



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

---

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
КАФЕДРА ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭВМ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

## КУРСОВАЯ РАБОТА

*НА ТЕМУ:*

*Программа построения изображения  
реалистичного природного ландшафта*

Студент

ИУ7-52Б  
(группа)

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Тузов Д.А.  
(И.О. Фамилия)

Руководитель курсового проекта

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Никульшина Т.А.  
(И.О. Фамилия)

2024 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

(индекс)

Рудаков И.В.

(И.О. Фамилия)

(подпись)

(дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение курсовой работы**

по дисциплине Компьютерная графика

Студент группы ИУ7-52Б Тузов Даниил Александрович

(Фамилия, имя, отчество)

Тема курсовой работы Программа построения изображения реалистичного природного ландшафта

Направленность КР (учебная, исследовательская, практическая, производственная, др.)  
Учебная

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) НИР

***Задание***

Разработать программу для построения изображения реалистичного природного ландшафта на основе карты высот. Обеспечить возможность ввода карты высот тремя способами: чтение из файла, генерирование случайной карты, ручной ввод. Обеспечить возможность сохранения карты высот в файл. Размеры карты задаются пользователем. При нехватке данных для построения изображения, программа должна выполнять интерполяцию для получения дополнительных узлов. В программе должна быть возможность ввода координат точечного источника света и координат одной камеры. Обеспечить возможность изменения положения камеры.

***Оформление курсовой работы:***

2.1. Расчетно-пояснительная записка на 25-30 листах формата А4.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать постановку введение, аналитическую часть, конструкторскую часть, технологическую часть, экспериментально-исследовательский раздел, заключение, список литературы, приложения.

2.2. Перечень графического материала (плакаты, схемы, чертежи и т.п.). На защиту проекта должна быть представлена презентация, состоящая из 10-15 слайдов. На слайдах должны быть отражены: постановка задачи, использованные методы и алгоритмы, расчетные соотношения, структура комплекса программ, диаграмма классов, интерфейс, характеристики разработанного ПО, результаты проведенных исследований.

Дата выдачи задания « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Руководитель курсовой работы

(подпись, дата)

Никульшина Т.А.

(И.О. Фамилия)

Студент

(подпись, дата)

Тузов Д.А.

(И.О. Фамилия)

# СОДЕРЖАНИЕ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ . . . . .</b>                       | <b>5</b>  |
| <b>ВВЕДЕНИЕ . . . . .</b>                                       | <b>6</b>  |
| <b>1 Аналитическая часть . . . . .</b>                          | <b>7</b>  |
| 1.1 Алгоритмы построения изображения карты высот . . . . .      | 7         |
| 1.1.1 Алгоритм diamond-square . . . . .                         | 7         |
| 1.1.2 Шум Перлинга . . . . .                                    | 8         |
| 1.2 Алгоритмы удаления невидимых линий и поверхностей . . . . . | 10        |
| 1.2.1 Алгоритм Робертса . . . . .                               | 10        |
| 1.2.2 Алгоритм прямой трассировки лучей . . . . .               | 11        |
| 1.2.3 Алгоритм обратной трассировки лучей . . . . .             | 12        |
| 1.2.4 Алгоритм, использующий Z-буфер . . . . .                  | 13        |
| 1.2.5 Алгоритм Варнока . . . . .                                | 13        |
| 1.3 Выбор алгоритмов . . . . .                                  | 14        |
| 1.4 Вывод . . . . .   | 15        |
| <b>2 Конструкторская часть . . . . .</b>                        | <b>16</b> |
| 2.1 Требования к программному обеспечению . . . . .             | 16        |
| 2.2 Описание алгоритма diamond-square . . . . .                 | 16        |
| 2.3 Схема алгоритма с использованием Z-буфера . . . . .         | 18        |
| 2.4 Схема алгоритма интерполяции с помощью полинома Ньютона .   | 18        |
| 2.5 Аффинные преобразования . . . . .                           | 19        |
| 2.6 Вывод . . . . .   | 21        |
| <b>3 Технологическая часть . . . . .</b>                        | <b>22</b> |
| 3.1 Средства реализации . . . . .                               | 22        |
| 3.2 Реализация алгоритма diamond-square . . . . .               | 22        |
| 3.3 Реализация алгоритма с использованием Z-буфера . . . . .    | 23        |
| 3.4 Примеры работы программы . . . . .                          | 25        |
| 3.5 Вывод . . . . .   | 27        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>4</b> | <b>Исследовательская часть</b>          | <b>28</b> |
| 4.1      | Технические характеристики ЭВМ          | 28        |
| 4.2      | Результаты эксперимента                 | 28        |
| 4.3      | Вывод                                   | 29        |
|          | <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>                       | <b>30</b> |
|          | <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> | <b>30</b> |
|          | <b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b>                     | <b>33</b> |

# ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В представленной расчетно-пояснительной записке используются следующие сокращения и обозначения:

ПО — программное обеспечение.

ООП — объектно-ориентированное программирование.

ЯП — язык программирования.

ЭВМ — электронно-вычислительная машина.

# ВВЕДЕНИЕ

Компьютерная графика — это система методов, алгоритмов, программных и аппаратных средств для ввода, обработки и отображения графической информации, а также для преобразования данных в графическую форму.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для построения изображения реалистичного природного ландшафта. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ методов построения изображения карты высот;
- провести анализ существующих алгоритмов построения изображения трехмерных объектов;
- выбрать наиболее подходящие алгоритмы;
- спроектировать архитектуру ПО;
- выбрать средства реализации ПО;
- реализовать ПО для построения изображения реалистичного природного ландшафта;
- провести исследование зависимости времени построения изображения природного ландшафта от размера карты высот.

# 1 Аналитическая часть

В этой части проводится анализ существующих алгоритмов генерации карты высот и построения изображений трехмерных объектов.

## 1.1 Алгоритмы построения изображения карты высот

Стохастический фрактал — это фрактал, при построении которого случайным образом изменяются какие-либо параметры. Простым примером стохастического фрактала может служить траектория броуновского движения. На основе стохастических фракталов и строятся карты высот [3]. Рассмотрим некоторые известные алгоритмы.

### 1.1.1 Алгоритм diamond-square

Алгоритм diamond-square начинает работу с двумерного массива размера  $2^n + 1$ . В четырёх угловых точках массива устанавливаются начальные значения высот. Шаги diamond и square выполняются поочередно до тех пор, пока все значения массива не будут установлены. [4]

**Шаг diamond.** Для каждого квадрата в массиве, устанавливается срединная точка, которой присваивается среднее арифметическое из четырёх угловых точек плюс случайное значение. [4]

**Шаг square.** Берутся средние точки граней тех же квадратов, в которые устанавливается среднее значение от четырёх соседних с ними по осям точек плюс случайное значение. [4]

Пример шагов diamond и square представлен на рисунке 1.1.

