

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

ИУ7

(индекс)

И.В.Рудаков

(И.О. Фамилия)

(подпись)

(дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение курсовой работы

по дисциплине Компьютерная графика

Студент группы ИУ7-52Б Пермякова Екатерина Дмитриевна

(Фамилия, имя, отчество)

Тема курсовой работы

Визуализация шахматных фигур на шахматной доске

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

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) кафедра

Задание

Разработать программное обеспечение с пользовательским интерфейсом для визуализации сцены, состоящей из шахматных фигур и шахматной доски. Пользователю должна быть предоставлена возможность из предложенного списка выбрать шахматные фигуры, которые будут изображены на сцене. Шахматные фигуры могут располагаться только в центре клетки на поверхности шахматной доски. Материал и цвет фигур будет определяться пользователем из предложенных вариантов. Пользователю должна быть предоставлена возможность вращать шахматные фигуры вокруг своей оси и перемещать их между клетками шахматной доски. Поверхность шахматной доски должна состоять из черных и белых клеток и в зависимости от выбора пользователя должна иметь глянцевую или матовую поверхность. Размер шахматной доски 8x8 клеток. На сцене должен быть один точечный источник света, который будет располагаться в фиксированной точке вне поля зрения пользователя. В начале работы программы на шахматной доске не должно быть фигур.

Оформление курсовой работы:

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.

Перечень графического материала (плакаты, схемы, чертежи и т.п.) На защиту проекта должна быть представлена презентация, состоящая из 15-20 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)

Силантьева А В

(И.О. Фамилия)

Студент

(подпись, дата)

Пермякова Е Д

(И.О. Фамилия)

СОДЕРЖАНИЕ

1	Аналитическая часть	6
1.1	Формализация объектов сцены	6
1.2	Анализ способов представления поверхностей трехмерных моделей	7
1.3	Анализ алгоритмов удаления невидимых линий и поверхностей	8
1.3.1	Алгоритм Робертса	8
1.3.2	Алгоритм, использующий z-буфер	9
1.3.3	Алгоритм обратной трассировки лучей	9
1.4	Анализ модели освещения	11
1.4.1	Локальная модель освещения	11
1.4.2	Глобальная модель освещения	12
2	Конструкторская часть	14
2.1	Математические основы алгоритма обратной трассировки лучей	14
2.1.1	Определение пересечения луча с полигоном	14
2.1.2	Определение вектора отражения	15
2.2	Функциональная модель программного обеспечения	16
2.3	Описание алгоритма обратной трассировки лучей	17
2.4	Структура разрабатываемого программного обеспечения	19
3	Исследовательская часть	23
3.1	Технические характеристики	23
3.2	Результаты работы ПО	23
3.3	Описание исследования	23
3.4	Вывод	24
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	25

РЕФЕРАТ

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для визуализации шахматных фигур на шахматной доске.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- 1) провести анализ алгоритмов построения реалистичных изображений;
- 2) выбрать способ представления объектов сцены;
- 3) перечислить объекты, которые возможно разместить на сцене;
- 4) формализовать структуру разрабатываемого программного обеспечения;
- 5) реализовать программное обеспечения для визуализации сцены;
- 6) исследовать зависимость времени выполнения однопоточной и многопоточной реализаций метода построения реалистичного изображения полого кусочка льда с жидкостью внутри от размера изображения.
- 7) исследовать временные характеристики отрисовки сцены для многопоточной и однопоточной реализации алгоритма построения реалистичных изображений;

1 Аналитическая часть

В данном разделе проводится формализация объектов сцены, рассматриваются способы представления поверхностей трехмерных моделей и методы создания трёхмерного реалистичного изображения.

1.1 Формализация объектов сцены

Сцена состоит из следующих объектов:

- Шахматная доска 8x8 клеток. Основание шахматной доски цвета дерева, клетки – черного и белого цвета;
- Набор шахманных фигуры двух цветов: пешка, ладья, конь, слон, ферзь, король;
- Точечный источник света. Задается положением в пространстве и интенсивностью излучения;
- Камера. Задается положением в пространстве и вектором взгляда.

Форма и размер шахматных фигур и шахматной доски соответствует стандарту шахматного оборудования и игровых площадок, предназначенных для проведения турниров ФИДЕ [1].

1.2 Анализ способов представления поверхностей трехмерных моделей

Поверхность трехмерной модели можно задать несколькими способами [2]:

— **Полигональная сетка.** В данном случае поверхность представляется как совокупность связанных между собой плоских многоугольников. Большинство объектов, не имеющих изгибов, например, таких как шахматная доска, можно точно описать полигональной сеткой. Этот способ также применяется для представления объектов, ограниченных криволинейными поверхностями, однако в таком случае объект будет описан достаточно приблизительно.

