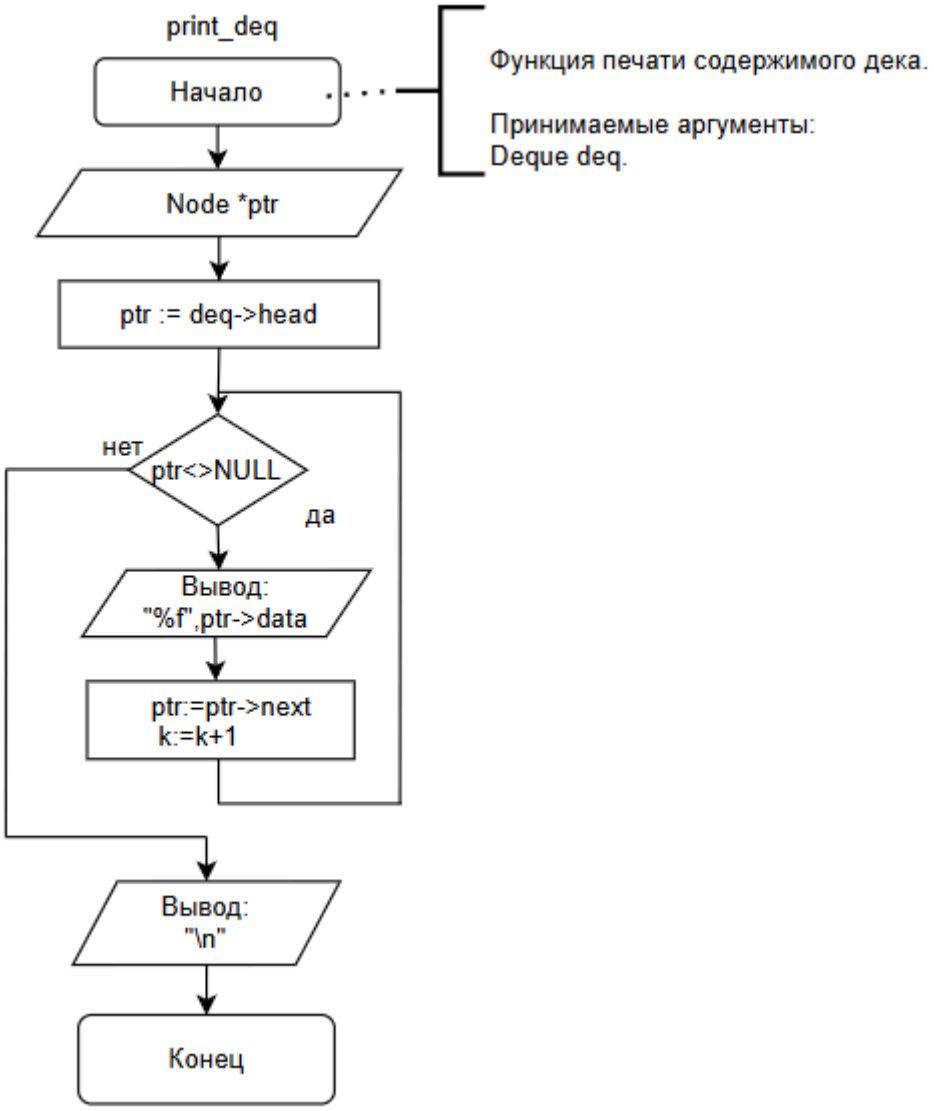

I
II
III
Вывод:
"Введите элементы в основной дек."
Ввод значений продолжается?
нет
да
Ввод:
x
Значение соответствует типу?
нет
да
Вывод:
"Тип значений неверен."
Освобождение выделенной памяти.
Конец
Добавление числа в конец дека:
deq->push_back(x)
Ввод:
file_name
Значение соответствует типу?
нет
Вывод:
"Тип значений неверен."
Открытие файла:
file_name
Файл открылся?
нет
Вывод:
"Не получается открыть файл."
Освобождение выделенной памяти.
Конец
Достигнут ли конец файла?
да
нет
Ввод из файла:
x
Значение соответствует типу?
нет
Вывод:
"Тип значений неверен."
Освобождение выделенной памяти.
Конец
да
Добавление числа в конец дека:
deq->push_back(x)
push_back — метод класса Deque.
Вывод:
"Введите элементы в образ."
I
IV


I
IV
Ввод значений продолжается?
нет
да
Ввод:
x
Значение соответствует типу?
да
нет
Вывод:
"Тип значений неверен."
Освобождение выделенной памяти.
Конец
Добавление числа в конец дека:
deq->push_back(x)
Получение размера дека:
size_deq(deq)
x := size_deq(deq)
x = 0
Вывод:
"Основной дек пуст."
Получение размера дека:
size_deq(img_deq)
x := size_deq(img_deq)
x = 0
Вывод:
"Дек, отвечающий за образ, пуст."
Освобождение выделенной памяти.
I
V

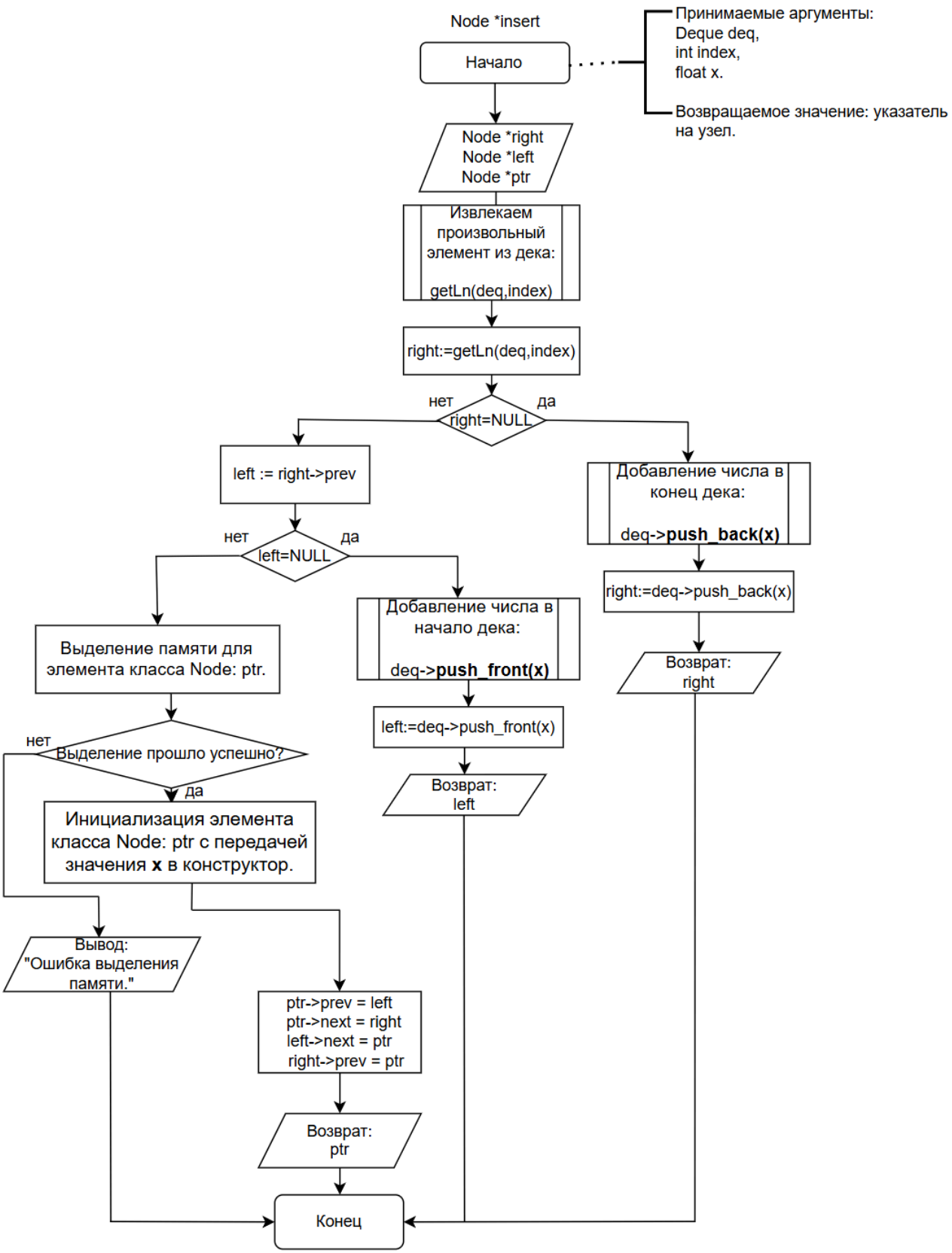

I
V
Вызов функции поиска образа в основном деке методом КМП.
KMP_SEQ(deq,img_deq)
Метод КМП — нахождение образа методом Кнута-Морриса-Пратта.
Вызов функции пирамидальной сортировки.
pyramid_sort(deq)
Вывод отсортированного дека.
print_deck(deq)
Освобождение выделенной памяти.
Конец