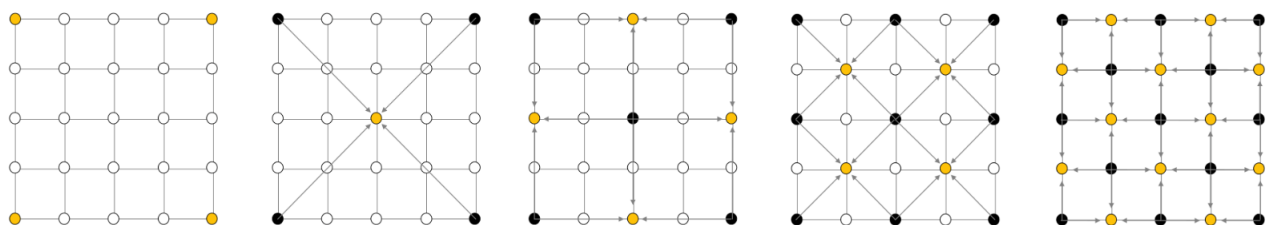


Рисунок 1.1 — Шаги diamond и square в алгоритме diamond-square

### 1.1.2 Шум Перлинга

Шум Перлина — это градиентный шум, состоящий из набора псевдослучайных единичных векторов (направлений градиента), расположенных в определенных точках пространства и интерполированных функцией сглаживания между этими точками. Реализация обычно включает три этапа: определение сетки случайных векторов градиента (рисунок 1.2), вычисление скалярного произведения векторов градиента и их смещений (рисунок 1.3) и интерполяция между этими значениями (рисунок 1.4). Алгоритм шума Перлина можно масштабировать в одномерном, двухмерном и трёхмерном виде. Более того, в алгоритм можно ввести четвертое временное измерение, позволяя алгоритму динамически изменять текстуры во времени. [4]

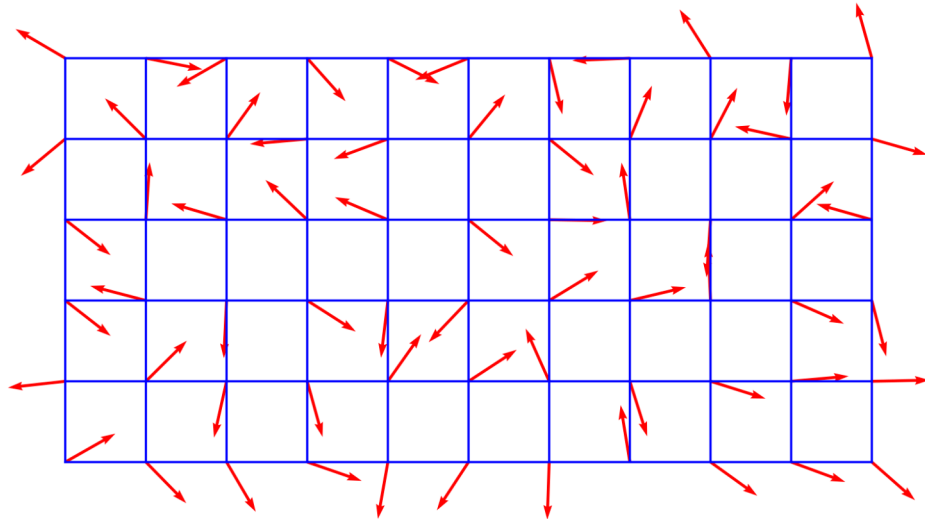


Рисунок 1.2 — Результат построения сетки случайных векторов



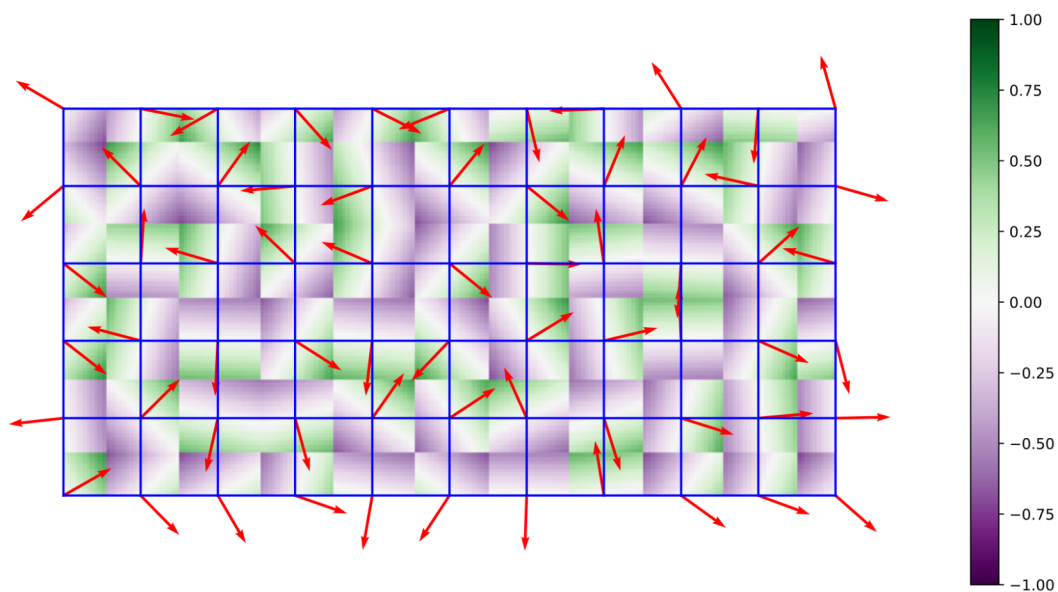


Рисунок 1.3 — Результат вычисления скалярного произведения вектора градиента и вектора смещения

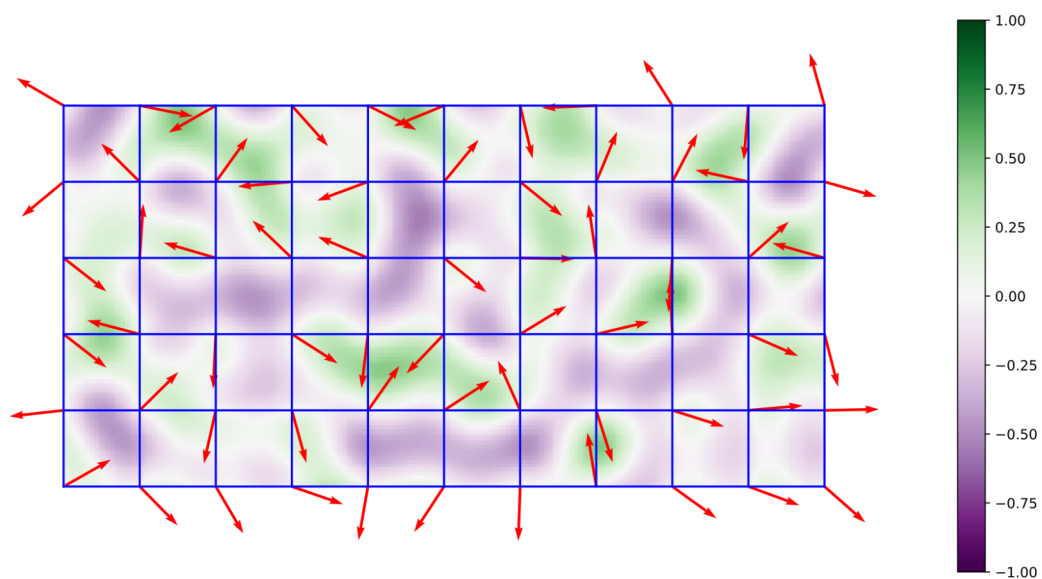


Рисунок 1.4 — Результат интерполяции

## 1.2 Алгоритмы удаления невидимых линий и поверхностей

Основной задачей при построения изображения трехмерного объекта является удаления невидимых объектов или частей объектов. Невидимыми считаются те объекты или части объектов, которые перекрываются другими объектами. Выделяется две группы алгоритмов решающих поставленную задачу [1]:

- Алгоритмы, работающие в объектном пространстве. Данные алгоритмы имеют привязку к мировой или физической системе координат [1].
- Алгоритмы, работающие в пространстве изображения. Данные алгоритмы предполагают привязку к системе координат экрана или картинной плоскости, на которую производится проецирование изображаемых объектов [1].

### 1.2.1 Алгоритм Робертса

Алгоритм работает в объектном пространстве, решая задачу только с выпуклыми телами. Выполняется в 3 этапа [1].

**Первый этап** — подготовка исходной матрицы  $V$ , которая задает информацию о каждой фигуре. Размерность матрицы —  $4 * n$ , где  $n$  — количество граней тела. Каждый столбец матрицы представляет собой четыре коэффициента уравнения плоскости  $ax + by + cz + d = 0$ , проходящей через очередную грань. Таким образом, матрица тела будет представлена в следующем виде:

$$V = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ b_1 & b_2 & \dots & b_n \\ c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ d_1 & d_2 & \dots & d_n \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Матрица тела должна быть сформирована корректно, то есть любая точка, расположенная внутри тела, должна располагаться по положительную сторону от каждой грани тела. В случае, если для очередной грани условие не выполняется, соответствующий столбец матрицы надо умножить на  $-1$ . Для проведения проверки следует взять точку, расположенную внутри тела. Координаты такой точки можно получить путем усреднения координат всех вершин тела.

