

*Департамент программной инженерии и  
искусственного интеллекта*

# **Построение трехмерной модели подводного трубопровода при помощи подводного автономного аппарата**



*Выполнил студент гр. Б9120-09.03.04прогин  
Фень Евгения Вадимовна*

*Руководитель: ассистент департамента ПИиИИ, Е.М. Логачев*



# АКТУАЛЬНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ

- Трубопроводы удобны в транспортировке добываемых ресурсов на большие расстояния
- Инспекции очень важны для предотвращения протечек
- Инспекции опасно выполнять людям
- Проще анализировать состояние трубопровода по трехмерной модели



## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Целью выпускной квалификационной работы является разработка моделей и методов программной системы по созданию трехмерной реконструкции подводного трубопровода при помощи съемки со стереокамеры, находящейся на АНПА.

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Анализ предметной области «Трехмерная реконструкция подводного трубопровода по стереопаре».
2. Разработка модели предметной области «Трехмерная реконструкция подводного трубопровода по стереопаре».
3. Разработка проекта программной системы для трехмерной реконструкции с использованием стереокамеры.
4. Разработка модулей программной системы для трехмерной реконструкции с использованием стереокамеры.



# ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования, являются программные системы, которые могут использовать компьютерное зрение для построения трехмерной модели статической сцены, содержащей объекты, по видеопотоку, который разбивается на изображения.

Предметом исследования, являются алгоритмы по детектированию объектов статистической сцены, а также алгоритмы позволяющие построить трехмерную модель объекта статистической сцены по ряду изображений.



# 1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ, РЕШЕНИЙ И ЗАДАЧ

## СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ

*Было рассмотрено:*

- 3 программных системы
- 10 методов касающихся трехмерной реконструкции

*В том числе:*

- 3 метода детектирования
- 3 метода реконструкции
- 4 метода частично решающие задачу реконструкции

### *Meshroom*

Достоинства:

открытый программный код

Недостатки:

трехмерная модель не точная

### *3DPEA*

Достоинства:

модель можно скачать

Недостатки:

нельзя получить код  
модель получается неточная.

### *TripoSR*

Достоинства:

высокая скорость выполнения

Недостатки:

код нельзя получить для  
личного использования



## 2. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОБЪЕКТЫ

В ряде алгоритмов по трехмерной реконструкции идет работа с отдельными точками изображения.

1. Стереокамера.
2. Стереοизображение.
3. Подводный трубопровод.

Точки на изображении имеют следующие признаки:

1. Координаты для каждой точки на изображении.
2. Информация о форме составляющего сцены.
3. Информация о яркости точки.

Точки трехмерной модели имеют следующие признаки:

1. Координаты для каждой точки.
2. Информация о форме модели.
3. Цвет.





## 2. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОЧКИ (2D, 3D) И ИЗОБРАЖЕНИЯ

2D точки на изображении характеризуются параметрами  $x$  и  $y$ , которые определяют ее положение на оси абсцисс и ординат. Прямоугольная система координат на изображении начинается с правого нижнего угла

$$I(x, y)$$

Где  $I$  – изображение, к которому принадлежит точка,  $(x, y)$  – координата данной точки.

3D точки на изображении характеризуются параметрами  $x$ ,  $y$  и  $z$ , которые определяют ее положение на оси абсцисс, ординат и аппликата. Трехмерная система координат определяется пересечением трех векторов  $x$ ,  $y$  и  $z$ .

С математической точки зрения, изображение можно представить как вещественную функцию  $img$  двух переменных  $x$  и  $y$ ,  $I(x, y)$ .

$$img = I(x, y) = \begin{bmatrix} I(0,0) & I(0,1) & \dots & I(0, W-1) \\ I(1,0) & I(1,1) & \dots & I(1, W-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ I(H-1,0) & I(H-1,1) & 0 & I(H-1, W-1) \end{bmatrix}$$



## 2. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ. КАРТА ГЛУБИНЫ

Значения глубины обратно пропорциональны величине смещения пикселей. Зависимость между диспаратетом и глубиной можно выразить следующим способом:

$$\frac{T - d}{Z - f} = \frac{T}{Z} \rightarrow Z = \frac{fT}{d}$$

Где  $d$  – это диспаратет,  $f$  – фокусное расстояние стереокамеры,  $T$  – истинное расстояние до объекта,  $Z$  – расстояние до объекта в пикселях или единицах измерения, используемых для глубины.