— **Аналитический способ.** Поверхность заданная таким способом описывается функцией зависимости координат от некоторого параметра. Главным достоинством данного метода является высокая точность описания поверхности, которая нужна в большинстве вычислительных программ, однако из-за необходимости проведения большого количества математических вычислений при визуализации данных поверхностей, время их отрисовки будет значительно больше времени отрисовки поверхностей заданных множеством полигонов.

Вывод

Для решения задачи визуализации шахматной доски и шахматных фигур нет большой необходимости в точности представления поверхностей. Именно поэтому для уменьшения времени отрисовки сцены был выбран способ задания поверхностей моделей полигональной сеткой.

1.3 Анализ алгоритмов удаления невидимых линий и поверхностей

Для создания реалистичного изображения необходимо учитывать такие факторы как невидимые линии и поверхности, тени, освещение, свойства материалов объекта (способность отражать и преломлять свет).

1.3.1 Алгоритм Робертса

Алгоритм Робертса решает задачу удаления невидимых линий и работает в объектном пространстве исключительно с выпуклыми телами, если тело является не выпуклым, то его нужно разбить на выпуклые составляющие [3].

Этапы алгоритма:

- 1) **Подготовка исходных данных.** В данном алгоритме выпуклое многогранное тело представляется набором пересекающихся плоскостей. Формируется матрица тела V , где каждый столбец содержит коэффициенты уравнения плоскости грани $ax + by + cz + d = 0$:

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

- 2) **Удаление ребер, экранируемых самим телом.** Используется вектор взгляда $E = (0, 0, -1, 0)$ для определения невидимых граней. При умножении вектора E на матрицу тела V отрицательные компоненты полученного вектора будут соответствовать невидимым граням;
- 3) **Удаление невидимых ребер, экранируемых другими телами.** Для определения невидимых точек ребра строится луч, соединяющий точку наблюдения с точкой на ребре. Точка невидима, если луч на своём пути встречает в качестве преграды тело, т.е. проходит через него;

Преимущества алгоритма Робертса:

- Высокая точность благодаря работе в объектном пространстве;

Недостатки алгоритма Робертса:

- Не работает с невыпуклыми телами;
- Невозможность визуализации отражающих поверхностей;

1.3.2 Алгоритм, использующий z-буфер

Алгоритм Z-буфера работает в пространстве изображений и использует два буфера: буфер кадра для хранения цвета каждого пикселя и Z-буфер для хранения глубины каждого пикселя [4].

Этапы алгоритма:

- 1) Инициализация Z-буфера минимально возможными значениями и буфера кадра значениями пикселя, описывающими фон;
- 2) Преобразование каждой проекции грани многоугольников в растровую форму;
- 3) Вычисление для каждого пикселя с координатами (x, y) , его глубины $Z(x, y)$.
- 4) Сравнение глубины $Z(x, y)$ новых пикселей с текущими в Z-буфере и обновление буфера кадра при необходимости;

Преимущества алгоритма Z-буфера:

- Простота алгоритма и используемого в нем набора операций;

Недостатки алгоритма Z-буфера:

- Большой объём требуемой памяти;
- Невозможность визуализации отражающих поверхностей;

Таким образом, алгоритм Z-буфера также не подходит для решения поставленной задачи из-за своих ограничений.

1.3.3 Алгоритм обратной трассировки лучей

Алгоритм обратной трассировки лучей заключается в отслеживании траектории лучей, которые исходят из точки наблюдателя и проходят через центр пикселя растра в направлении сцены. [5].

Этапы алгоритма:

- 1) Преобразование сцены в пространство изображения, т. е. область видимости наблюдателя разбивается на пиксели.
- 2) Испускание лучей от наблюдателя через пиксели раstra к сцене.
- 3) Определение ближайшего пересечения лучей с объектами сцены.
- 4) Определение находится ли точка пересечения в тени путем испускания луча из этой точки в направлении источника света. И если луч пересекает какие-либо объекты сцены, то точка находится в тени.
- 5) Рекурсивное отражение и/или преломление лучей при наличии отражающих или прозрачных материалов.
- 6) Учёт теней путём проверки видимости световых источников из точки пересечения.

Преимущества алгоритма обратной трассировки лучей:

- 1) Высокая реалистичность синтезируемого изображения.
- 2) Учет теней и эффектов отражения и преломления.

Недостатки алгоритма обратной трассировки лучей:

- 1) Увеличенное время выполнения из-за рекурсивных вычислений.

Вывод

В качестве алгоритма удаления невидимых линий и поверхностей был выбран алгоритм обратной трассировки лучей, так как с его помощью возможно реализовать эффект отражения, необходимый для решения поставленной задачи. А так же данный алгоритм не требует дополнительной реализации алгоритмов закраски и построения теней.