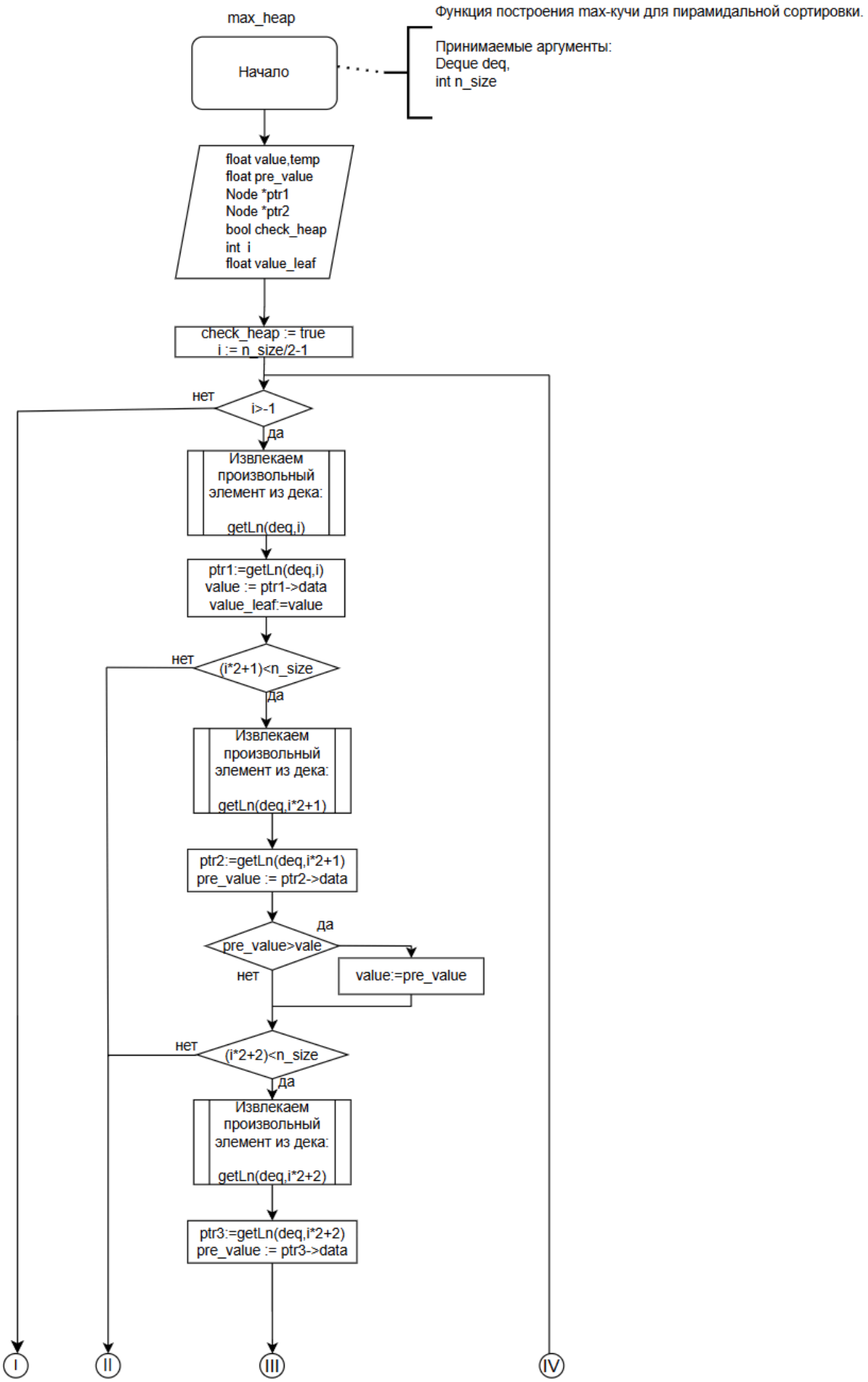

int size_deq
Начало
Функция определения размера дека.
Принимаемые аргументы:
Deque deq.
int k
Node *ptr
k := 0
ptr := deq->head
нет
ptr<>NULL
да
ptr:=ptr->next
k:=k+1
Возврат:
k
Конец

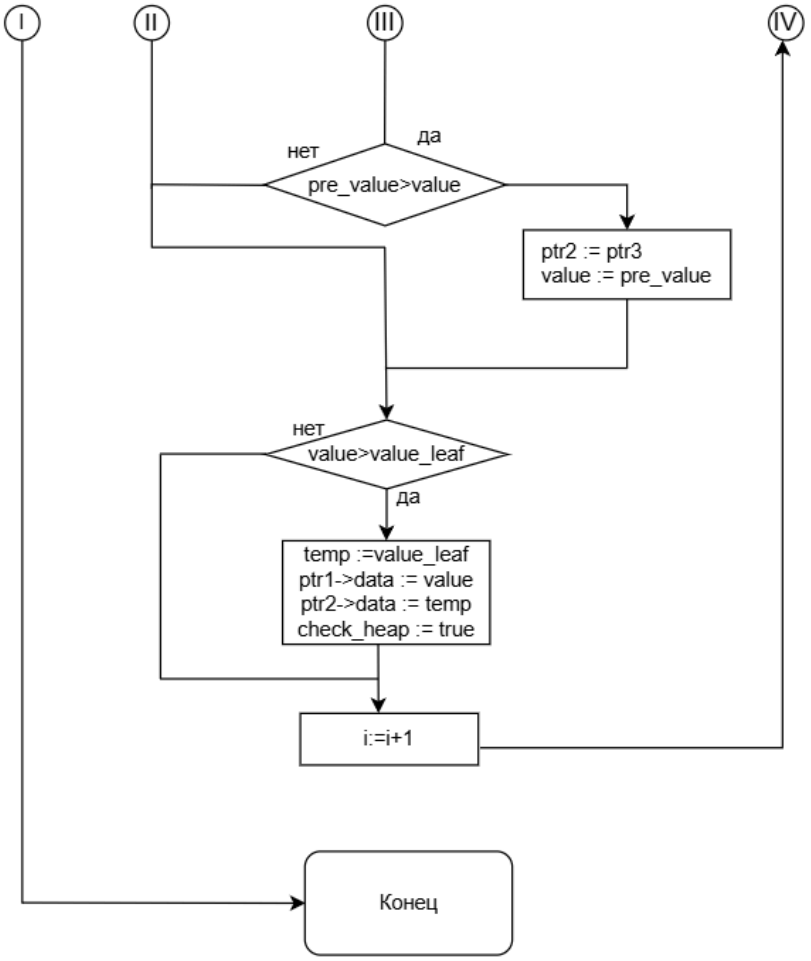

Функция получения узла по индексу.
Node* getLn
Начало
Принимаемые аргументы:
Deque deq,
int index.
Возвращаемое значение: указатель на узел.
int n
Node *ptr
n := 0
ptr := deq->head
нет
n<>index
да
да
ptr= NULL
нет
ptr:=ptr->next
n:=n+1
Возврат:
ptr
Конец

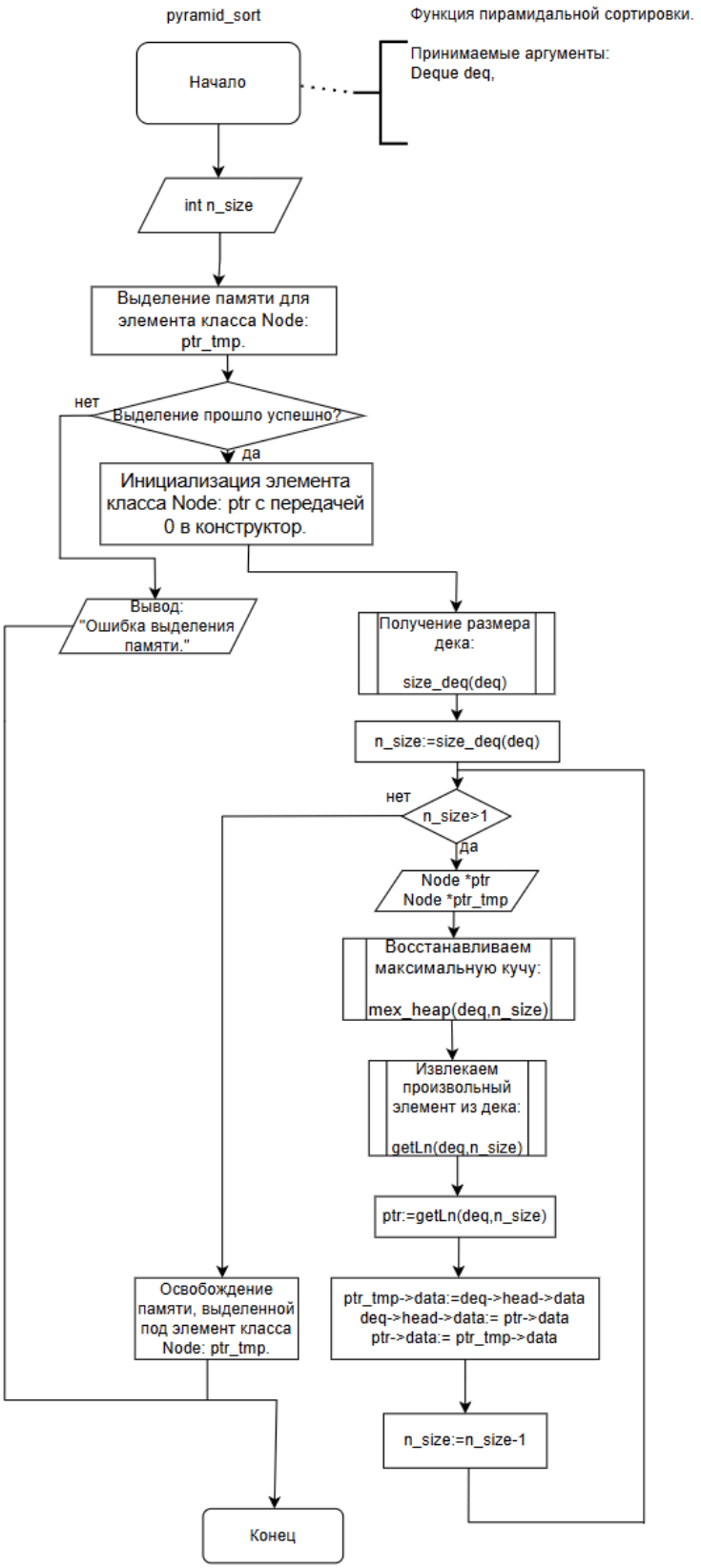

print_deq
Начало
Функция печати содержимого дека.
Принимаемые аргументы:
Deque deq.
Node *ptr
ptr := deq->head
нет
ptr<>NULL
да
Вывод:
"%f",ptr->data
ptr:=ptr->next
k:=k+1
Вывод:
"\n"
Конец