**Второй этап** — удаления ребер, экранируемых самим телом, где рассмат-

ривается вектор взгляда  $E = \{0, 0, -1, 0\}$ . Для определения невидимых граней достаточно умножить вектор  $E$  на матрицу тела  $V$ . Отрицательные компоненты полученного вектора будут соответствовать невидимым граням.

**Третий этап** — удаление невидимых ребер, экранируемых другими телами сцены. Для определения невидимых точек ребра требуется построить луч, соединяющий точку наблюдения с точкой на ребре. Точка будет невидимой, если луч на своем пути встречает в качестве преграды рассматриваемое тело. Если тело является преградой, то луч должен пройти через тело. Если луч проходит через тело, то он находится по положительную сторону от каждой грани тела.

В данном алгоритме главным недостатком является его вычислительная трудоемкость равная  $O(n^2)$ , где  $n$  — количество объектов на сцене [1]. Также все тела на сцене должны быть выпуклыми, что приводит к дополнительным проверкам. Однако, работа в объектном пространстве и высокая сложность вычислений обеспечивает высокую точность результата.

### 1.2.2 Алгоритм прямой трассировки лучей

В методе прямой трассировки предполагает построения траекторий лучей от всех источников света ко всем точкам всех объектов сцены, отражаются и преломляются или проходят сквозь него и в результате достигает наблюдателя. Такие лучи называются первичными. Если объект не является отражающим или прозрачным, то траектория луча на этой точке обрывается [8].

Схема прямой трассировки лучей представлена на рисунке 1.5.

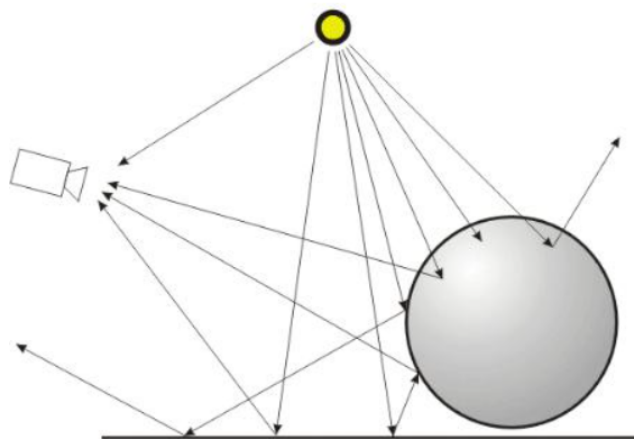


Рисунок 1.5 — Схема расположения наблюдателя и трехмерной сцены для метода прямой трассировки лучей

Основным недостатком алгоритма является излишне большое число рассматриваемых лучей, приводящее к существенным затратам вычислительных мощностей, так как лишь малая часть лучей достигает точки наблюдения [5].

### 1.2.3 Алгоритм обратной трассировки лучей

Отслеживать пути лучей от источника к наблюдателю неэффективно с точки зрения вычислений, поэтому наилучшим способом будет отслеживание путей в обратном направлении, то есть от наблюдателя к объекту. Лучи испускаются из камеры, пронизывая каждый пиксель сцены. После этого определяют пересечение первичного луча с объектами сцены. Если оно было установлено, вычисляют интенсивность пикселя, учитывая положения источников света [9].

Считается, что наблюдатель расположен на положительной полуоси  $z$  в бесконечности, поэтому все световые лучи параллельны оси  $z$ . В ходе работы испускаются лучи от наблюдателя и ищутся пересечения луча и всех объектов сцены. В результате пересечение с максимальным значением  $z$  является видимой частью поверхности и атрибуты данного объекта используются для определения характеристик пикселя, через центр которого проходит данный световой луч. Для расчета эффектов освещения сцены проводятся вторичные лучи от точек пересечения ко всем источникам света. Если на пути этих лучей встречается непрозрачное тело, значит, данная точка находится в тени [1].

Схема обратной трассировки лучей представлена на рисунке 1.6.

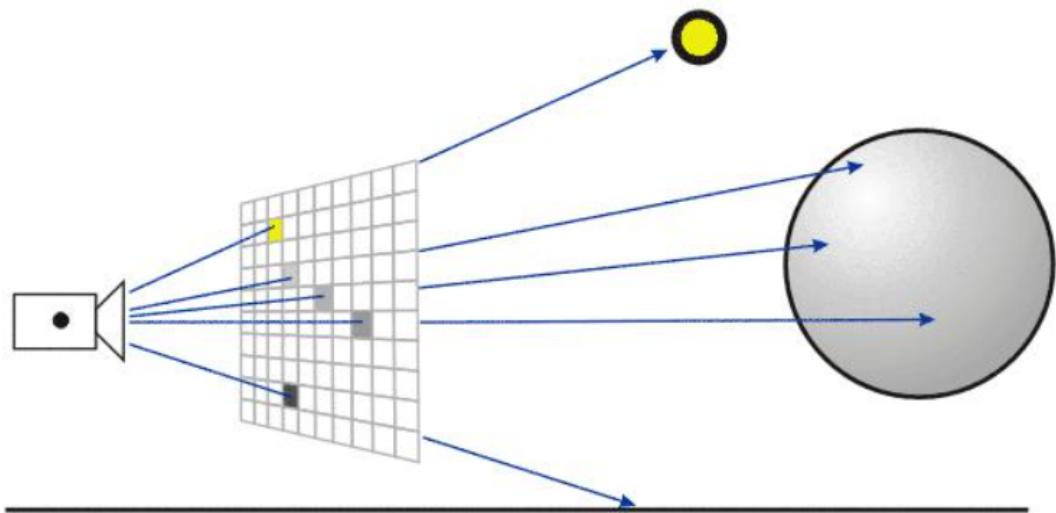


Рисунок 1.6 — Схема расположения наблюдателя и трехмерной сцены для метода обратной трассировки лучей

Несмотря на более высокую эффективность алгоритма в сравнении с прямой трассировкой лучей, данный алгоритм считается достаточно медленным, так как в нем происходит точный расчет сложных аналитических выражений для нахождения пересечения с рассматриваемыми объектами [9].

#### **1.2.4 Алгоритм, использующий Z-буфер**

Алгоритм, использующий z-буфер, является одним из самых простых и широко используемых и работает в пространстве изображения. Идея z-буфера является простым обобщением идеи о буфере кадра [1]. Используется два буфера:

- буфер кадра, который используется для запоминания атрибутов (интенсивности) каждого пикселя;
- z-буфер — отдельный буфер глубины, используемый для запоминания координаты  $z$  каждого пикселя.

Первоначально в z-буфере находятся минимально возможные значения  $z$ , а в буфере кадра располагаются пиксели, описывающие цвет фона. В процессе работы глубина  $z$  каждого нового пикселя, который нужно занести в буфер кадра, сравнивается с глубиной того пикселя, который уже занесен в z-буфер. Если новый пиксель расположен ближе к наблюдателю, чем предыдущий, то он заносится в буфер кадра и происходит корректировка z-буфера. В противном случае никаких действий не производится [7].

Основным преимуществом алгоритма является то, что трудоемкость алгоритма увеличивается линейно в зависимости от количества объектов на сцене. Также нет необходимости в сортировке объектов [6].

Основным недостатком является то, что алгоритм требователен к памяти из-за необходимости хранить два буфера. Реализация эффектов прозрачности и устранения лестничного эффекта осложнена [6].

#### **1.2.5 Алгоритм Варнока**

Алгоритм Варнока работает в пространстве изображения и позволяет определить, какие грани или части граней объектов сцены видимы, а какие заслонены другими объектами. Алгоритм предлагает разбиение области изображения на более мелкие окна, и для каждого такого окна определяются связанные

с ней многоугольники и те, видимость которых можно определить, изображаются на сцене [2].