1.4 Анализ модели освещения

Модель освещения определяет цвет поверхности объекта отображаемого на экране. Модель освещения бывает двух видов: локальная и глобальная [3]. В локальной модели освещения учитывается только свет падающий от источников и ориентация поверхности в пространстве. В глобальной модели освещения дополнительно еще учитывается свет, отражённый от других поверхностей и/или пропущенный через них.

1.4.1 Локальная модель освещения

Локальная модель освещения состоит из трех компонент [6]:

1) **Фоновое освещение.** Данная составляющая позволяет учитывать свет постоянной яркости, созданный многочисленными отражениями от различных поверхностей. Такой свет практически всегда присутствует в реальной обстановке. Интенсивность рассеяного света можно рассчитать по формуле (1.2)

$$I_a = k_a \cdot i_a \quad (1.2)$$

где I_a — интенсивность рассеяного света, k_a — коэффициент фонового освещения, i_a — интенсивность источника рассеяного света.

2) **Диффузное отражение.** Идеальное диффузное отражение описывается законом Ламберта, согласно которому падающий свет рассеивается во все стороны с одинаковой интенсивностью. Интенсивность диффузного отражения света можно рассчитать по формуле (1.3)

$$I_d = k_d \cdot I_l \cdot \frac{\cos(\vec{L}, \vec{N})}{r + k} \quad (1.3)$$

где I_d — интенсивность диффузного отражения света, k_d — коэффициент диффузного отражения, I_l — интенсивность точечного источника света, \vec{L} — вектор направленный на источник света, \vec{N} — вектор нормали к поверхности, r — расстояние от центра проекции до поверхности k — произвольная постоянная.

3) **Зеркальное отражение** Направленное отражение благодаря которому на блестящих объектах образуются блики. Наблюдатель видит зер-

кально отраженный свет только в том случае, когда угол отражения от идеальной отражающей поверхности равен углу падения. Интенсивность зеркального отражения света можно рассчитать по формуле (1.4)

$$I_s = k_s \cdot I_l \cdot \frac{(\vec{R}, \vec{S})^n}{r + k}, \quad (1.4)$$

где I_s — интенсивность зеркального отражения света, k_s — коэффициент зеркального отражения, I_l — интенсивность точечного источника света, \vec{R} — вектор отраженного луча, \vec{S} — вектор направленный на наблюдателя, n — степень, аппроксимирующая пространственное распределение зеркально отраженного света, r — расстояние от центра проекции до поверхности k — произвольная постоянная.

1.4.2 Глобальная модель освещения

Глобальная модель освещения дополняет локальную модель и позволяет учитывать положение объектов сцены относительно друг друга, благодаря чему появляется возможность визуализировать эффекты отражения света от других объектов и пропускания света сквозь прозрачные объекты.

Глобальная модель освещения складывается из непосредственной освещенности точки источником света, которая рассчитывается по локальной модели освещения, и вторичной освещенности, которая в свою очередь состоит из интенсивности света отраженного и преломленного луча [7]. Интенсивность света в точке по глобальной модели освещения рассчитывается формулой (??):

$$I = I_a + I_d + I_s + k_s \cdot I_r + k_t \cdot I_t, \quad (1.5)$$

где I_a — интенсивность рассеяного света (1.2), I_d — интенсивность диффузного отражения света (1.3), I_s — интенсивность зеркального отражения света (1.4), k_s — коэффициент зеркального отражения, k_t — коэффициент пропускания, I_r — интенсивности света отраженного луча, I_t — интенсивности света преломленного луча.

Вывод

Так как для решения поставленной задачи необходимо реализовать отражающую поверхность шахматной доски, в работе использовалась глобальная модель

освещения, которая являлась составной частью алгоритма обратной трассировки лучей.

Вывод из аналитической части

В данном разделе были формализованы объекты сцены и рассмотрены способы представления поверхностей трехмерных моделей и методы создания трёхмерного реалистичного изображения. В результате был выбран метод представления трехмерных поверхностей полигональной сеткой и для визуализации трехмерной сцены был выбран алгоритм обратной трассировки лучей, который включает в себя глобальную модель освещения.

2 Конструкторская часть

В данном разделе представлены математические основы и схема алгоритма обратной трассировки лучей, функциональная модель и структура программного обеспечения.