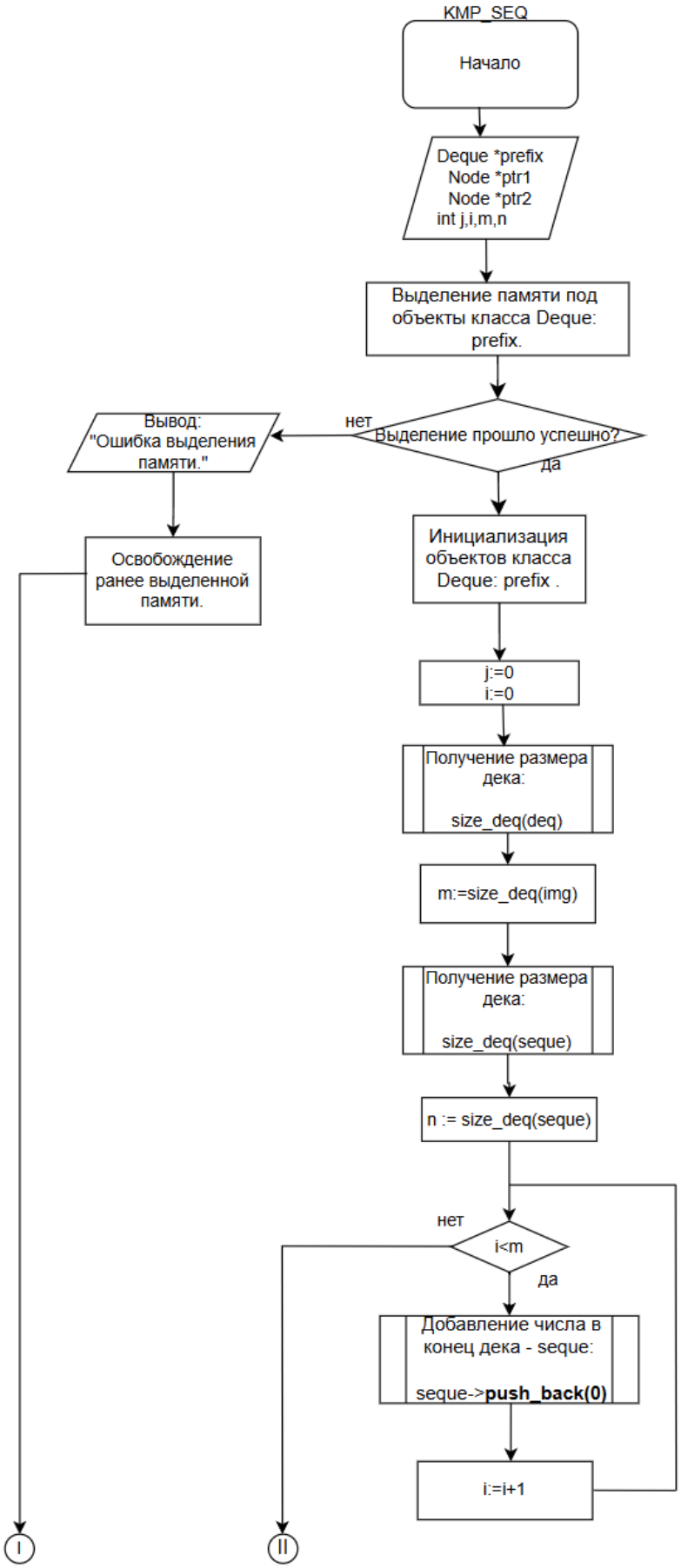
Функция вставки элемента по индексу.

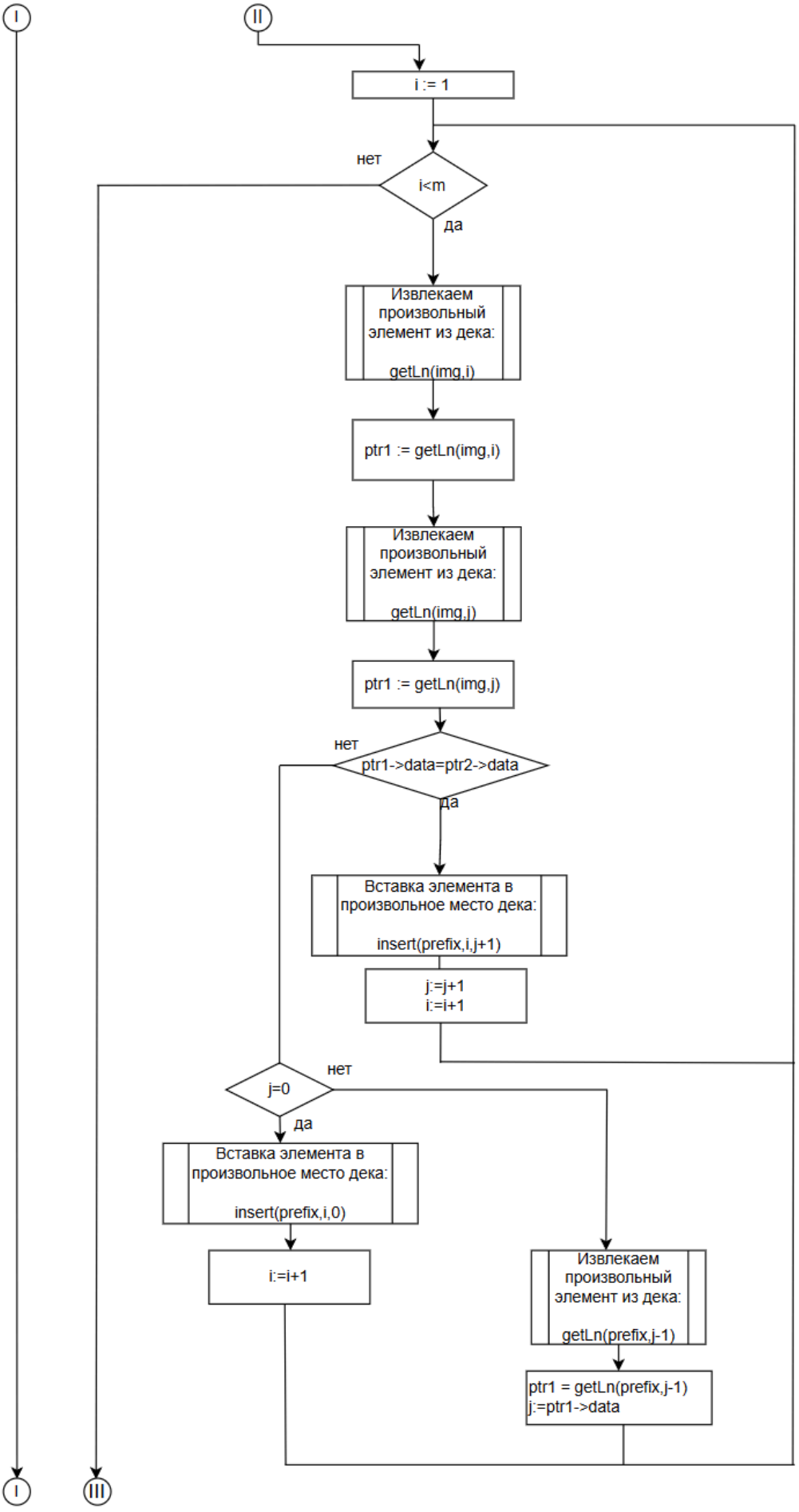


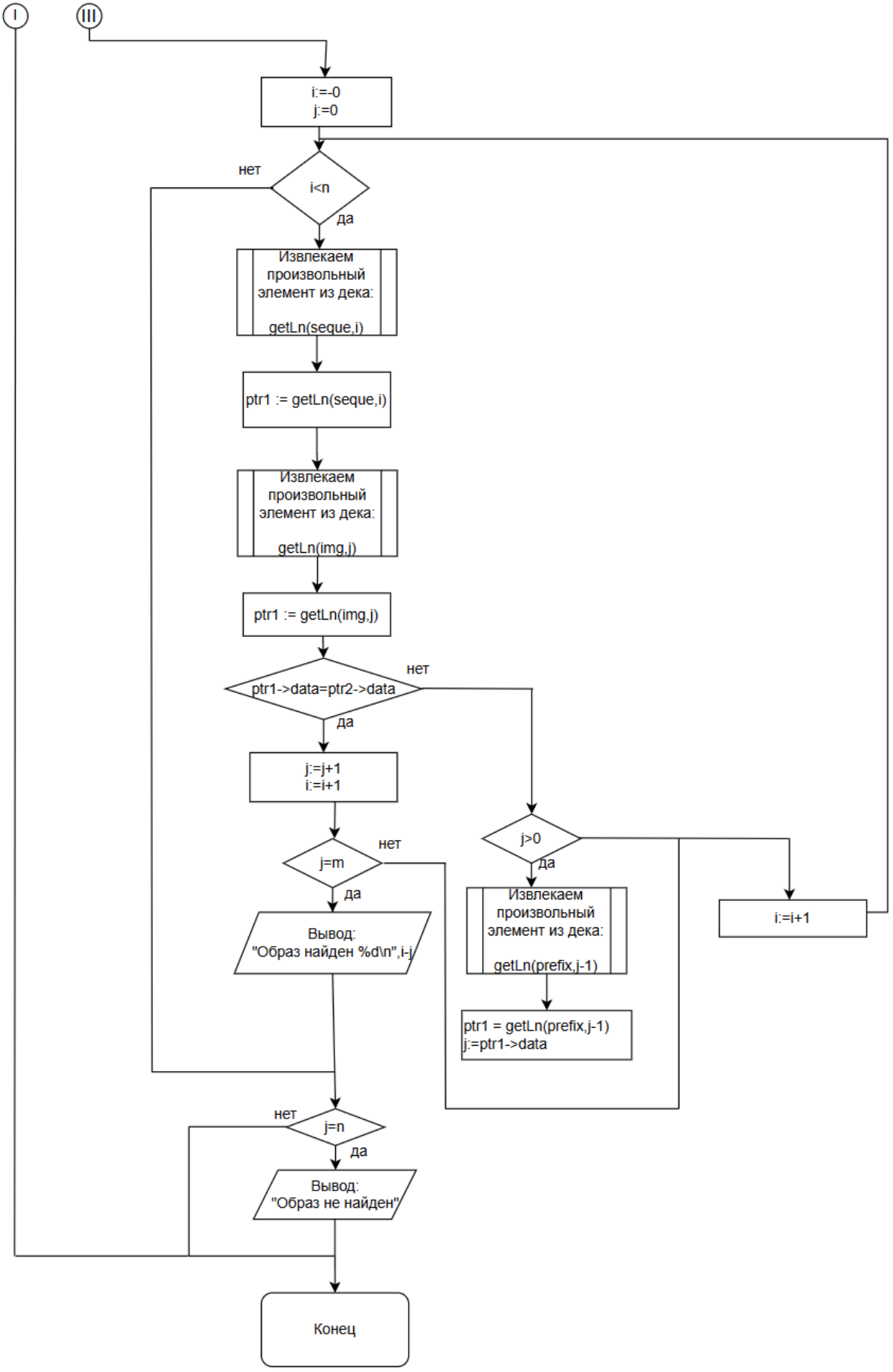

max_heap
Функция построения max-кучи для пирамидальной сортировки.
Начало
Принимаемые аргументы:
Deque deq,
int n_size
float value,temp
float pre_value
Node *ptr1
Node *ptr2
bool check_heap
int i
float value_leaf
check_heap := true
i := n_size/2-1
нет
i>-1
да
Извлекаем произвольный элемент из дека:
getLn(deq,i)
ptr1:=getLn(deq,i)
value := ptr1->data
value_leaf:=value
нет
(i*2+1)<n_size
да
Извлекаем произвольный элемент из дека:
getLn(deq,i*2+1)
ptr2:=getLn(deq,i*2+1)
pre_value := ptr2->data
да
pre_value>vale
нет
value:=pre_value
нет
(i*2+2)<n_size
да
Извлекаем произвольный элемент из дека:
getLn(deq,i*2+2)
ptr3:=getLn(deq,i*2+2)
pre_value := ptr3->data
I
II
III
IV