## 2. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ

### **МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ. СОЗДАНИЕ ОБЛАКА ТОЧЕК**

Для каждого пикселя на изображении глубины вычисляются 3D-координаты через преобразование:

$$Z = D(x, y)$$

Где  $D(x, y)$  – глубина в пикселях на позиции  $(x, y)$

$$X = \frac{(x - c_x) * Z}{f_x}, Y = \frac{(y - c_y) * Z}{f_y}$$

Где:

$(x, y)$  – координаты пикселя на изображении

$(c_x, c_y)$  – координаты центра изображения

$f_x, f_y$  - фокусное расстояние камеры по осям  $x$  и  $y$



## 2. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ

### МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ. ФИЛЬТРАЦИЯ ОБЛАКА ТОЧЕК

Для пикселя  $p$  и множества соседних пикселей  $N(p)$  фильтрация определяется следующим образом:

$$I(p) = \frac{\sum_{u \in N(p)} W_c(p, u) W_s(p, u) I(u)}{\sum_{u \in N(p)} W_c(p, u) W_s(p, u)}$$

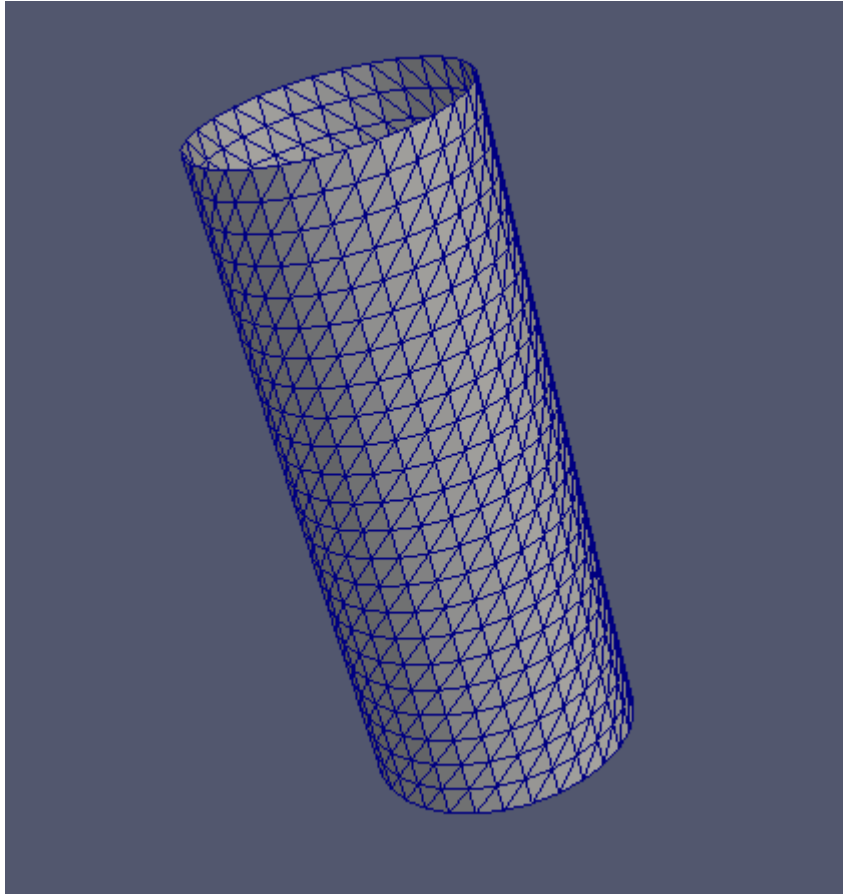
где  $W_c(p, u)$  – мера близости между пикселями  $p$  и  $u$ ,  $W_s(p, u)$  – мера схожести между пикселями  $p$  и  $u$ .