2.1 Математические основы алгоритма обратной трассировки лучей

2.1.1 Определение пересечения луча с полигоном

Так как любую плоскость можно однозначно задать тремя точками, для поиска пересечения луча с полигонами используется алгоритм Моллера – Трумбора [8], с помощью которого можно вычислить пересечение луча с треугольным полигоном. Рассмотрим данн

Пусть треугольный полигон определен вершинами V_0, V_1, V_2 , а луч $R(t)$ с началом в точке O и единичным вектором направления D определен формулой

$$R(t) = O + tD \quad (2.1)$$

И если точку $T(u, v)$ на треугольнике $V_0V_1V_2$ выразить через ее барицентрические координаты (u, v) , так что $(u \geq 0, v \geq 0, u + v \leq 1)$:

$$T(u, v) = (1 - u - v)V_0 + uV_1 + vV_2, \quad (2.2)$$

тогда пересечение луча $R(t)$ и треугольника $V_0V_1V_2$ эквивалентно решению уравнения $R(t) = T(u, v)$ и однозначно определяются параметрами расстояния t от начала луча до точки пересечения и барицентрическими координатами (u, v) . В таком случае получим:

$$O + tD = (1 - u - v)V_0 + uV_1 + vV_2 \quad (2.3)$$

Уравнение 2.3 может быть представлено в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} -D & V_1 - V_0, V_2 - V_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ u \\ v \end{bmatrix} = O - V_0 \quad (2.4)$$

Пусть $E_1 = V_1 - V_0$, $E_2 = V_2 - V_0$, $T = O - V_0$. Решение уравнения 2.3 можно получить методом Крамера:

$$\begin{bmatrix} t \\ u \\ v \end{bmatrix} = \frac{1}{(D \times E_2) \cdot E_1} \begin{bmatrix} (T \times E_1) \cdot E_2 \\ (D \times E_2) \cdot T \\ (T \times E_1) \cdot D \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Если барицентрически координаты точки пересечения полученной из формулы 2.5 удовлетворяют условию ($u \geq 0, v \geq 0, u + v \leq 1$), то луч $R(t)$ пересекает треугольный полигон заданный вершинами V_0, V_1, V_2 . Если определитель $(D \times E_2) \cdot E_1$ равен нулю то луч лежит в плоскости треугольника $V_0V_1V_2$.

2.1.2 Определение вектора отражения

Для визуализации отражающих поверхностей в алгоритме обратной трассировки лучей необходим способ определения направления вектора отражения зная луч падения l и нормаль к поверхности n [9].

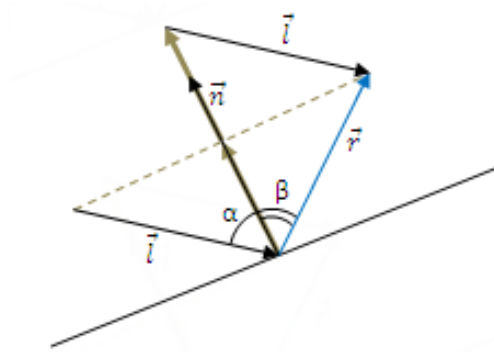


Рисунок 2.1 – Расчет направления вектора отражения

Вектор отражения представляется через разность вектора падения l и вектора нормали n , длина которого равняется длине двух проекций вектора l на n :

$$R = l - 2n \cdot \frac{(l, n)}{(n, n)} \quad (2.6)$$

2.2 Функциональная модель программного обеспечения

idef0

2.3 Описание алгоритма обратной трассировки лучей

На рисунках 2.2- 2.3 представлены схемы алгоритма испускания луча и алгоритма обратной трассировки лучей.