I
II
III
IV
нет
да
pre_value>value
ptr2 := ptr3
value := pre_value
нет
value>value_leaf
да
temp :=value_leaf
ptr1->data := value
ptr2->data := temp
check_heap := true
i:=i+1
Конец

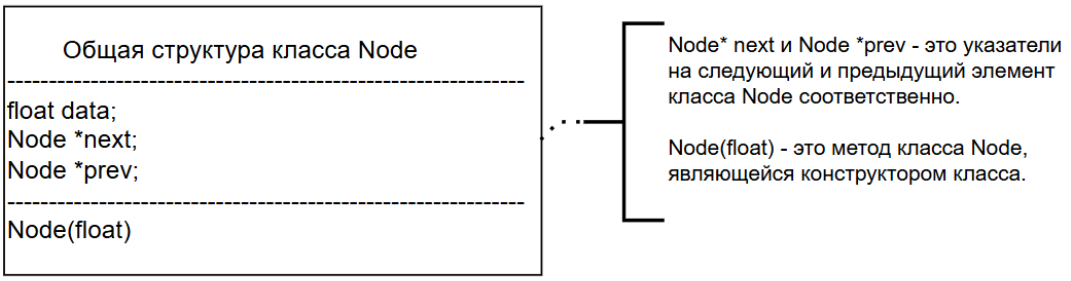

pyramid_sort
Функция пирамидальной сортировки.
Начало
Принимаемые аргументы:
Deque deq,
int n_size
Выделение памяти для элемента класса Node: ptr_tmp.
нет
Выделение прошло успешно?
да
Инициализация элемента класса Node: ptr с передачей 0 в конструктор.
Вывод: "Ошибка выделения памяти."
Получение размера дека:
size_deq(deq)
n_size:=size_deq(deq)
нет
n_size>1
да
Node *ptr
Node *ptr_tmp
Восстанавливаем максимальную кучу:
mex_heap(deq,n_size)
Извлекаем произвольный элемент из дека:
getLn(deq,n_size)
ptr:=getLn(deq,n_size)
Освобождение памяти, выделенной под элемент класса Node: ptr_tmp.
ptr_tmp->data:=deq->head->data
deq->head->data:= ptr->data
ptr->data:= ptr_tmp->data
n_size:=n_size-1
Конец

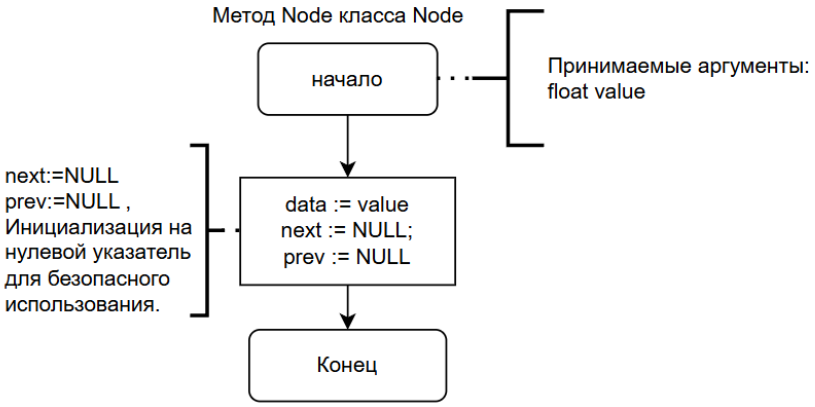

KMP_SEQ
Начало
Deque *prefix
Node *ptr1
Node *ptr2
int j,i,m,n
Выделение памяти под объекты класса Deque: prefix.
нет
Выделение прошло успешно?
да
Вывод: "Ошибка выделения памяти."
Освобождение ранее выделенной памяти.
Инициализация объектов класса Deque: prefix .
j:=0
i:=0
Получение размера дека:
size_deq(deq)
m:=size_deq(img)
Получение размера дека:
size_deq(seque)
n := size_deq(seque)
нет
i<m
да
Добавление числа в конец дека - seque:
seque->push_back(0)
i:=i+1
I
II


I
II
i := 1
нет
i<m
да
Извлекаем произвольный элемент из дека:
getLn(img,i)
ptr1 := getLn(img,i)
Извлекаем произвольный элемент из дека:
getLn(img,j)
ptr1 := getLn(img,j)
нет
ptr1->data=ptr2->data
да
Вставка элемента в произвольное место дека:
insert(prefix,i,j+1)
j:=j+1
i:=i+1
нет
j=0
да
Вставка элемента в произвольное место дека:
insert(prefix,i,0)
i:=i+1
Извлекаем произвольный элемент из дека:
getLn(prefix,j-1)
ptr1 = getLn(prefix,j-1)
j:=ptr1->data
I
III

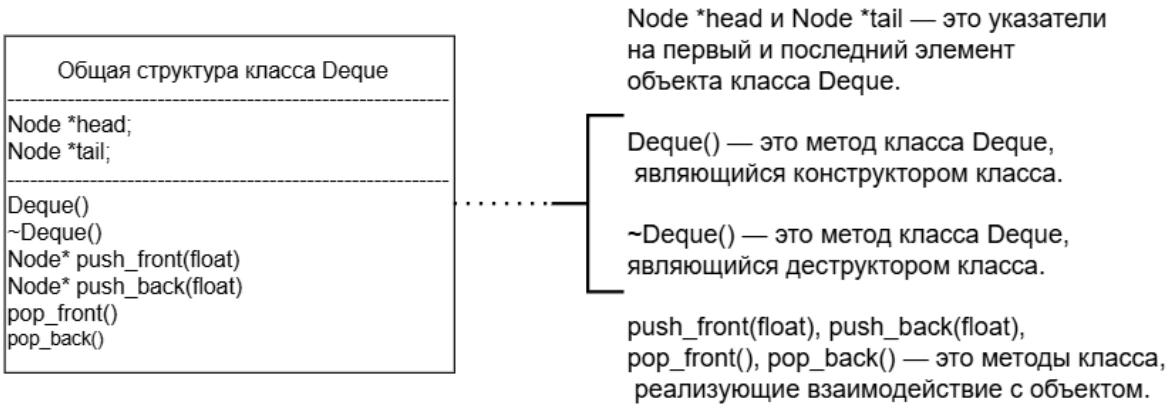

I
III
i:=-0
j:=0
нет
i<n
да
Извлекаем произвольный элемент из дека:
getLn(seque,i)
ptr1 := getLn(seque,i)
Извлекаем произвольный элемент из дека:
getLn(img,j)
ptr1 := getLn(img,j)
нет
ptr1->data=ptr2->data
да
j:=j+1
i:=i+1
нет
j=m
да
Вывод:
"Образ найден %d\n",i-j
j>0
да
Извлекаем произвольный элемент из дека:
getLn(prefix,j-1)
ptr1 = getLn(prefix,j-1)
j:=ptr1->data
i:=i+1
нет
j=n
да
Вывод:
"Образ не найден"
Конец

3.1 Блок-схема **класса Node**:

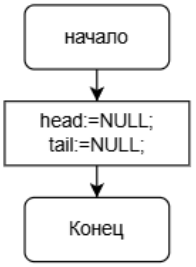


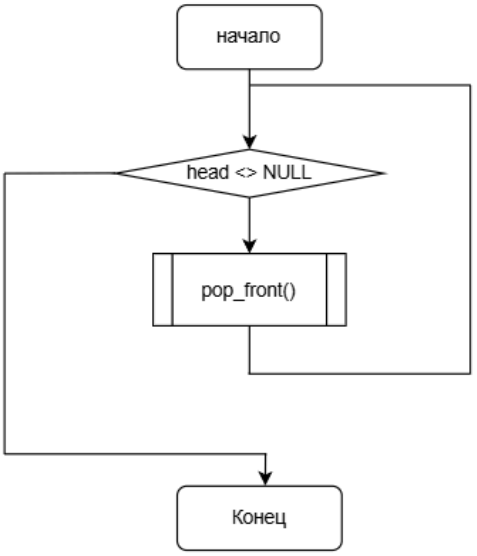
3.2 Блок-схема **класса Deque**:

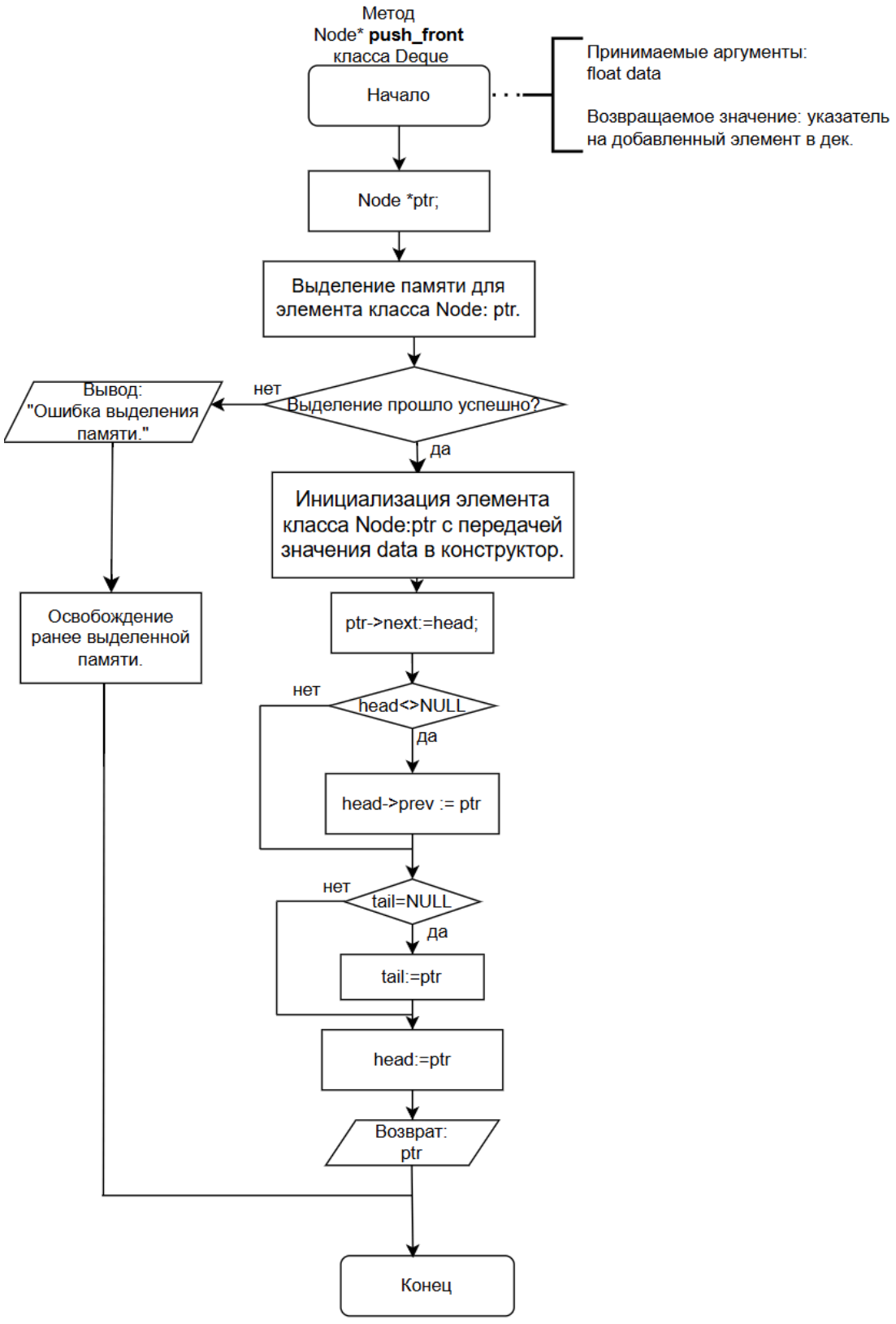


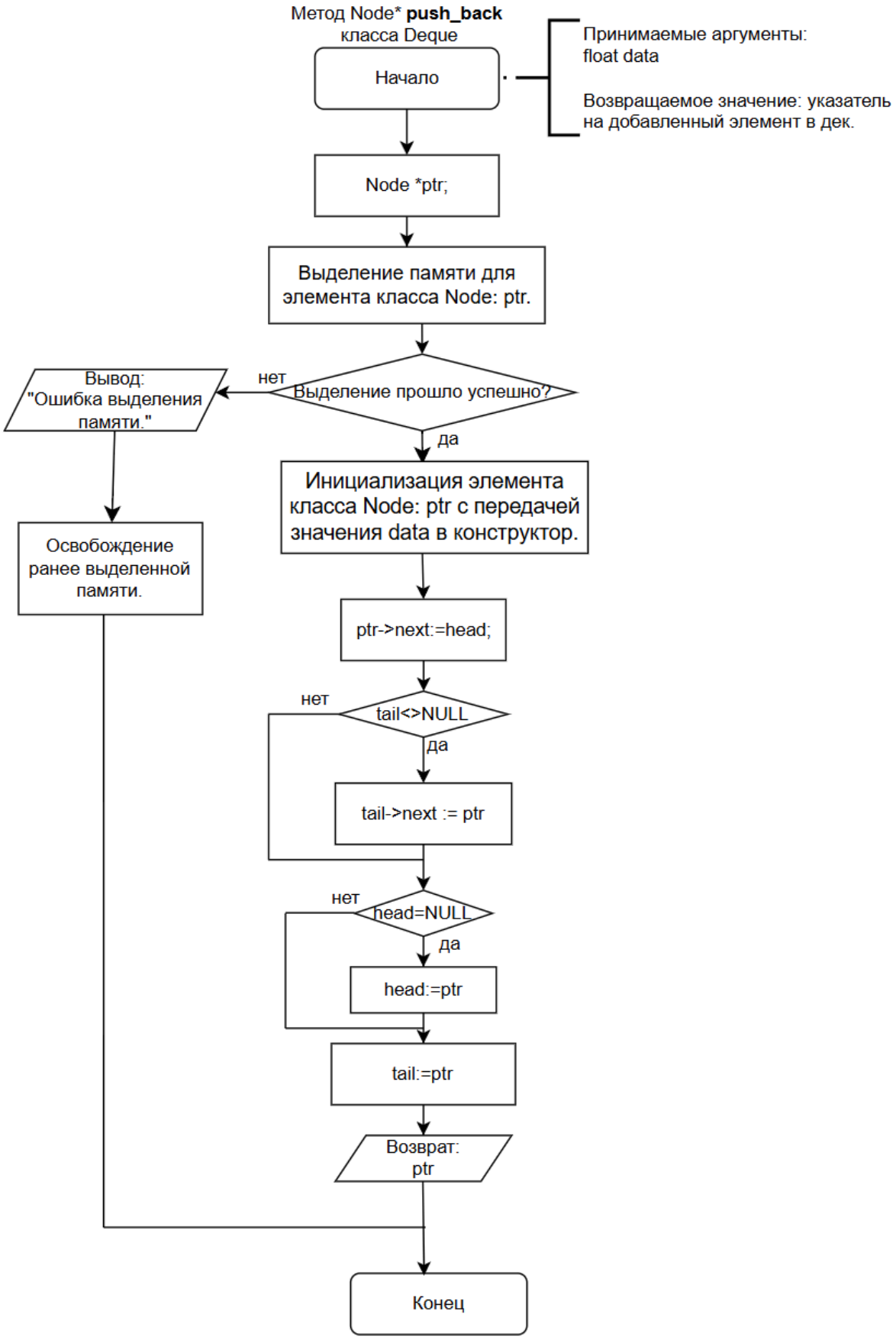

Метод Deque() класса Deque



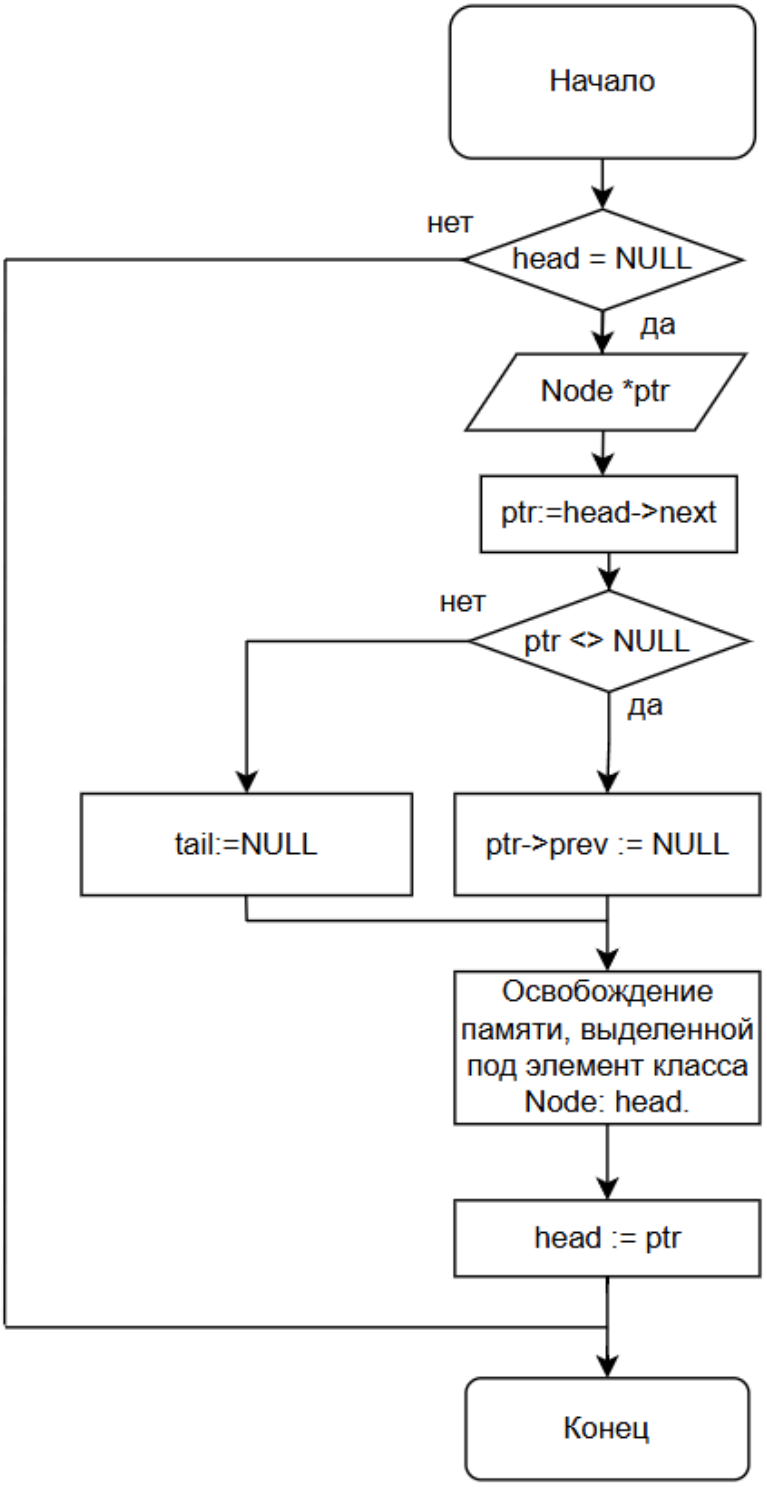

Метод ~Deque() класса Deque



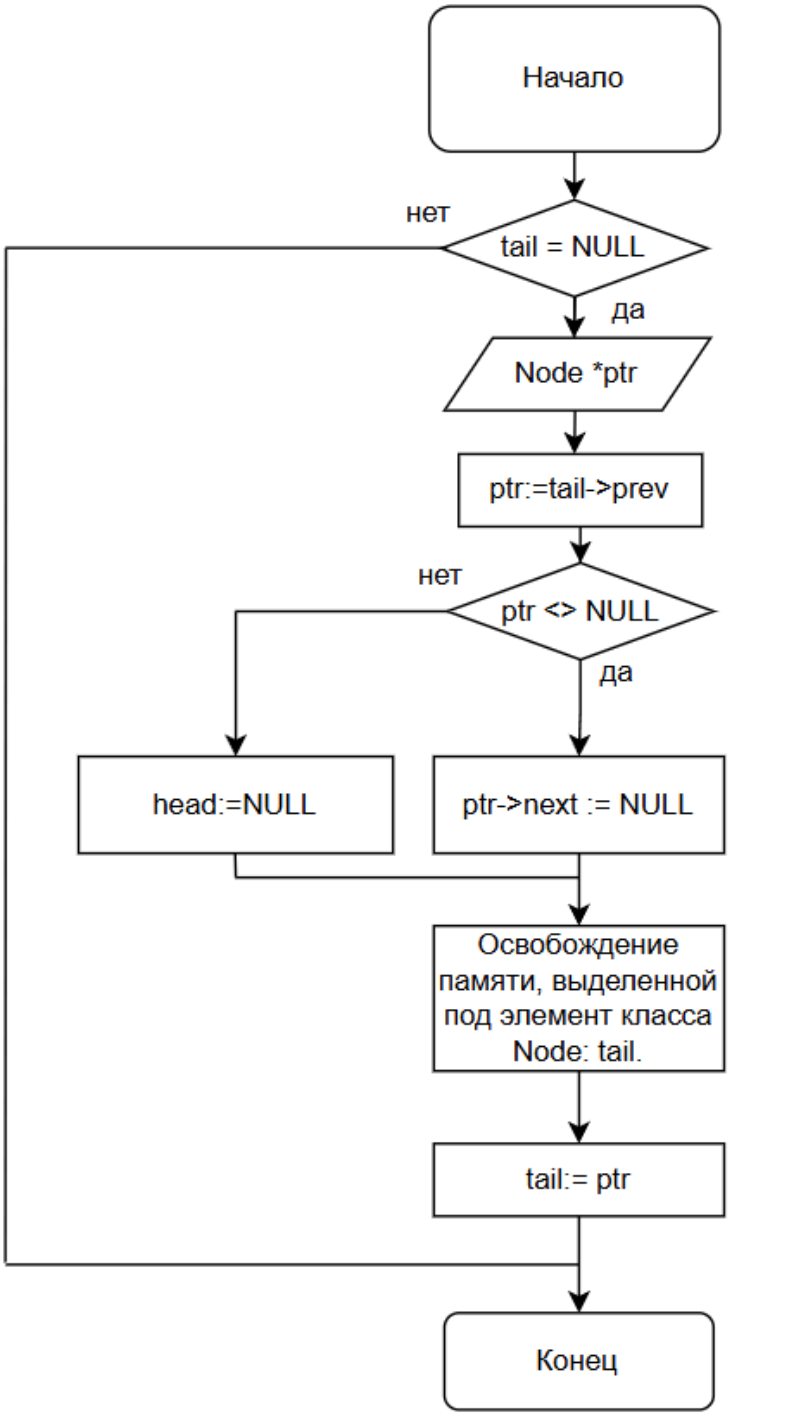

Метод
Node* push_front
класса Deque
Начало
Принимаемые аргументы:
float data
Возвращаемое значение: указатель
на добавленный элемент в дек.
Node *ptr;
Выделение памяти для
элемента класса Node: ptr.
Выделение прошло успешно?
нет
Вывод:
"Ошибка выделения
памяти."
да
Инициализация элемента
класса Node:ptr с передачей
значения data в конструктор.
Освобождение
ранее выделенной
памяти.
ptr->next:=head;
нет
head<>NULL
да
head->prev := ptr
нет
tail=NULL
да
tail:=ptr
head:=ptr
Возврат:
ptr
Конец


Метод Node* **push_back**
класса Deque
Начало
Принимаемые аргументы:
float data
Возвращаемое значение: указатель
на добавленный элемент в дек.
Node *ptr;
Выделение памяти для
элемента класса Node: ptr.
Выделение прошло успешно?
нет
Вывод:
"Ошибка выделения
памяти."
да
Инициализация элемента
класса Node: ptr с передачей
значения data в конструктор.
Освобождение
ранее выделенной
памяти.
ptr->next:=head;
нет
tail<>NULL
да
tail->next := ptr
нет
head=NULL
да
head:=ptr
tail:=ptr
Возврат:
ptr
Конец