В случае облака точек:  $W_c(p, u)$  – расстояние между точками  $p$  и  $u$ ,



## 2. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ

### МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ. СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ

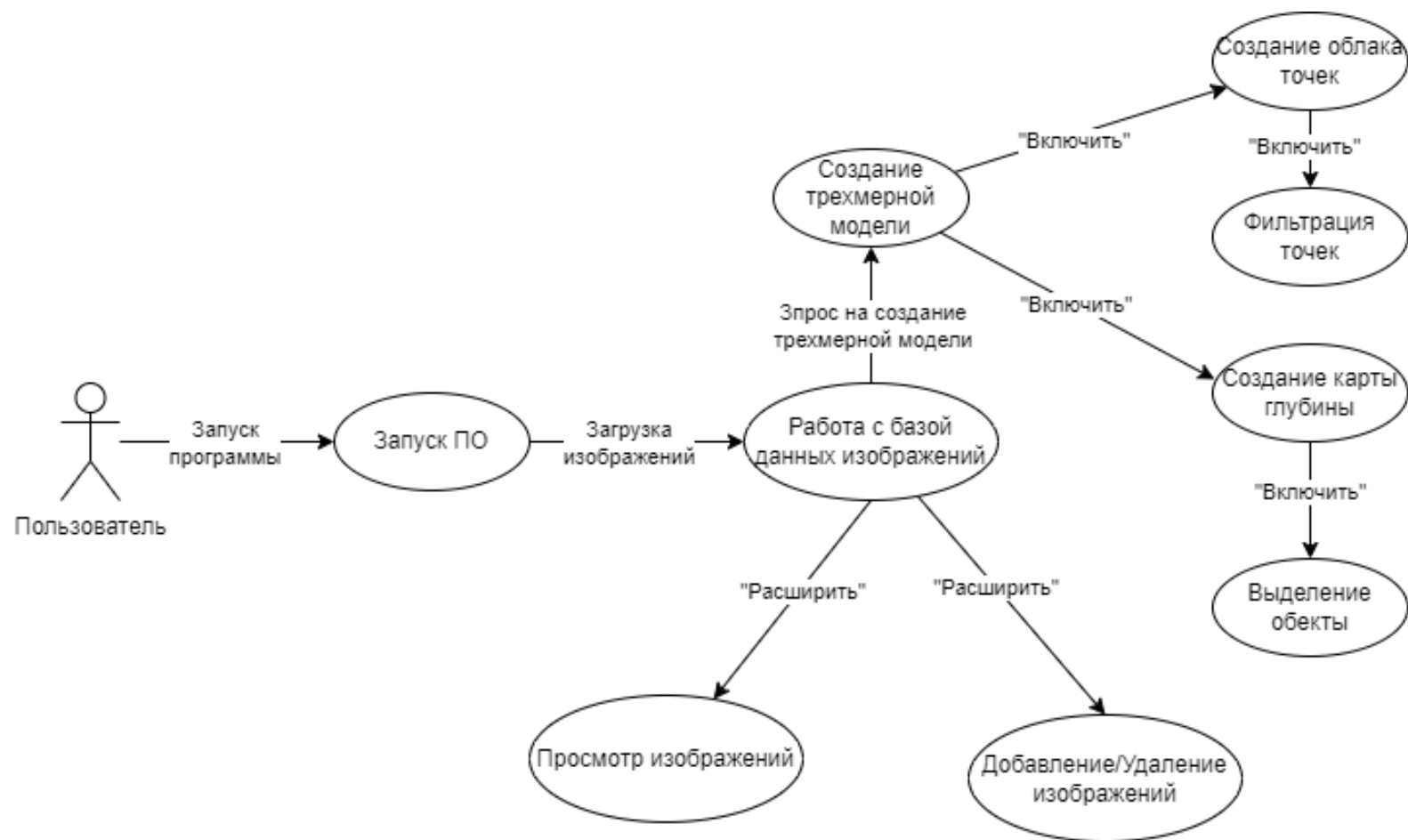


1. Разбить пространство на несколько частей с помощью рекурсивного подхода.
2. Для каждой части построить триангуляцию с использованием инкрементного подхода.
3. После добавления каждой точки проверить качество триангуляции и при необходимости перестроить её.
4. Объединить все триангуляции в одну большую триангуляцию.