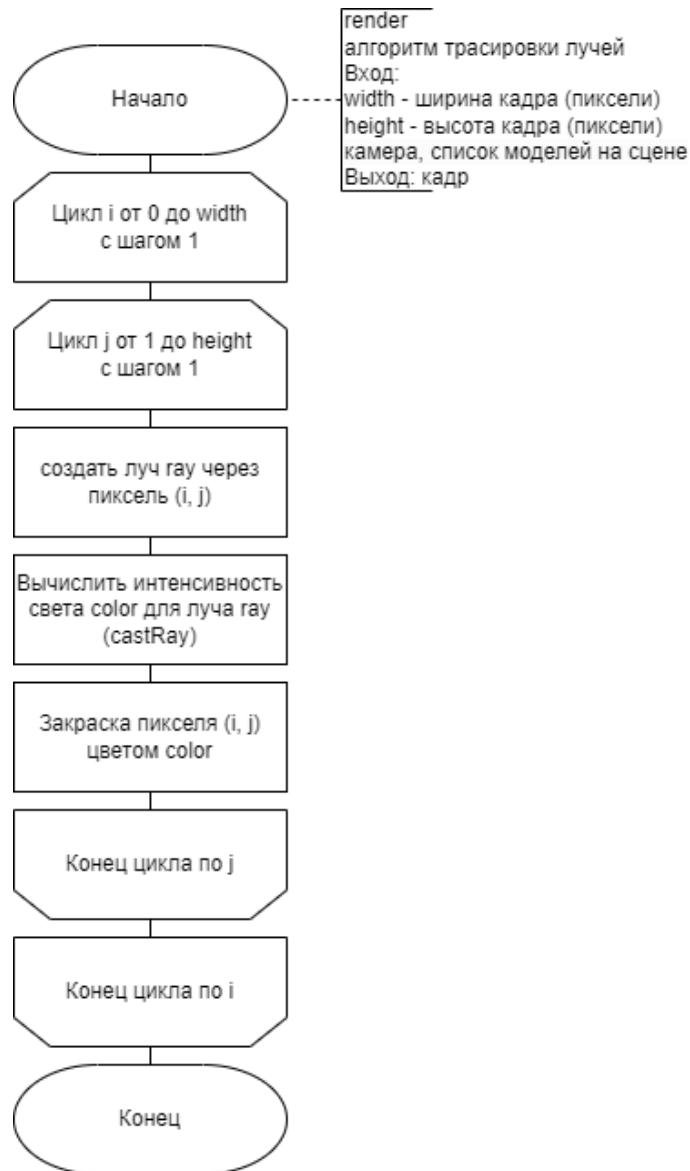


Рисунок 2.2 – Схема алгоритма обратной трассировки лучей

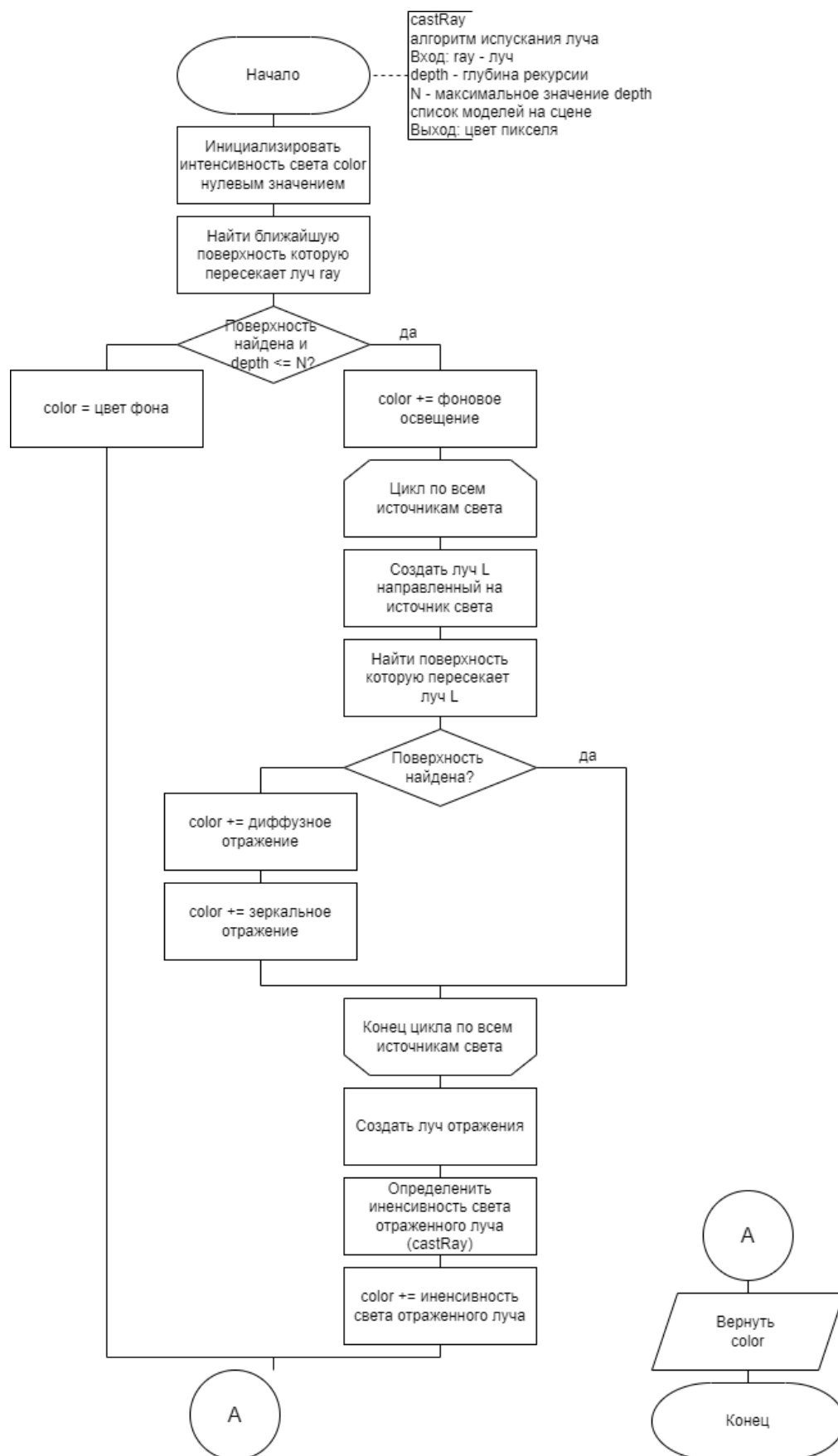


Рисунок 2.3 – Схема алгоритма испускания луча

2.4 Структура разрабатываемого программного обеспечения

На рисунках 2.4- 2.6 представлена диаграмма классов разрабатываемого программного обеспечения.