В качестве граней обычно выступают выпуклые многоугольники, алгоритмы работы с ними эффективнее, чем с произвольными многоугольниками. Окно, в котором необходимо отобразить сцену, должно быть прямоугольным. Алгоритм работает рекурсивно, что является его главным недостатком, на каждом шаге анализируется видимость граней и, если нельзя «легко» определить видимость, окно делится на 4 части и анализ повторяется отдельно для каждой из частей [1].

Пример работы алгоритма представлен на рисунке 1.7.

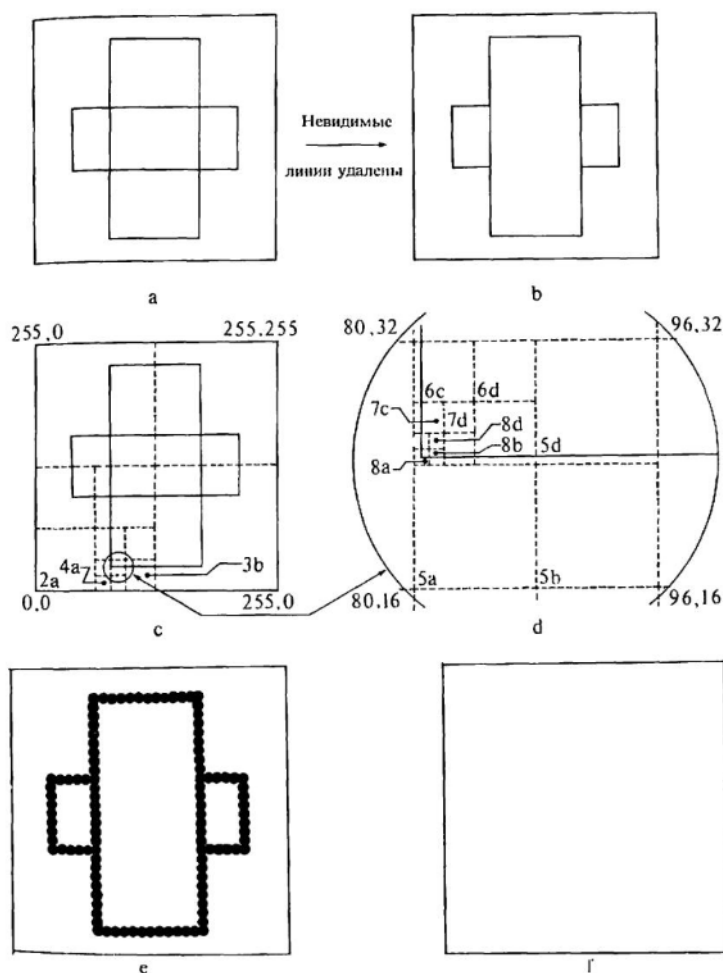


Рисунок 1.7 — Алгоритм разбиения Варнока

### 1.3 Выбор алгоритмов

Для построения карты высот был выбран алгоритм diamond-square, так как его трудоемкость квадратично зависит от размеров карты [3].

В реализации программного обеспечения необходимо обеспечить возможность быстрого и плавного перемещения камеры, поэтому алгоритм должен иметь минимальную зависимость трудоемкости от количества объектов на сцене. Так как ограничений по объему памяти нет, то наиболее подходящим алгоритмом является алгоритм с использованием Z-буфера. Сравнение алгоритмов удаления невидимых линий и поверхностей приведено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 — Сравнение алгоритмов удаления невидимых линий и поверхностей

| Критерий                      | Временные затраты | Ресурсные затраты | Тип обрабатываемых многогранников | Точность |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|----------|
| Алгоритм Робертса             | Высокие           | Высокие           | Выпуклые                          | Точный   |
| Алгоритм прямой трассировки   | Высокие           | Низкие            | Произвольные                      | Точный   |
| Алгоритм обратной трассировки | Высокие           | Низкие            | Произвольные                      | Точный   |
| Алгоритм Варнока              | Высокие           | Высокие           | Выпуклые                          | Неточный |
| Алгоритм с Z-буфером          | Низкие            | Высокие           | Произвольные                      | Неточный |

## 1.4 Вывод

В этом разделе были рассмотрены алгоритмы построения изображения карты высот и построения изображения трехмерных объектов. Также были обоснованно выбраны алгоритмы для дальнейшего проектирования архитектуры ПО.

## 2 Конструкторская часть

В этой части представлены требования к ПО, а также описания алгоритмов.

### 2.1 Требования к программному обеспечению

Программа должна предоставлять пользователю следующие возможности:

- генерация случайной карты высот;
- чтение карты высот из файла;
- сохранение карты высот в файл;
- построение ландшафта по карте высот;
- задание положения источника света;
- перемещение камеры.

### 2.2 Описание алгоритма diamond-square

На вход алгоритму подается два числа  $N$  и  $M$  — высота и ширина карты высот. На выходе ожидается — матрица высот размером  $N \times M$ .

На рисунках 2.1–2.2 представлена схема алгоритма diamond-square и рекурсивной функции *build*, реализующей данный алгоритм.