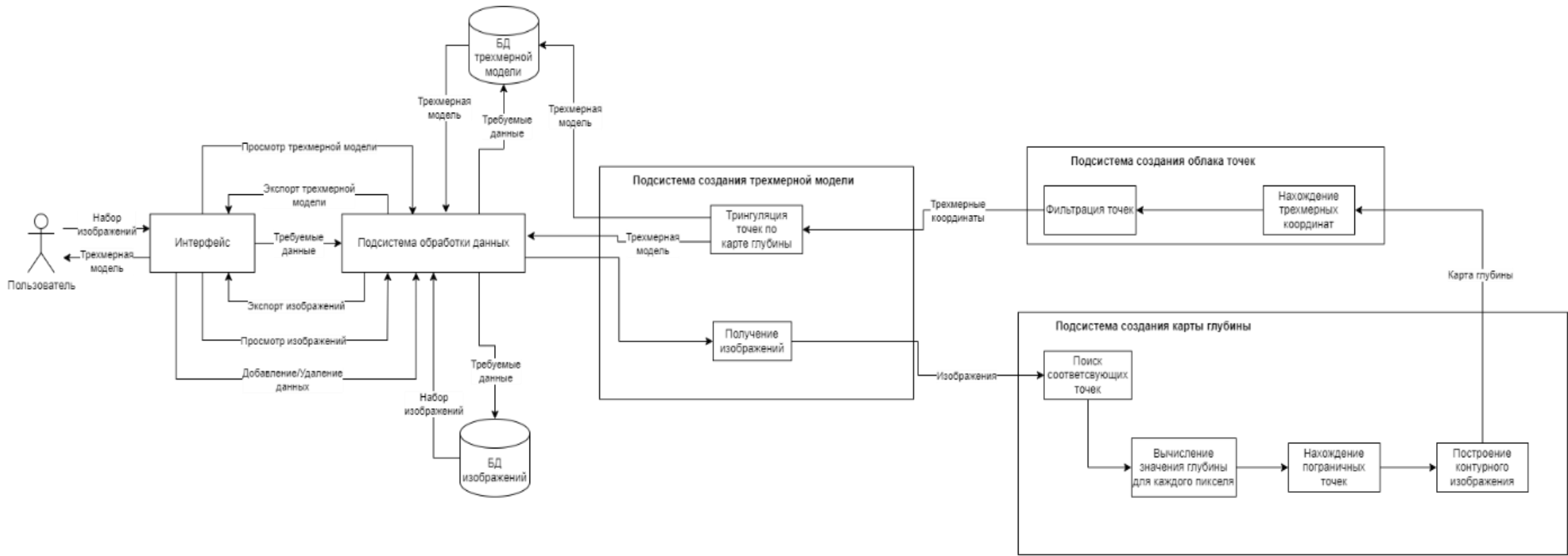
### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ

## ДИАГРАММА ВАРИАНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ



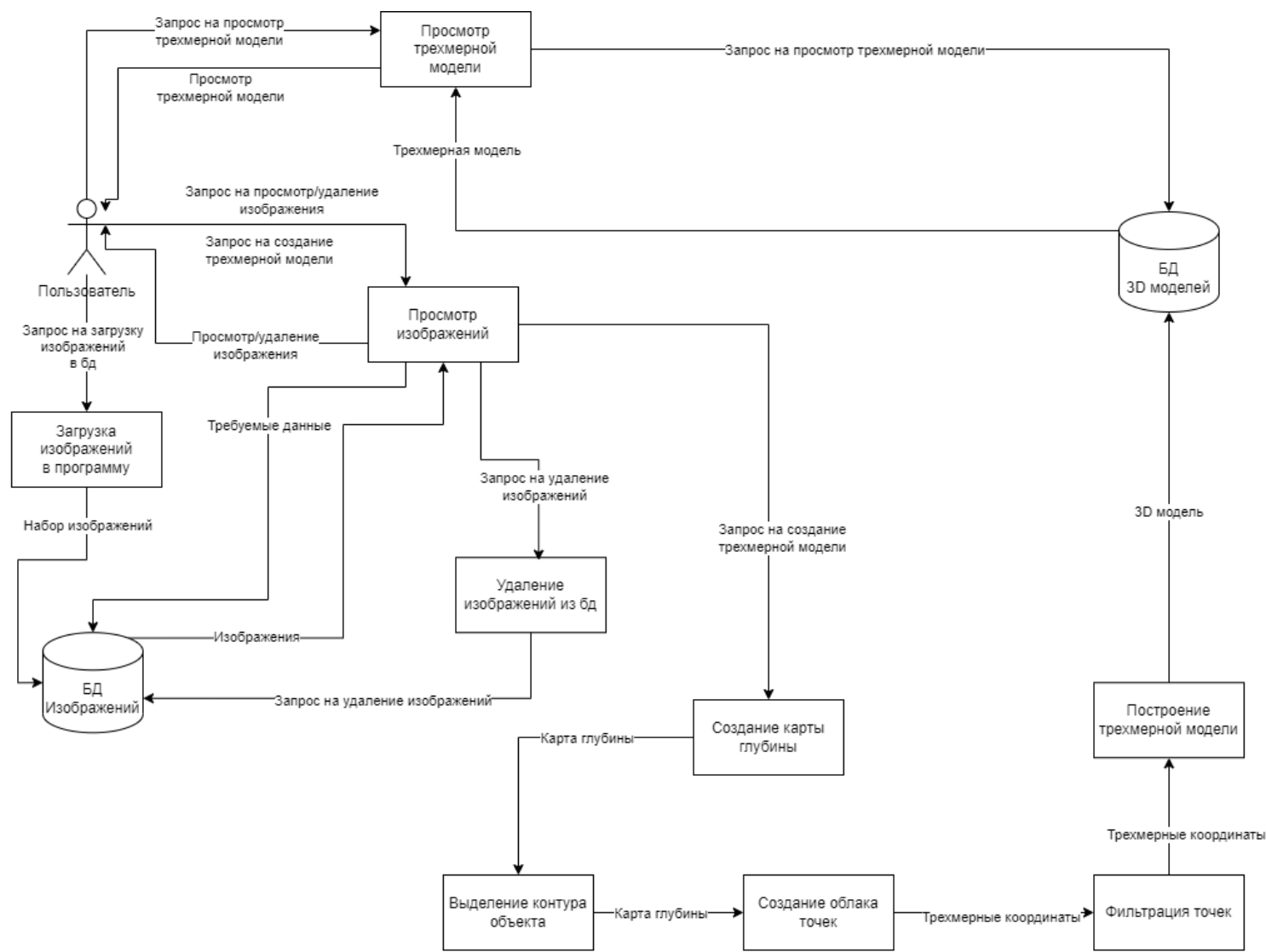
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ

**АРХИТЕКТУРНО-КОНТЕКСТНАЯ ДИАГРАММА 1-ГО УРОВНЯ**



### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ

# ДИАГРАММА ПОТОКОВ ДАННЫХ



#### 4. РЕАЛИЗАЦИЯ, ТЕСТИРОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЯ **СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ**

##### **Характеристики ноутбука**

Процессор Intel(R) Core(TM)  
i5-5200U  
ОЗУ 6,00 ГБ  
Видеокарта NVIDIA GeForce  
840M  
Тактовая частота 2.20 GHz

##### **Язык программирования**

Python – высокоуровневый язык  
программирования общего  
назначения с динамической  
строгой типизацией и  
автоматическим управлением  
памятью.