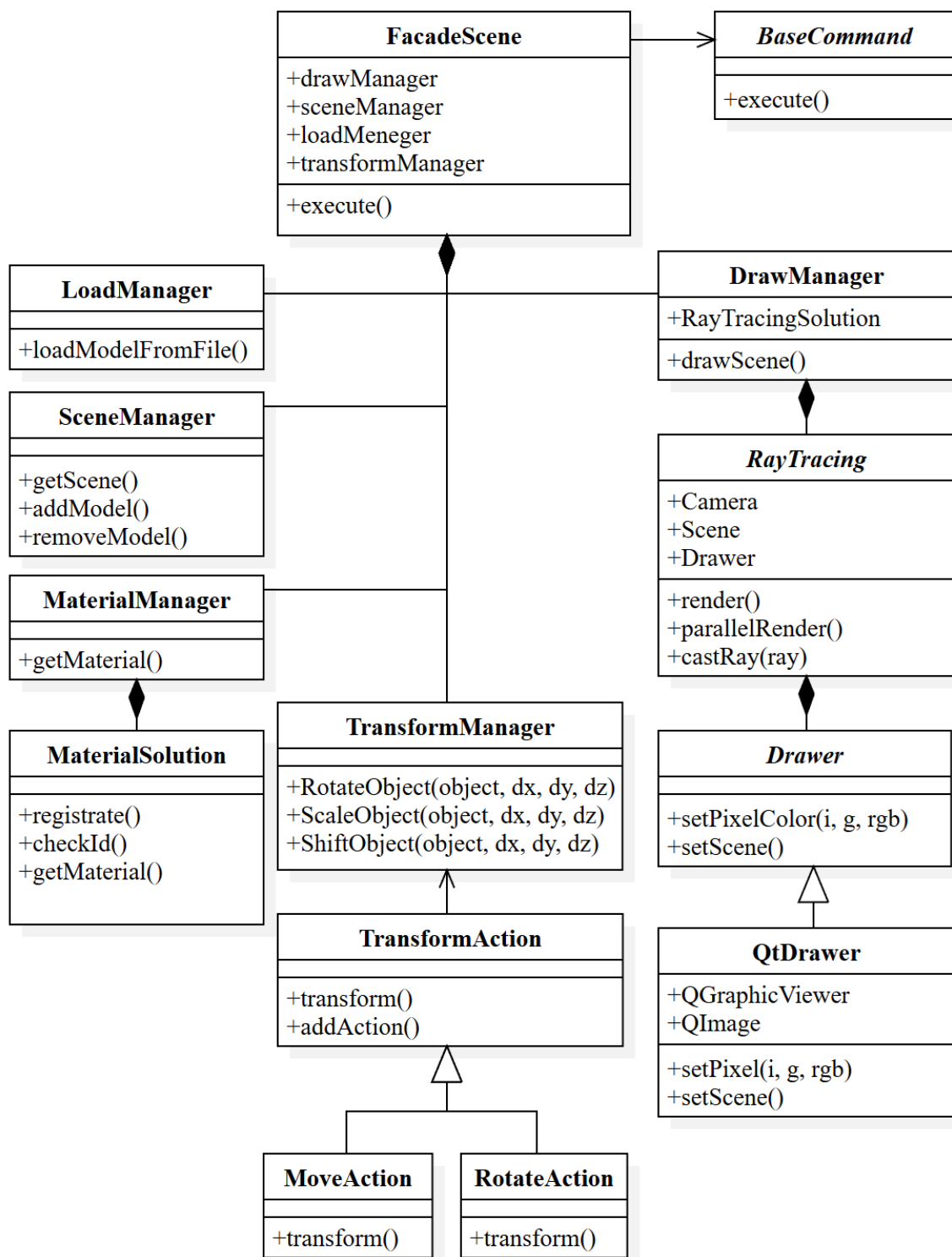


Рисунок 2.4 – Диаграмма классов

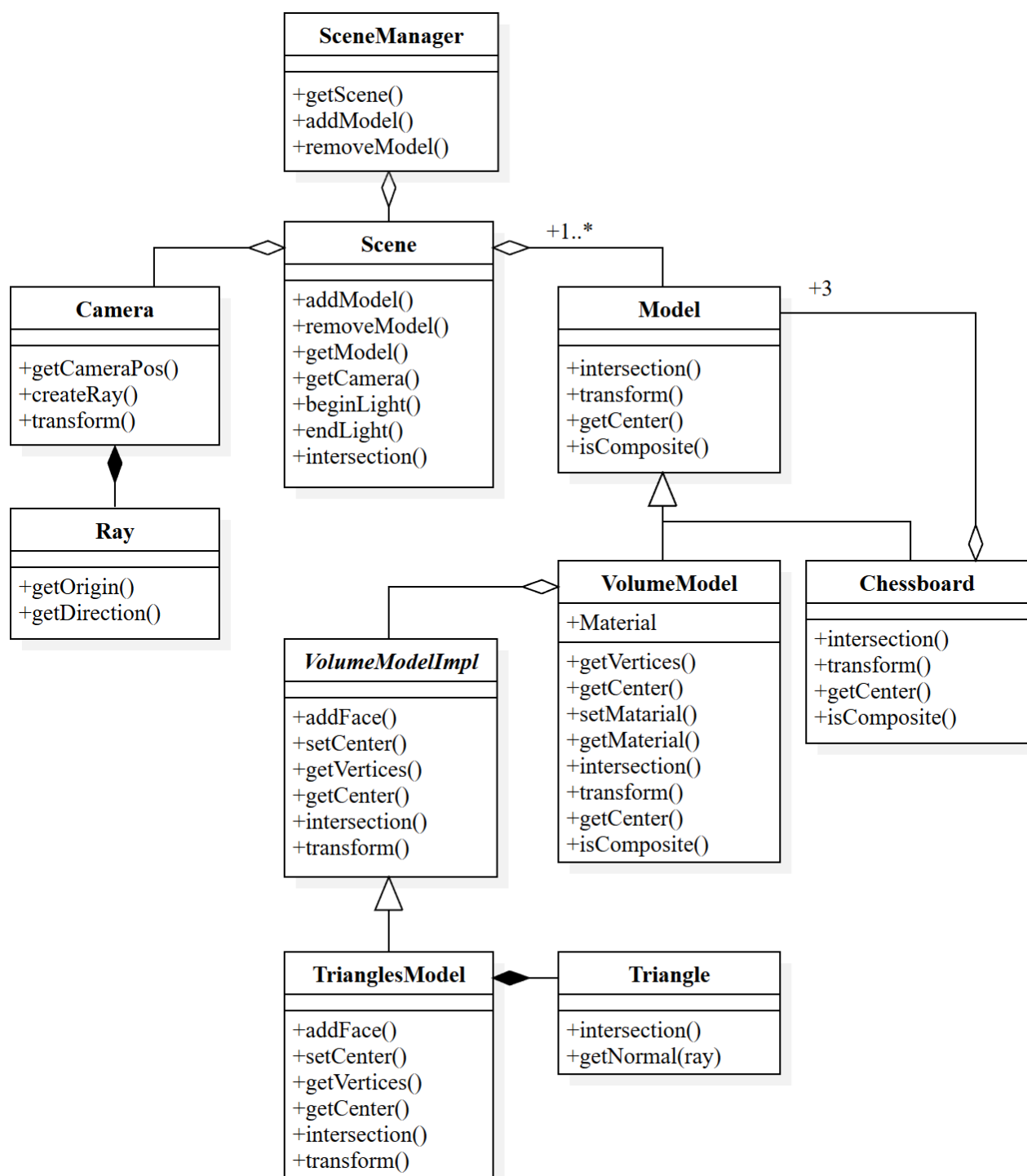


Рисунок 2.5 – Диаграмма классов

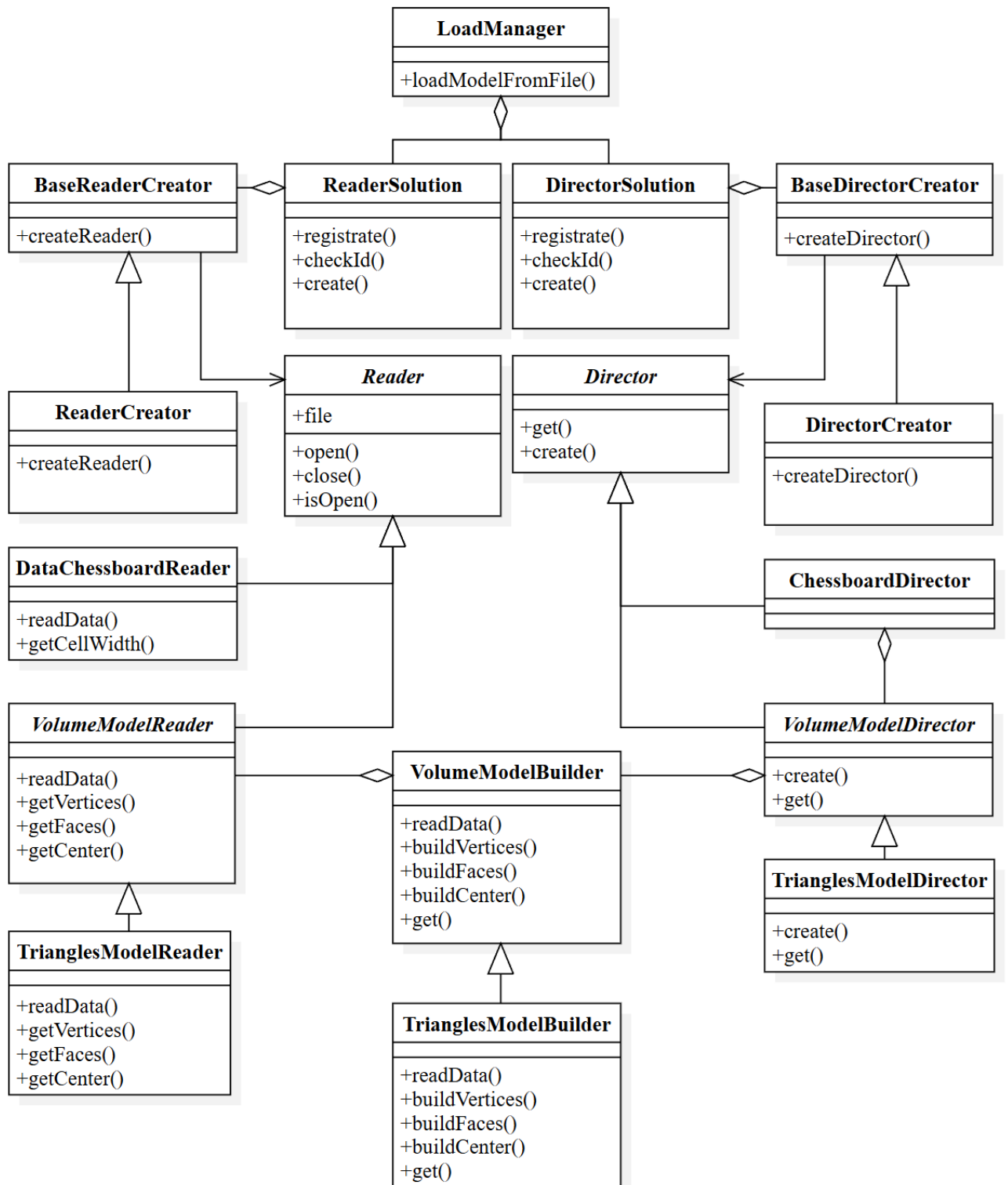


Рисунок 2.6 – Диаграмма классов

Вывод

В данном разделе были представлены математические основы алгоритма обратной трассировки лучей и спроектировано программное обеспечение, которое было описано функциональной моделью, схемой алгоритма обратной трассировки лучей и структурой, представленной в виде диаграммы классов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ФИДЕ Техническая комиссия. Стандарты шахматного оборудования и игровых площадок, предназначенных для проведения турниров ФИДЕ. Положение о тай-брейках. 