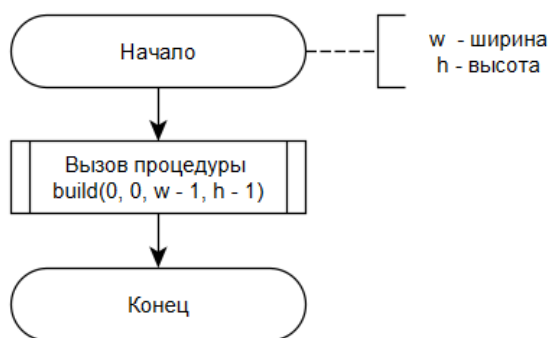


Рисунок 2.1 — Схема алгоритма diamond-square



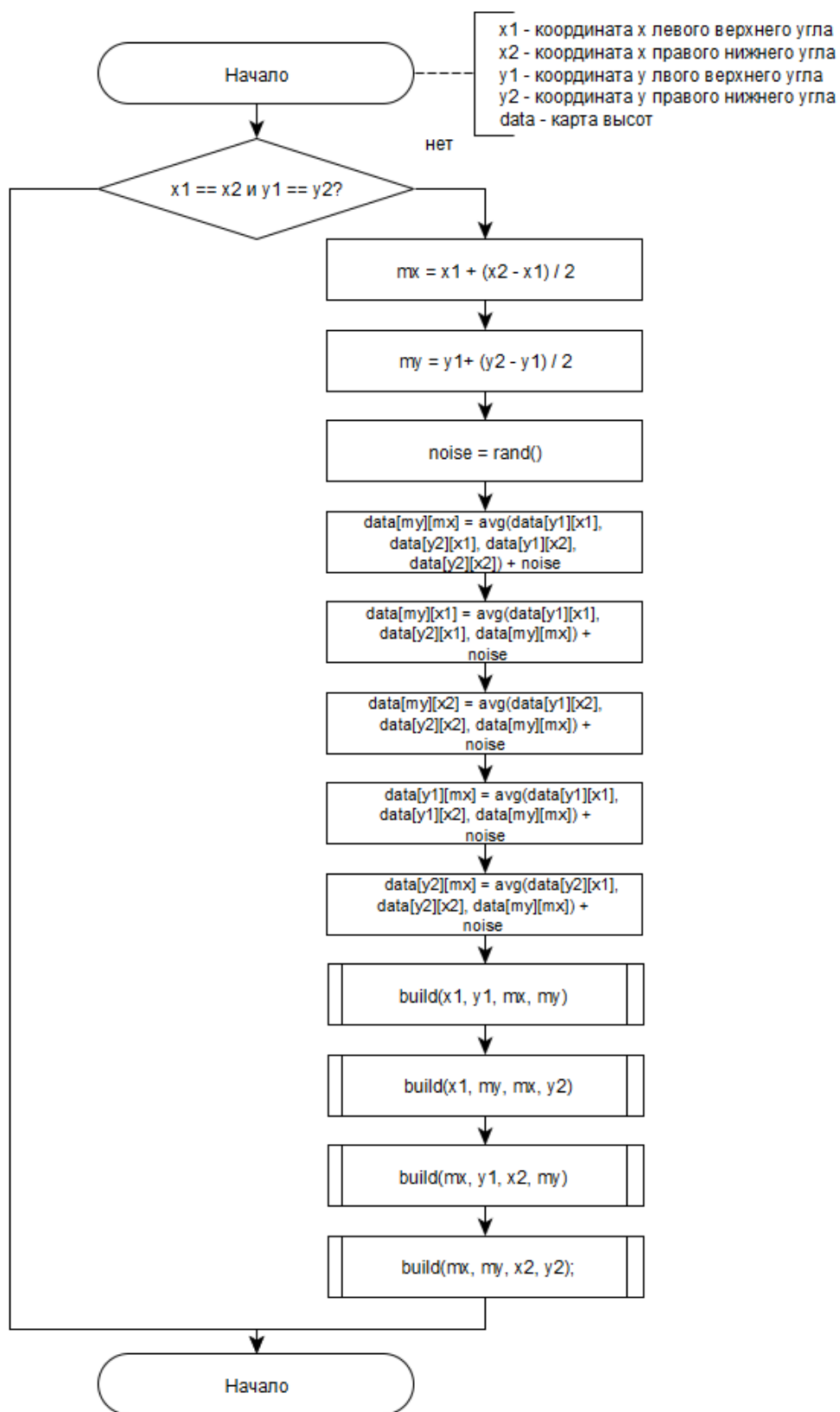


Рисунок 2.2 — Схема рекурсивной функции build

## 2.3 Схема алгоритма с использованием Z-буфера

На вход алгоритму подается полигон, который необходимо отрисовать.  
На выходе — буфер кадра.

На рисунке 2.3 представлена схема алгоритма с использованием Z-буфера.

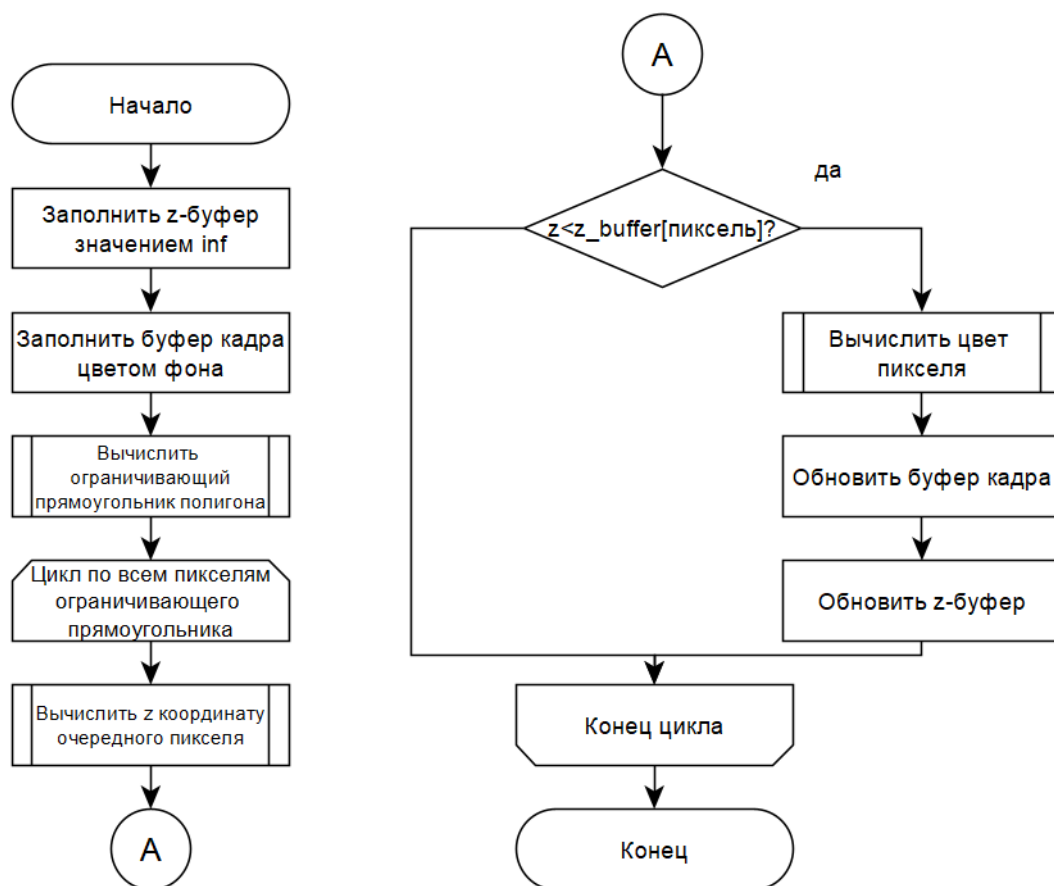


Рисунок 2.3 — Схема алгоритма с использованием Z-буфера

## 2.4 Схема алгоритма интерполяции с помощью полинома Ньютона

На вход алгоритму подается степень полинома Ньютона, массив аргументов интерполируемой функции, массив принимаемых значений и значение аргумента, для которого необходимо найти значение функции. На выходе число – значение функции в заданной точке.

На рисунке 2.4 представлена схема алгоритма интерполяции с помощью полинома Ньютона.

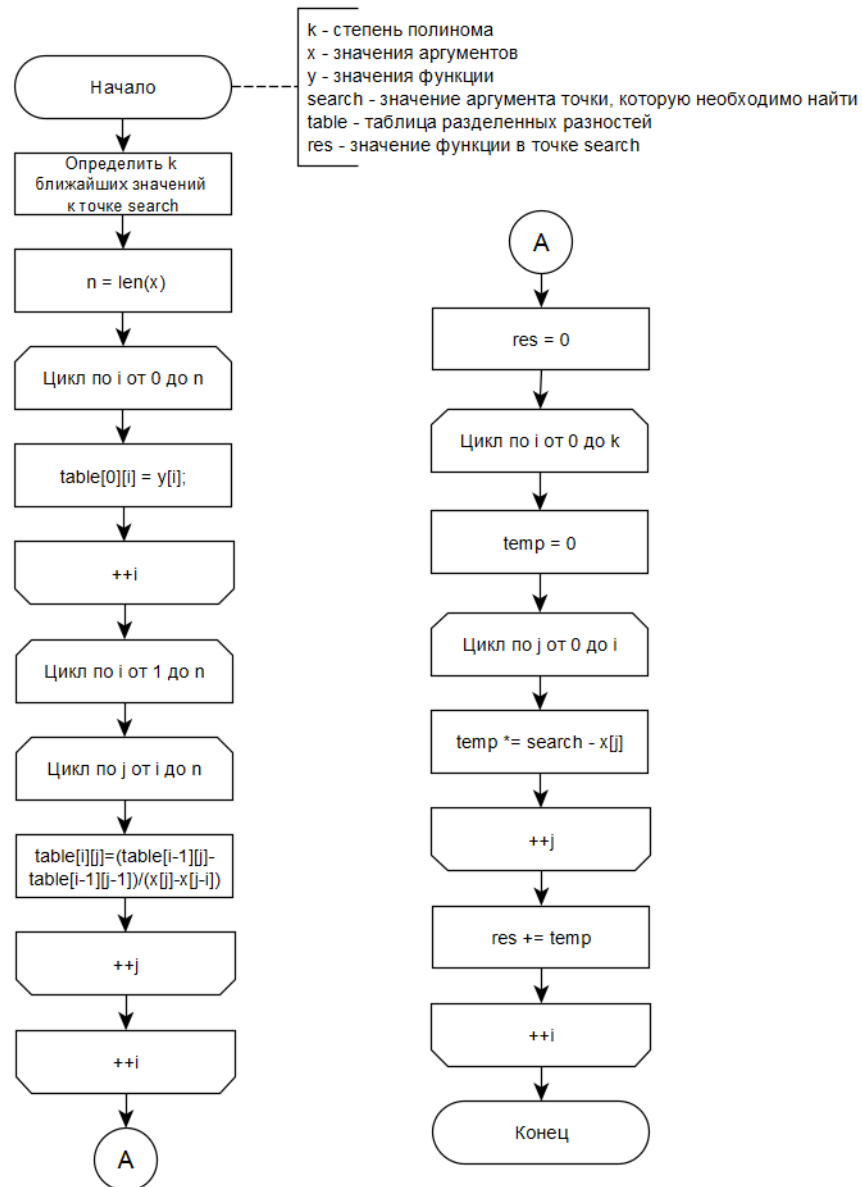


Рисунок 2.4 — Схема алгоритма интерполяции с помощью полинома Ньютона

## 2.5 Аффинные преобразования

Поскольку объекты в программе можно перемешать, следует описать матрицы аффинных преобразований:

— матрица поворота вокруг оси OX на угол  $\alpha$ :

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

— матрица поворота вокруг оси  $OY$  на угол  $alpha$ :

$$\begin{pmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

— матрица поворота вокруг оси  $OZ$  на угол  $alpha$ :

$$\begin{pmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

— матрица переноса на  $dx, dy, dz$  относительно осей  $OX, OY, OZ$  соответственно:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ dx & dy & dz & 1 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

— матрица масштабирования вдоль осей  $OX, OY, OZ$  с коэффициентами  $kx, ky, kz$  соответственно:

$$\begin{pmatrix} kx & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ky & 0 & 0 \\ 0 & 0 & kz & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

— матрица нахождения центральной перспективы с камерой, находящейся на  $OZ$  на расстоянии  $C$  от начала координат

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{C} & 1 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

## **2.6 Вывод**

В этой части было спроектировано программное обеспечение: описаны требования и представлены схемы базовых алгоритмов.

### 3 Технологическая часть

В этой части обоснован выбор средств реализации программного обеспечения, представлены коды написанных алгоритмов и примеры работы программы.

#### 3.1 Средства реализации

Для реализации алгоритмов был выбран язык C++ [12]. Выбор обусловлен следующим образом:

- язык поддерживает ООП парадигму;
- в языке присутствует поддержка всех структур данных, выбранным по результатам проектирования;
- средствами языка можно реализовать все алгоритмы, выбранные в результате проектирования;
- поддерживает графические библиотеки, например, Qt [11].

#### 3.2 Реализация алгоритма diamond-square

В листинге 3.1 приведен код функции *build*, реализующей генерацию карты высот согласно алгоритму diamond-square. В качестве аргументов передаются координаты левого верхнего и правого нижнего углов прямоугольника, в пределах которого генерируется карта высот *\_data*. Функция *getMiddleValue()* вычисляет среднее арифметическое переданных параметров, а функция *fixValue()* корректирует значения карты высот в пределах от  $-100$  до  $100$ .

Листинг 3.1 — Реализация функции *build*

```
void build(int x1, int y1, int x2, int y2)
{
    if (x2 - x1 <= 1 && y2 - y1 <= 1) return ;
    int mx = x1 + (x2 - x1) / 2, my = y1 + (y2 - y1) / 2;
    int noise = getRandValue() * (log2(x2 - x1) / log2(_width) * _alpha);
    if (_data[my][mx] == MAX_DEPTH - 1) {
        _data[my][mx] = getMiddleVal({_data[y1][x1], _data[y2][x1], _data[y1]
            ][x2], _data[y2][x2]});
        _data[my][mx] = fixValue(_data[my][mx] + noise);
    }
    if (_data[my][x1] == MAX_DEPTH - 1) {
        _data[my][x1] = getMiddleVal({_data[y1][x1], _data[y2][x1], _data[my]
            ][mx]});
    }
}
```

```

        _data[my][x1] = fixValue(_data[my][x1] + noise);
    }
    if (_data[my][x2] == MAX_DEPTH - 1) {
        _data[my][x2] = getMiddleVal({_data[y1][x2], _data[y2][x2], _data[my]
            [mx]});
        _data[my][x2] = fixValue(_data[my][x2] + noise);
    }
    if (_data[y1][mx] == MAX_DEPTH - 1) {
        _data[y1][mx] = getMiddleVal({_data[y1][x1], _data[y1][x2], _data[my]
            [mx]});
        _data[y1][mx] = fixValue(_data[y1][mx] + noise);
    }
    if (_data[y2][mx] == MAX_DEPTH - 1) {
        _data[y2][mx] = getMiddleVal({_data[y2][x1], _data[y2][x2], _data[my]
            [mx]});
        _data[y2][mx] = fixValue(_data[y2][mx] + noise);
    }
    build(x1, y1, mx, my);
    build(x1, my, mx, y2);
    build(mx, y1, x2, my);
    build(mx, my, x2, y2);
}

```

### 3.3 Реализация алгоритма с использованием Z-буфера

В листинге 3.2 приведен код функции *renderImage()*, которая реализует алгоритм с использованием Z-буфера.

#### Листинг 3.2 — Реализация функции renderImage

```

QVector<QVector<QColor>> renderImage(SurfaceModel &model, Light &light) {
    resetBuffers();
    auto projectedVertices = calcProj(model._points);
    for (int i = 0; i < model._faces.size(); ++i) {
        auto &triangle = model._faces[i];
        auto color = model._colors[i];
        renderTriangle(projectedVertices, model._points, triangle, color,
            light);
    }
    return _image_buffer;
}

```

Функция *resetBuffers()* сбрасывает z-буфер и буфер кадра. Далее с помощью функции *renderTriangle()* строится изображение очередной грани *triangle*. В листинге 3.3 приведен код функции *renderTriangle()*.

### Листинг 3.3 — Реализация функции renderTriangle

```
void renderTriangle(QVector<QPointF> &projs, QVector<QVector3D> &points,
    QVector<int> &face, QColor &color, Light &light) {
    QPointF p0=projs[face[0]], p1=projs[face[1]], p2=projs[face[2]];
    double z0=points[face[0]].z(),z1=points[face[1]].z(),z2=points[face[2]].
        z();
    QVector3D v0=points[face[0]], v1=points[face[1]], v2=points[face[2]];
    int minX = std::max(0,int(floor(min({p0.x(),p1.x(),p2.x()}))));
    int maxX = std::min(_width-1,int(ceil(max({p0.x(),p1.x(),p2.x()}))));
    int minY = std::max(0,int(floor(min({p0.y(),p1.y(),p2.y()}))));
    int maxY = std::min(_height-1,int(ceil(max({p0.y(),p1.y(),p2.y()}))));
    for (int y = minY; y <= maxY; ++y) {
        for (int x = minX; x <= maxX; ++x) {
            QPointF point(x, y);
            QVector3D baric = calcBaric(point, p0, p1, p2);
            if (baric.x() < 0 || baric.y() < 0 || baric.z() < 0) continue;
            double z = baric.x() * z0 + baric.y() * z1 + baric.z() * z2;
            QVector3D normal = calcNormal(points, face);
            QVector3D worldPoint = baric.x()*v0+baric.y()*v1+baric.z()*v2;
            QColor pix_color = calcShadow(normal, light, worldPoint, color);
            if (z < _z_buffer[y][x]) {
                _z_buffer[y][x] = z;
                _image_buffer[y][x] = pix_color;
            }
        }
    }
}
```

В реализации сперва находится ограничивающий прямоугольник для очередной грани, затем последовательно отрисовывается каждый пиксель. Функция *calcBaric()* выполняет перевод в барицентрические координаты. Функция *calcNormal()* считает нормаль к обрабатываемой грани. Функция *calcShadow()* вычисляет интенсивность обрабатываемого пикселя. Код функции *calcShadow()* приведен в листинге 3.4.