##### **Вспомогательные ПО**

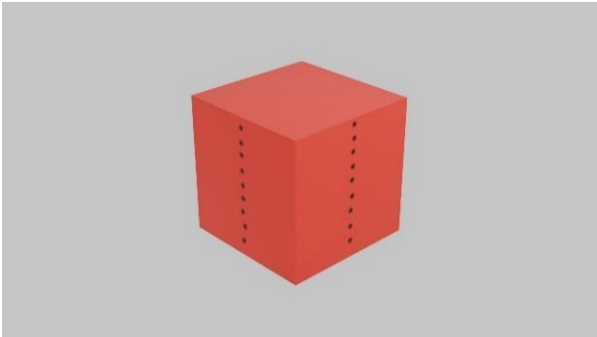
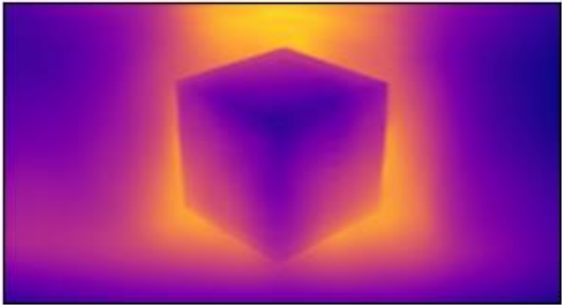
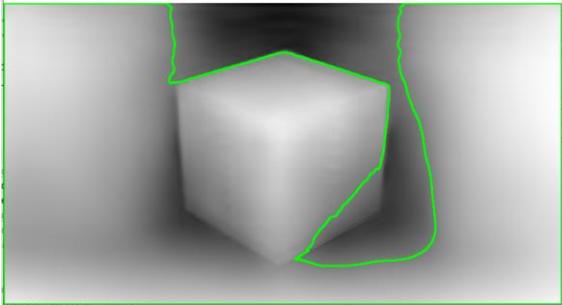
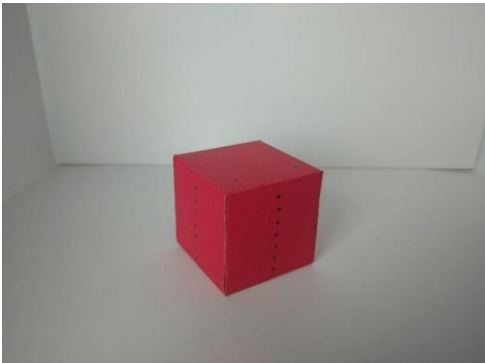
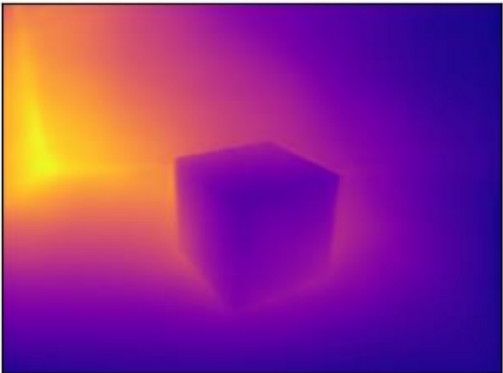
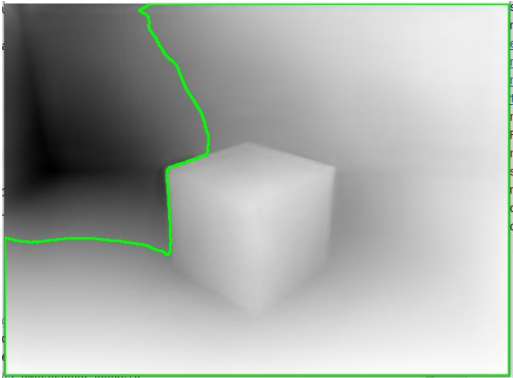
OpenCV – это библиотека  
с открытым исходным  
кодом для работы с  
алгоритмами  
компьютерного зрения,  
обработки изображений.  
Open3d – это библиотека  
для работы с 3D данными.  
Она позволяет создать  
облако точек, отфильтровать  
его, вывести визуально  
облако точек, а также можно  
создать модель объекта по  
облаку точек.