2015. URL: Режим доступа: <https://ruchess.ru/upload/iblock/8d7/8d7dfc75a3c874ab01612272fe6c5964.pdf> (дата обращения: 01.12.2024).
2. Дёмин А. Ю. Основы компьютерной графики: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. с. 191. Томский политехнический университет.
3. Д. Роджерс. Алгоритмические основы машинной графики. Москва-Мир, 1989. с. 512. Пер. с англ.
4. Шикин Е. В. Боресков А. В. Зайцев А. А. Начала компьютерной графики. ДИАЛОГ-МИФИ, 1993. с. 138.
5. Шикин Е. В. Боресков А. В. Компьютерная графика. Динамика, реалистичные изображения. Москва: ДИАЛОГ-МИФИ, 1996. с. 288.
6. Bui-Tuong Phong. Illumination for Computer Generated Images. 1975. с. 317.
7. Шикин А. В., Боресков А. В. Компьютерная графика. Полигональные модели. Москва: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. с. 464.
8. Tomas Möller Ben Trumbore. Fast, Minimum Storage Ray/Triangle Intersection. Journal of Graphics Tools, 1997. с. 7. URL: Режим доступа: <https://www.graphics.cornell.edu/pubs/1997/MT97.pdf> (дата обращения: 01.12.2024).
9. Peter Shirley Trevor David Black Steve Hollasch. Ray Tracing in One Weekend. 2024. URL: Режим доступа: <https://raytracing.github.io/books/RayTracingInOneWeekend.html> (дата обращения: 01.12.2024).