### Листинг 3.4 — Реализация функции calcShadow

```
QColor calcShadow(QVector3D &normal, Light &light, QVector3D &point, QColor
    &color) {
    QVector3D lightDir = (light.getPos() - point);
    lightDir.normalize();
    double i = QVector3D::dotProduct(lightDir, normal);
    return QColor(color.red()*i, color.green()*i, color.blue()*i);
}
```



### 3.4 Примеры работы программы

При запуске программы открывается окно, представленное на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 — Начальное окно программы

В начальном окне есть следующие кнопки:

- 1) Кнопка «Сохранить плазму» выполняет сохранение карты высот в файл.
- 2) Кнопка «Сгенерировать плазму» выполняет генерацию случайной карты высот, размеры которой задаются в блоке «Исходные параметры». Изменяя параметры из блока «Случайная плазма» можно изменять отклонение случайной величины (*deflection*) и коэффициент разброса случайных величин, расположенных на определенном расстоянии друг от друга (*alpha*).
- 3) Кнопка «Загрузить плазму» выполняет чтение карты высот из файла, если размер карты не соответствует желаемому, то выполняется интерполяция алгоритмом, указанным в блоке «Интерполяция».
- 4) Кнопка «Установить свет» изменяет положение источника света на по-

ложение, которое задано в блоке «Свет».

- 5) Кнопка «Задать количество узлов» задает количество результирующих узлов карты высот. Значения указаны в блоке «Количество узлов в изображении». На этих узлах строится изображение ландшафта.
- 6) Кнопка «Построить ландшафт» строит изображение реалистичного природного ландшафта по заданным параметрам.
- 7) Кнопка «Завершить работу» закрывает начальное окно.

На рисунке 3.2 представлено изображение случайно сгенерированной карты высот. Цвет пикселя отображает высоту над уровнем моря.

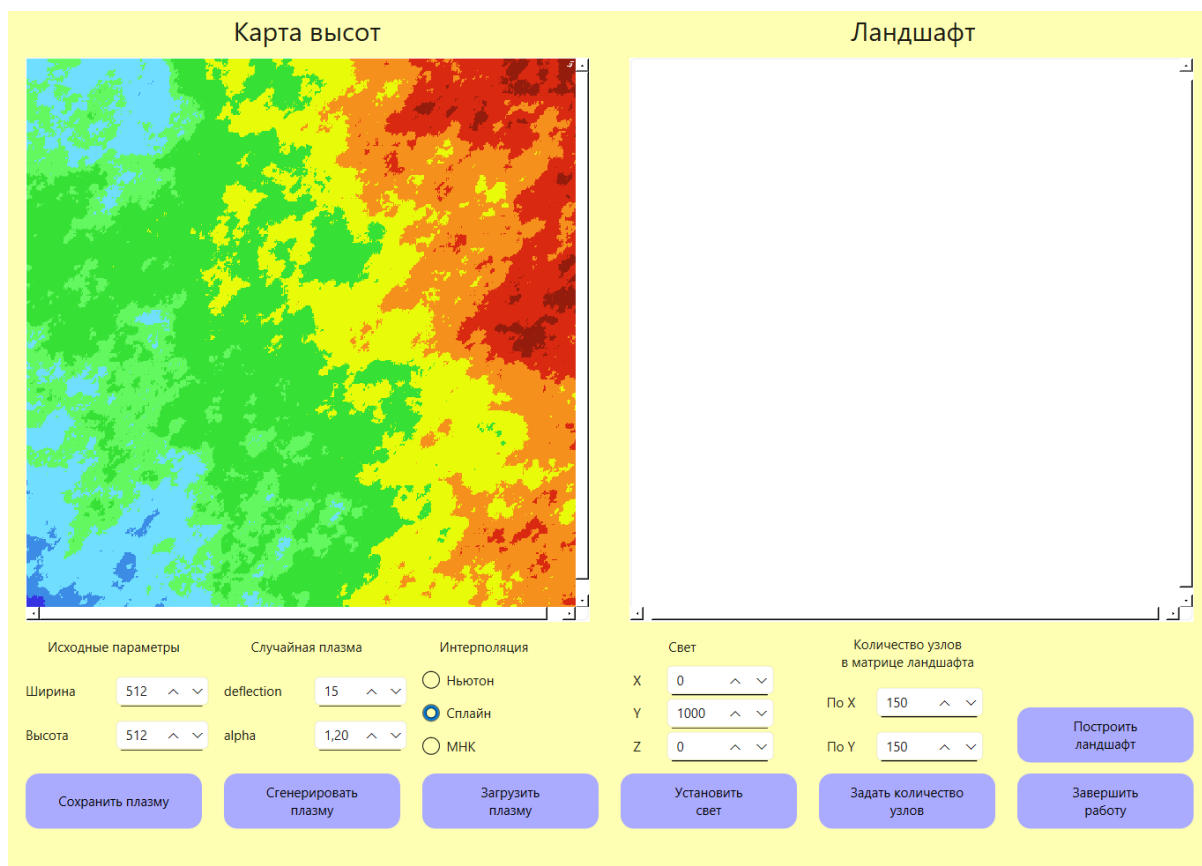


Рисунок 3.2 — Случайно сгенерированная карта высот

На рисунке 3.3 представлена карта высот, значения которой были интерполированы с помощью кубических сплайнов, а также изображение природного ландшафта, соответствующего этой карте.

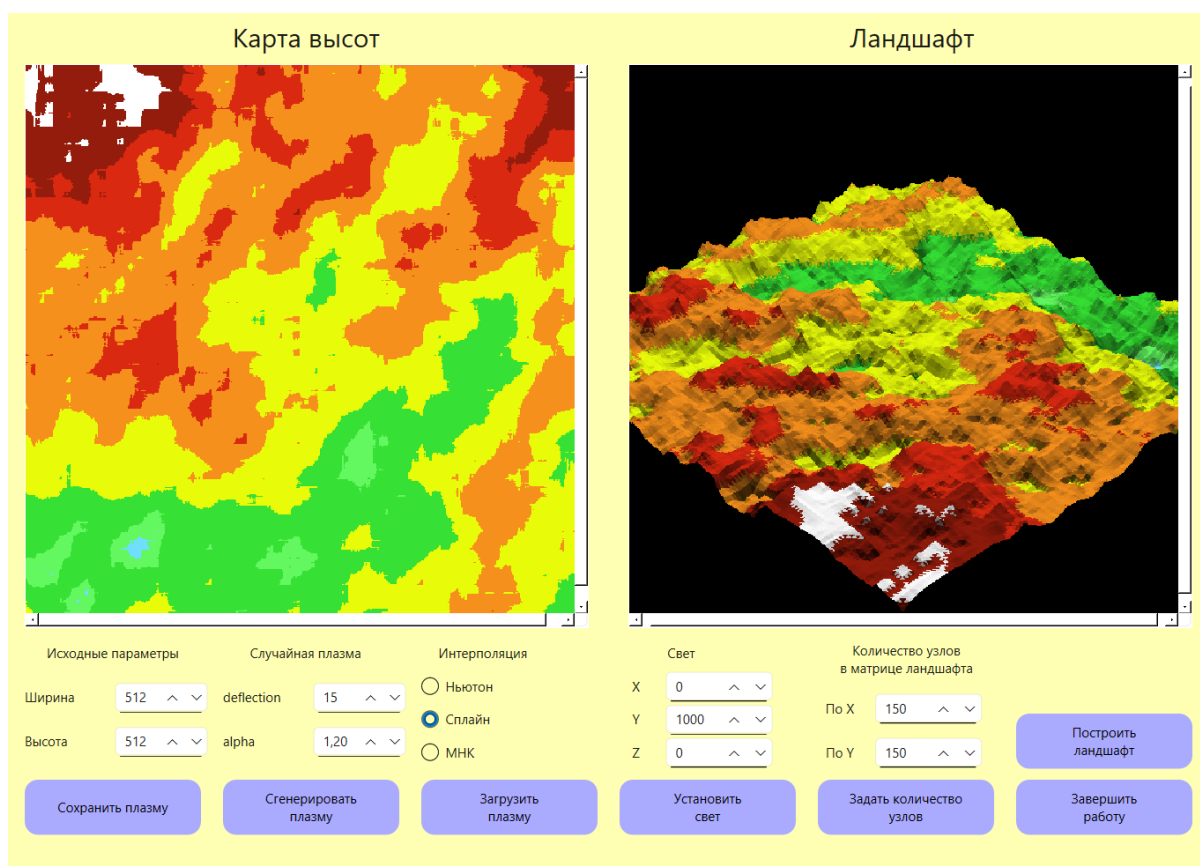


Рисунок 3.3 — Интерполированная карта высот и соответствующий ей природный ландшафт

### 3.5 Вывод

В этой части были приведены средства реализации. Также было реализовано ПО, выполняющее построение изображения реалистичного природного ландшафта, пример работы которого представлен в этой части.