4. РЕАЛИЗАЦИЯ, ТЕСТИРОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЯ

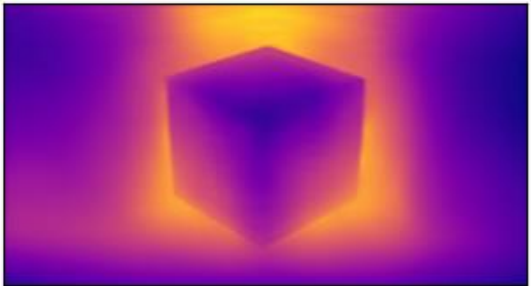
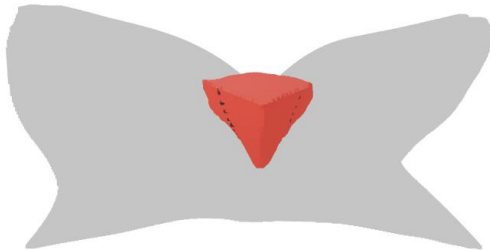
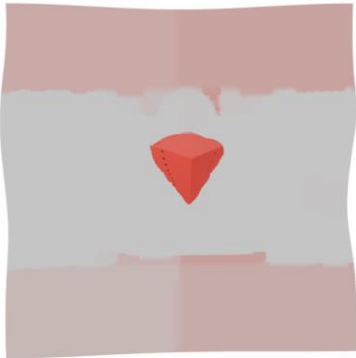
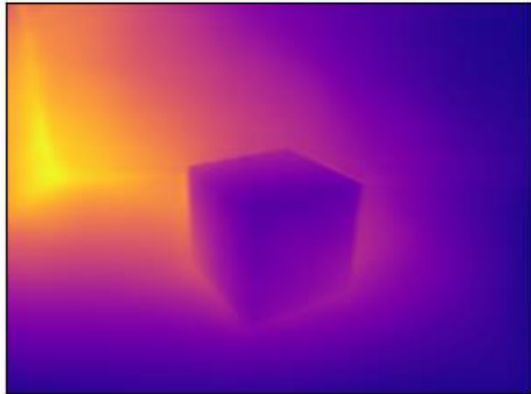
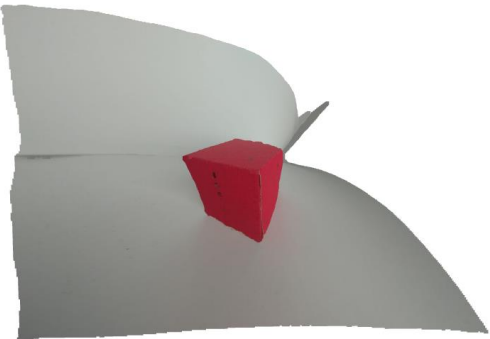
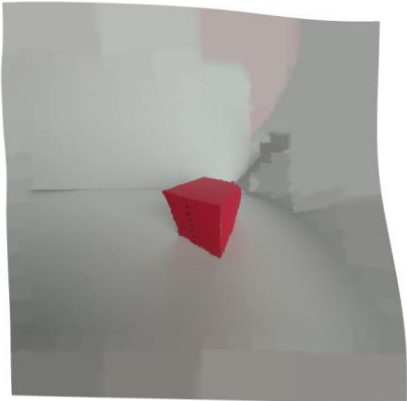
**ДЕМОНСТРАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭТАПОВ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ 3D РЕКОНСТРУКЦИИ**

	Изображение	Карта глубины	Выделение контура
Идеальные условия			
Стандартные условия			