Метод **pop_front** класса Deque



Метод **pop_back** класса Deque



## 4.Код программы

```
#include <iostream>
#include <fstream>

// Объявление класса Deque (двусторонняя очередь)
class Deque;

// Глобальные указатели на основной дек и дек-образец
Deque *deq = nullptr;       // Основной дек
Deque *img_deq = nullptr;  // Дек-образец для поиска

// Класс узла дека
class Node {
public:
    float data;   // Хранимое значение
    Node* next;   // Указатель на следующий узел
    Node* prev;   // Указатель на предыдущий узел

public:
    // Конструктор узла
    Node(float data) {
        this->data = data;
        this->next = this->prev = NULL;  // Инициализация указателей
    }
};

// Класс двусторонней очереди (дека)
```

```
class Deque {

public:

    Node *head;  // Указатель на начало дека

    Node *tail;  // Указатель на конец дека


public:

    // Конструктор - инициализация пустого дека

    Deque() {

        this->head = NULL;

        this->tail = NULL;

    }


    // Деструктор - освобождение памяти

    ~Deque() {

        // Последовательно удаляем все элементы с начала

        while (head != NULL) {

            pop_front();

        }

    }


    // Добавление элемента в начало дека

    Node* push_front(float data) {

        // Выделение памяти под новый узел

        Node *ptr = new(std::nothrow) Node(data);


        // Проверка выделения памяти

        if (ptr == nullptr) {

            std::cout << "Error of Memory\n";

            delete deq;
```

```
            delete img_deq;
            exit(EXIT_FAILURE);
        }

        // Настройка связей между узлами
        ptr->next = head;
        if (head != NULL)
            head->prev = ptr;
        if (tail == NULL)  // Если дек был пуст
            tail = ptr;
        head = ptr;  // Обновление головы дека
        return ptr;
    }

    // Добавление элемента в конец дека
    Node* push_back(float data) {
        // Выделение памяти под новый узел
        Node *ptr = new(std::nothrow) Node(data);

        // Проверка выделения памяти
        if (ptr == nullptr) {
            std::cout << "Error of Memory\n";
            delete deq;
            delete img_deq;
            exit(EXIT_FAILURE);
        }

        // Настройка связей между узлами
        ptr->prev = tail;
```

```
    if (tail != NULL)
        tail->next = ptr;
    if (head == NULL)  // Если дек был пуста
        head = ptr;
    tail = ptr;  // Обновление хвоста дека
    return ptr;
}

// Удаление элемента из начала дека
void pop_front() {
    if (head == NULL) return;  // Если дек был пуст

    Node* ptr = head->next;
    if (ptr != NULL)
        ptr->prev = NULL;
    else
        tail = NULL;  // Дек стал пустым
    delete head;     // Освобождение памяти
    head = ptr;     // Обновление головы дека
}

// Удаление элемента из конца дека
void pop_back() {
    if (tail == NULL) return;  // Если дек был пуст

    Node *ptr = tail->prev;
    if (ptr != NULL)
        ptr->next = NULL;
    else
```

```
            head = NULL;  // Дек стал пустым

        delete tail;     // Освобождение памяти
        tail = ptr;     // Обновление хвоста дека
    }
};

// Функция определения размера дека
int size_deq(Deque *deq) {
    int k = 0;
    Node *ptr = deq->head;
    // Проход по всем элементам дека
    while (ptr != NULL) {
        ptr = ptr->next;
        k++;  // Подсчет элементов
    }
    return k;
}

// Функция получения узла по индексу
Node* getLn(Deque *deq, int index) {
    Node* ptr = deq->head;
    int n = 0;

    // Поиск узла с нужным индексом
    while (n != index) {
        if (ptr == NULL)
            return ptr;  // Если индекс превышает размер
        ptr = ptr->next;
```

```
        n++;
    }
    return ptr;
}

// Функция печати содержимого дека
void print_deck(Deque *deq) {
    Node *ptr = deq->head;
    // Последовательный вывод всех элементов
    while (ptr != NULL) {
        printf("%0.2f ", ptr->data);
        ptr = ptr->next;
    }
    printf("\n");
}

// Функция вставки элемента по индексу
Node* insert(Deque *deq, int index, double x) {
    Node* right = getLn(deq, index);
    if (right == NULL)  // Если индекс в конце
        return deq->push_back(x);

    Node* left = right->prev;
    if (left == NULL)   // Если индекс в начале
        return deq->push_front(x);

    // Создание нового узла
    Node* ptr = new(std::nothrow) Node(x);
    if (ptr == nullptr) {
```

```
            std::cout << "Error of Memory\n";
            delete deq;
            delete img_deq;
            exit(EXIT_FAILURE);
        }

        // Вставка между left и right
        ptr->prev = left;
        ptr->next = right;
        left->next = ptr;
        right->prev = ptr;

        return ptr;
}

// Функция построения max-кучи для пирамидальной сортировки
void max_heap(Deque *deq, int n_size) {
        float value, temp;
        float pre_value;

        Node *ptr1 = nullptr;
        Node *ptr2 = nullptr;
        Node *ptr3 = nullptr;

        bool check_heap = true;
        // Пока куча не упорядочена
        while (check_heap == true) {
            check_heap = false;
            float value_leaf;
```

```
// Проход по всем родительским узлам
for (int i = n_size / 2 - 1; i > -1; i--) {
    ptr1 = getLn(deq, i);
    value = ptr1->data;
    value_leaf = value;

    // Проверка левого потомка
    if (i * 2 + 1 < n_size) {
        ptr2 = getLn(deq, i * 2 + 1);
        pre_value = ptr2->data;

        if (pre_value > value) {
            value = pre_value;
        }

        // Проверка правого потомка
        if (i * 2 + 2 < n_size) {
            ptr3 = getLn(deq, i * 2 + 2);
            pre_value = ptr3->data;

            if (pre_value > value) {
                ptr2 = ptr3;
                value = pre_value;
            }
        }
    }

    // Если нашли большее значение - меняем местами
    if (value > value_leaf) {
```

```
                temp = value_leaf;
                ptr1->data = value;
                ptr2->data = temp;
                check_heap = true;  // Требуется еще проход
            }
        }
    }
}

// Функция пирамидальной сортировки
void pyramid_sort(Deque *deq) {
    // Временный узел для обмена значений
    Node *ptr_tmp = new(std::nothrow) Node(0);
    if (ptr_tmp == nullptr) {
        std::cout << "Error of Memory!" << std::endl;
        delete deq;
        delete img_deq;
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    int n_size = size_deq(deq);
    // Основной цикл сортировки
    while (n_size > 1) {
        max_heap(deq, n_size);  // Построение кучи
        Node *ptr = getLn(deq, n_size - 1);
        // Обмен максимального элемента с последним
        ptr_tmp->data = deq->head->data;