## 4 Исследовательская часть

В этой части представлены технические характеристики ЭВМ, а также результаты исследования зависимости времени построения изображения природного ландшафта от размера карты высот.

### 4.1 Технические характеристики ЭВМ

Все замеры проводились на ЭВМ, характеристики которой приведены ниже:

- процессор – 12th Gen Intel(R) Core(TM) i5-12450H 2.00 ГГц;
- оперативная память – 16,0 ГБ;
- тип системы – 64-разрядная операционная система, процессор x64;
- операционная система – Windows 11;
- версия ОС – 23H2;
- 12 логических ядер.

### 4.2 Результаты эксперимента

В ходе эксперимента производилось построение квадратных карт высот различных размеров. Время замерялось с помощью таймера *QElapsedTime* библиотеки *Qt* [11]. Для каждой карты было произведено 100 замеров. Время отрисовки ландшафта не учитывалось. Результат усреднен и представлен на рисунке 4.1.

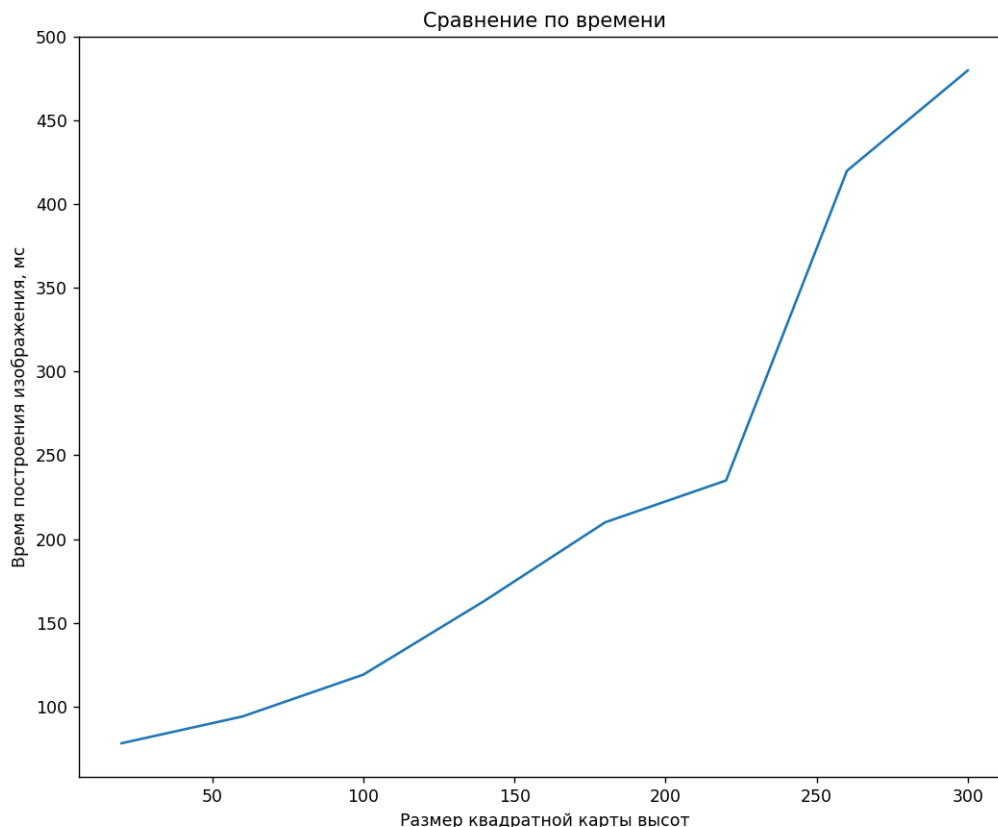


Рисунок 4.1 — Зависимость времени построения изображения ландшафта от размеров карты высот

Из графика видно, что зависимость времени построения изображения ландшафта от размера квадратной карты высот линейна.

### 4.3 Вывод

В этом разделе были приведены технические характеристики ЭВМ, на которой выполнялся эксперимент. Также был представлен ход эксперимента и результаты. Результаты совпали с ожидаемыми: зависимость времени построения изображения ландшафта от размера квадратной карты высот является линейной, что совпадает с теоретическим значением сложности алгоритма с использованием Z-буфера.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель данной работы была достигнута: разработано программное обеспечение для построения изображения реалистичного природного ландшафта. Были решены все задачи:

- проведен анализ методов построения изображения карты высот;
- проведен анализ существующих алгоритмов построения изображения трехмерных объектов;
- выбраны наиболее подходящие алгоритмы;
- спроектирована архитектура ПО;
- выбраны и обоснованы средства реализации ПО;
- реализовано ПО для построения изображения реалистичного природного ландшафта;
- проведено исследование зависимости времени построения изображения природного ландшафта от размера карты высот: зависимость линейная.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дэвид Роджерс. Алгоритмические основы машинной графики — М.: Мир, 1989, 512 с. (дата обращения: 09.09.2024)
2. Виктор Порев. Компьютерная графика — СПб.: БХВ-Петербург, 2002, 432 с. (дата обращения: 09.09.2024)
3. Д.И. Иудин, Е.В. Копосов. Фракталы: от простого к сложному — Город: Нижний Новгород, ННГАСУ, 2012, 185 с. (дата обращения: 09.09.2024)
4. Некоторые вопросы генерации реалистичных ландшафтов / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://scilead.ru/article/2213-nekotorie-voprosi-generatsii-realisticchnikh-1> (дата обращения: 09.09.2024)
5. Алгоритмические основы компьютерной графики / [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/2530/2/Livshic\\_al.pdf](https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/2530/2/Livshic_al.pdf) (дата обращения: 09.09.2024)
6. Компьютерная графика / [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://mf.bmstu.ru/info/faculty/kf/caf/k3/subjects/Computer\\_graphics/materials/CG\\_RGR.pdf](https://mf.bmstu.ru/info/faculty/kf/caf/k3/subjects/Computer_graphics/materials/CG_RGR.pdf) (дата обращения: 09.09.2024)
7. Алгоритм удаления невидимых поверхностей на основе программных проверок видимости / [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://www.ispras.ru/proceedings/docs/2018/30/2/isp\\_30\\_2018\\_2\\_81.pdf](https://www.ispras.ru/proceedings/docs/2018/30/2/isp_30_2018_2_81.pdf) (дата обращения: 09.09.2024)
8. Метод трассировки лучей как основная технология фотореалистичного рендеринга / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39706> (дата обращения: 09.09.2024)
9. Трассировка лучей на распределенной вычислительной системе / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://top-technologies.ru/article/view?id=38782> (дата обращения: 09.09.2024)

10. Простые модели освещения / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://grafika.me/node/344> (дата обращения: 09.09.2024)
11. All Qt Documentation / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://doc.qt.io/all-topics.html> (дата обращения: 09.09.2024)
12. Документация по языку C++ / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/cpp/cpp/?view=msvc-160> (дата обращения: 09.09.2024)



# **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Презентация к курсовой работе содержит 7 слайдов.