4. РЕАЛИЗАЦИЯ, ТЕСТИРОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЯ

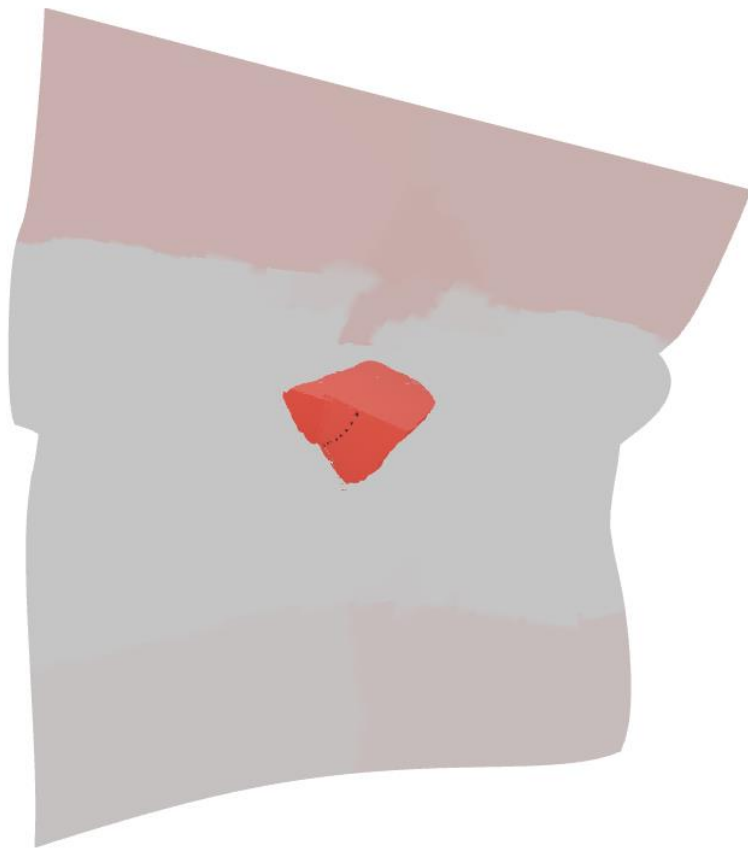
ПРИМЕР РАБОТЫ АЛГОРИТМА СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВАНИИ КАРТЫ ГЛУБИНЫ

	Карта глубины	Облако точек	Трехмерная модель
Идеальные условия			
Стандартные условия			

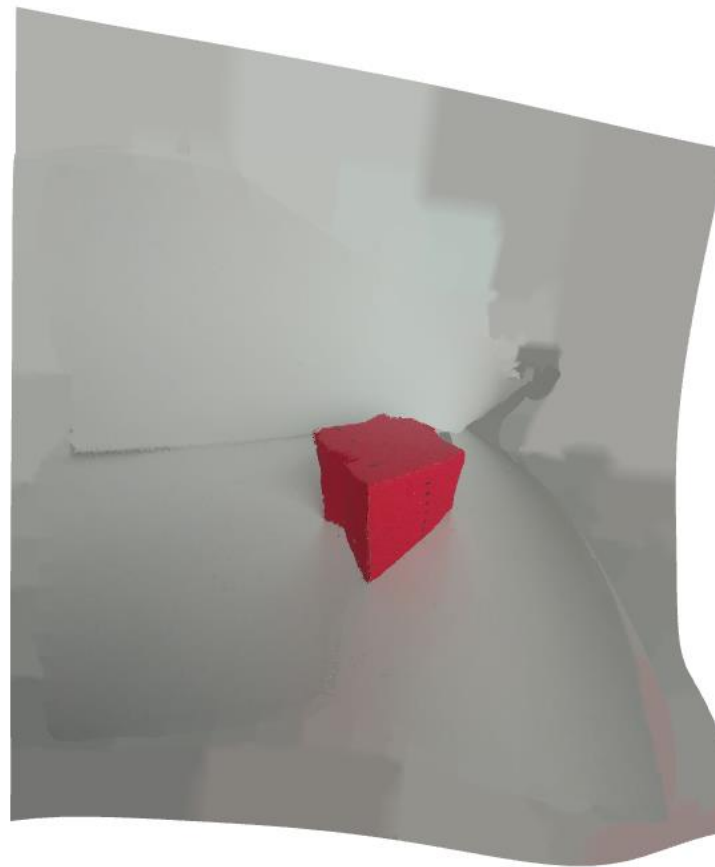


#### 4. РЕАЛИЗАЦИЯ, ТЕСТИРОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЯ

### ПРИМЕР РАБОТЫ АЛГОРИТМА СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ПО НЕСКОЛЬКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ



Идеальные условия



Стандартные условия



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная цель выпускной квалификационной работы разработка моделей и методов программной системы по трехмерной реконструкции по стереоизображениям была выполнена.

Также в ходе работы над выпускной квалификационной работой были выполнены следующие задачи:

1. Анализ предметной области «Трехмерная реконструкция подводного трубопровода по стереопаре»;
2. Разработка модели предметной области «Трехмерная реконструкция подводного трубопровода по стереопаре».
3. Разработка проекта программной системы для трехмерной реконструкции с использованием стереокамеры.
4. Разработка модулей программной системы для трехмерной реконструкции с использованием стереокамеры.





**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