        deq->head->data = ptr->data;
        ptr->data = ptr_tmp->data;
```

```
            n_size--;  // Уменьшение размера неотсортированной части
        }
        delete ptr_tmp;  // Освобождение временного узла
    }

    // Функция поиска подпоследовательности (алгоритм Кнута-Морриса-Пратта)
    void KMP_SEQ(Deque *seque, Deque *img) {
        Node *ptr1 = nullptr;
        Node *ptr2 = nullptr;
        // Создание дека для хранения префикс-функции
        Deque *prefix = new(std::nothrow) Deque();

        if (prefix == nullptr) {
            delete deq;
            delete img_deq;
            exit(EXIT_FAILURE);
        }

        int m = size_deq(img);  // Длина образца
        int n = size_deq(seque);  // Длина последовательности

        // Инициализация префикс-функции нулями
        for (int i = 0; i < m; i++)
            prefix->push_back(0);

        // Вычисление префикс-функции для образца
        int j = 0, i = 1;
        while (i < m) {
```

```
        ptr1 = getLn(img, i);
        ptr2 = getLn(img, j);
        if (ptr1->data == ptr2->data) {
            insert(prefix, i, j + 1);
            j++;
            i++;
        } else if (j == 0) {
            insert(prefix, i, 0);
            i++;
        } else {
            ptr1 = getLn(prefix, j - 1);
            j = ptr1->data;
        }
    }

    // Поиск образца в последовательности
    i = 0;
    j = 0;

    while (i < n) {
        ptr1 = getLn(seque, i);
        ptr2 = getLn(img, j);
        if (ptr1->data == ptr2->data) {
            i += 1;
            j += 1;

            if (j == m) {  // Образец полностью найден
                printf("image find %d\n", i - j);  // Вывод позиции
                return;
```

```
            }
        } else if (j > 0) {
            ptr1 = getLn(prefix, j - 1);
            j = ptr1->data;  // Сдвиг по префикс-функции
        } else {
            i++;  // Сдвиг последовательности
        }
    }

    // Образец не найден
    if (i == n)
        printf("image not find \n");

    return;
}

int main(void) {
    // Инициализация деков
    deq = new(std::nothrow) Deque();       // Дек для данных
    img_deq = new(std::nothrow) Deque();  // Дек для образца

    // Проверка выделения памяти
    if (deq == nullptr || img_deq == nullptr) {
        std::cerr << "Error of Memory!" << std::endl;
        if (deq != nullptr)
            delete deq;
        if (img_deq != nullptr)
            delete img_deq;
        exit(EXIT_FAILURE);
```

```
}


float x;
int mode;


// Выбор источника ввода данных
std::cout << "write from StdI <= 0, FILE > 0." << std::endl;
std::cin >> mode;


// Проверка корректности ввода
if (std::cin.fail()) {
    std::cerr << "Error: Bad value!" << std::endl;
    return 0;
}


// Ввод из файла
if (mode > 0) {
    char file_name[256];
    std::cin >> file_name;
    if (std::cin.fail()) {
        std::cerr << "Error: Bad value!" << std::endl;
    }
    std::ifstream ifs(file_name);


    if (ifs.is_open()) {
        // Чтение данных из файла
        while (ifs >> x) {
            if (ifs.fail()) {
                std::cerr << "Error: Bad value!" << std::endl;
```

```
                delete deq;
                delete img_deq;
                exit(EXIT_FAILURE);
            }
            deq->push_back(x);  // Добавление в дек
        }
    } else {
        std::cerr << "Couldn't open the file!" << std::endl;
        delete deq;
        delete img_deq;
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    // Вывод введенных данных
    std::cout << "Your previous deque:" << std::endl;
    print_deck(deq);
} else {
    // Ввод данных с клавиатуры
    std::cout << "Enter the previos deque:" << std::endl;
    while (!feof(stdin)) {
        std::cin >> x;
        if (std::cin.fail() && !std::cin.eof()) {
            std::cerr << "Error: Bad value!" << std::endl;
            delete deq;
            delete img_deq;
            exit(EXIT_FAILURE);
        }
        if (!std::cin.eof())
            deq->push_back(x);  // Добавление в дек
```

```
    }
}


// Ввод образца для поиска
std::cin.clear();
std::cout << "Enter the image:" << std::endl;
while (std::cin >> x) {
    if (std::cin.fail() && !std::cin.eof()) {
        std::cerr << "Error: Bad value!" << std::endl;
        delete deq;
        delete img_deq;
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
    if (!std::cin.eof())
        img_deq->push_back(x);  // Добавление в дек-образец
}


// Проверка на пустые деки
if (size_deq(deq) == 0) {
    fprintf(stderr, "Error: Previos deque is empty!");
    delete deq;
    delete img_deq;
    exit(EXIT_FAILURE);
} else if (size_deq(img_deq) == 0) {
    fprintf(stderr, "Error: Previos image-deque is empty!");
    delete deq;
    delete img_deq;
    exit(EXIT_FAILURE);
}
```

```
    // Поиск образца в исходной и отсортированной последовательности

                                                    std::cout             <<
"------------------------------------------------------------" << std::endl;

    printf("seque in a previos deque: ");

    KMP_SEQ(deq, img_deq);  // Поиск в исходном деке


    pyramid_sort(deq);  // Сортировка дека

    printf("seque in a sorted deque: ");

    KMP_SEQ(deq, img_deq);  // Поиск в отсортированном деке

    print_deck(deq);        // Вывод отсортированного дека


    // Освобождение памяти

    delete deq;

    delete img_deq;

}
```

## 5.Программные тесты.

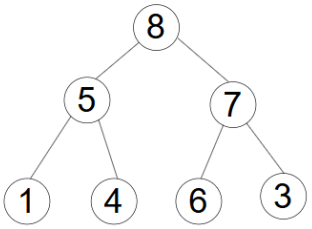
## 5.1:

**Данные, которые подаются в программу со стандартного ввода:**

[8, 5, 7, 1, 4, 6, 3] - данные для основного дека

[1] - образец

Представление данных основного дека в виде бинарного дерева:




**Ожидаемый вывод:**

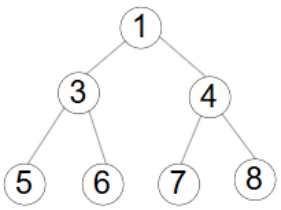
Расположение образца:

В исходном деке на 3 индексе.

В отсортированном на 0 индексе.

[1, 3, 4, 5, 6, 7, 8] - отсортированный дек.

Представление данных основного отсортированного дека в виде бинарного дерева:



**Программный вывод:**

```
write from StdI <= 0, FILE > 0.
-1
Enter the previos deque:
8 5 7 1 4 6 3
^Z
Enter the image:
1
^Z
------------------------------------------------------------
seque in a previos deque: image find 3
seque in a sorted deque: image find 0
1.00 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00 8.00
```

## 5.2:

**Данные, которые подаются в программу со стандартного ввода:**

file.txt

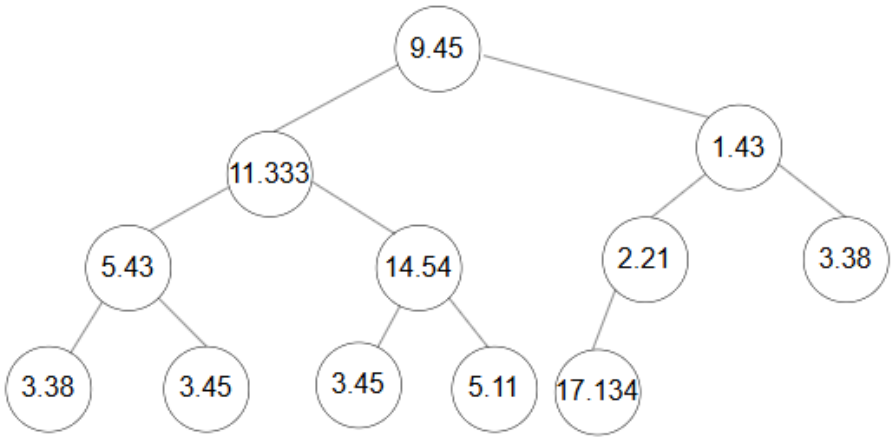
[3.38 3.38 3.45 3.45] - образец

Содержимое файла:

file.txt

```
1   9.45 11.333 1.43 5.43 14.54 2.21 3.38 3.38 3.45 3.45 5.11 17.134
```

Представление данных основного дека в  виде бинарного дерева:




**Ожидаемый вывод:**

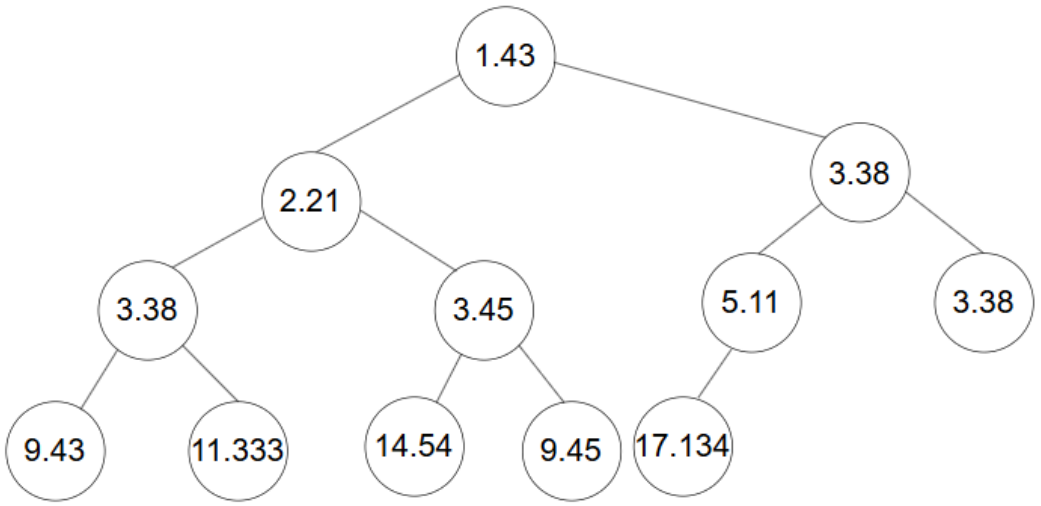
Расположение образца:

В исходном деке на 6 индексе.

В отсортированном на 2 индексе.

[1.43, 2.21, 3.38, 3.38, 3.45, 5.11, 5.43, 9.45, 11.333, 14.54, 17.134] - отсортированный дек.

Представление данных основного отсортированного дека в виде бинарного дерева:




**Программный вывод:**

```
write from StdI <= 0, FILE > 0.
2
file.txt
Your previous deque:
9.45 11.33 1.43 5.43 14.54 2.21 3.38 3.38 3.45 3.45 5.11 17.13
Enter the image:
3.38 3.38 3.45 3.45
^Z
------------------------------------------------------------
seque in a previos deque: image find 6
seque in a sorted deque: image find 2
1.43 2.21 3.38 3.38 3.45 3.45 5.11 5.43 9.45 11.33 14.54 17.13
```

## 5.3

**Данные, которые подаются в программу со стандартного ввода:**

file.txt

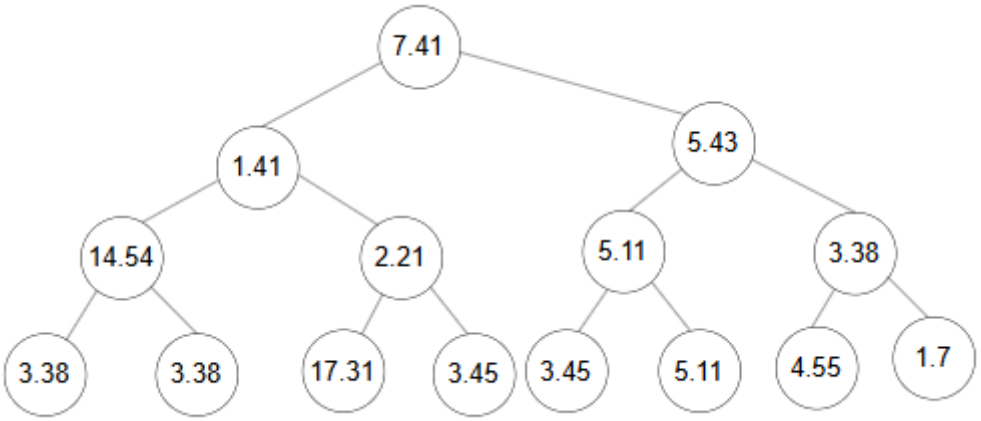
[12.46, 3.38] - образец

Содержимое файла:

file.txt

```
1    7.41 1.43 5.43 14.54 2.21 12.31 12.46 3.38 3.38 17.31 3.45 3.45 5.11 4.55 1.7
```

Представление данных основного дека в виде бинарного дерева:




**Ожидаемый вывод:**

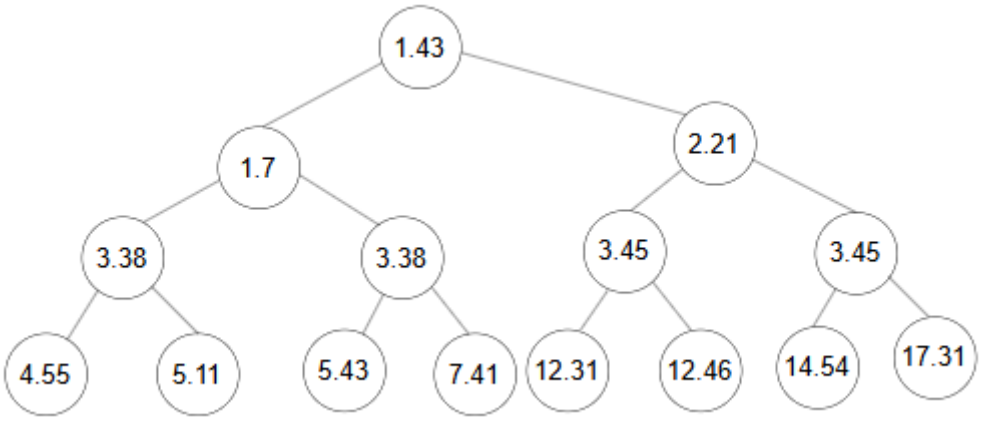
Расположение образца:

В исходном деке на 6 индексе.

В отсортированном отсутствует образ.

[1.43, 1.70, 2.21, 3.38, 3.38, 3.45, 3.45, 4.55, 5.11, 5.43, 7.41, 12.31, 12.46, 14.54, 17.31] - отсортированный дек.

Представление данных основного отсортированного дека в виде бинарного дерева:




## Программный вывод:

```
write from StdI <= 0, FILE > 0.
2
file.txt
Your previous deque:
7.41 1.43 5.43 14.54 2.21 12.31 12.46 3.38 3.38 17.31 3.45 3.45 5.11 4.55 1.70
Enter the image:
12.46 3.38
^Z
------------------------------------------------------------
seque in a previos deque: image find 6
seque in a sorted deque: image not find
1.43 1.70 2.21 3.38 3.38 3.45 3.45 4.55 5.11 5.43 7.41 12.31 12.46 14.54 17.31
```

# 6. Оценка сложности алгоритма.

### 6.1 Оценка сложности алгоритма для пирамидальной сортировки в данной программе.

Ключевые шаги алгоритма:

1. Построение максимальной кучи (функция max_heap).

2. Сортировка: извлечение максимального элемента и восстановление кучи (функция pyramid_sort).

*Примечание: n — размер дека.*

#### 1. Построение максимальной кучи (функция max_heap)

Для построения максимальной кучи мы проходим по всем узлам, начиная с последнего узла, у которого есть дочерние узлы, и "просеиваем" его вниз.

Оценка сложности:
Чтобы оценить сложность функции max_heap, необходимо учитывать, что для произвольного доступа к элементам дека используется функция getLn. Эта функция выполняет проход по деку, и в худшем случае может потребоваться n проходов. В функции max_heap может быть выполнено максимум 4 таких прохода по n  для каждого узла, что в итоге дает:

$4 \cdot n \rightarrow O(n)$

При этом в каждой куче примерно n/2 узлов являются листовыми, и для каждого из них мы выполняем операции "просеивания". Таким образом, общая сложность функции max_heap составляет:

$O(n)$ (для одного узла) $\cdot$ $O(n/2)$ (количество узлов) = $O(n^2)$

#### 2. Извлечение максимума (функция pyramid_sort)

Удаление максимального элемента из конца дека осуществляется за константное время O(1) с помощью метода pop_back. Однако восстановление кучи требует произвольного доступа к элементам дека, который осуществляется с помощью функции getLn, уже оцененной нами как O(n).

Затем снова вызывается функция max_heap, сложность которой составляет $O(n^2)$. Таким образом, суммарная сложность на каждом этапе извлечения максимума будет:

$O(n)$ (доступ) + $O(n^2)$ (восстановление кучи) = $O(n^2 + n) = O(n^2)$

Если этот процесс повторяется n раз (для каждого элемента), то общая сложность функции pyramid_sort составит:
$O(n^2) \cdot n = O(n^3)$

**Заключение**

Таким образом, итоговая оценка временной сложности алгоритма пирамидальной сортировки с использованием дека и функции getLn составляет $O(n^3)$.

---

**6.2 Оценка сложности алгоритма Кнута-Морриса-Пратта в данной программе.**

*Примечание:*

• m — размер шаблона (образа) дека.

• n — размер основного дека.

Ключевые шаги алгоритма:

1. Построение префикс-функции.

2. Поиск паттерна в основном деке.

1. Построение префикс-функции:

Начинаем с создания массива prefix, заполняя его нулями. Это требует O(m) операций, так как мы выполняем m вставок.

Далее происходит заполнение префикс-функции:

Используем два указателя: один (i) для текущей позиции в шаблоне, другой (j) для отслеживания длины текущего совпадения.

В худшем случае для каждого i от 1 до m:

• Два вызова функции getLn требуют O(i) + O(j), что в сумме составляет O(m) + O(m) (так как i и j могут достигать значения m).

• Вставка в дек prefix с помощью insert, использующего функцию getLn, требует O(i), что также в сумме составляет O(m).

• Рекурсивные откаты j с использованием функции getLn суммарно требуют O(m).

Итого: Общее время на построение префикс-функции составляет $O(m*m) = O(m^2)$.

**2. Поиск паттерна в основном тексте:**

Указатель i изменяется от 0 до n, что требует O(n) операций.

Для каждого значения i происходит следующее:

- Вызов функции getLn(seque, i) требует O(i), что в сумме составляет O(n), так как i может достигать значения n.
- Вызов функции getLn(img, j) требует O(j), где j ≤ m, что в итоге составляет O(m).
- Рекурсивные откаты j с использованием функции getLn суммарно требуют O(m).

Итого: Общее время на поиск образа в деке составляет $O(n(n + m)) = O(n^2 + n \cdot m)$.

**Общая сложность алгоритма**

Суммируя временные затраты на оба шага:

$O(m^2)$ (построение префикс-функции) + $O(n^2 + n \cdot m)$ (поиск) = $O(m^2 + n^2 + n \cdot m)$

Таким образом, окончательная оценка сложности алгоритма Кнута-Морриса-Пратта в данной программе составляет $O(m^2 + n^2 + n \cdot m)$.

## Заключение

В ходе выполнения лабораторной работы было выполнено следующее техническое задание:

1.Разработана программа пирамидальной сортировки с последующим поиском методом Кнута-Морриса-Пратта, используя дек на базе связного списка. Также была оценена сложность обоих алгоритмов.

2. Создана программа на языке C++ для архитектуры x64 в среде Visual Studio Code 2022, реализующая указанные алгоритмы.

3. Проведены тесты для проверки корректности работы программы. Программа протестирована как в Windows, так и в Unix-подобных системах.