

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1 Аналитический раздел .....	4
1.1 Описание и формализация объектов сцены .....	4
1.1.1 Объекты сцены .....	4
1.1.2 Выбор формы представления трехмерных объектов .....	4
1.2 Выбор и анализ алгоритмов удаления невидимых ребер и поверхностей .....	5
1.2.1 Алгоритм обратной трассировки .....	5
1.2.2 Алгоритм Робертса .....	6
1.2.3 Алгоритм, использующий Z-буфер .....	7
1.3 Анализ методов закрашивания .....	8
1.3.1 Простая закрашка .....	8
1.3.2 Закрашка по Гуро .....	9
1.3.3 Закрашка по Фонгу .....	10
1.4 Алгоритмы моделирования броуновского движения .....	11
1.4.1 Классическое броуновское движение .....	12
1.4.2 Алгоритм срединных смещений .....	12
1.4.3 Фрактальное броуновское движение .....	13
2 Конструкторский раздел .....	16
2.1 Алгоритм срединных смещений .....	16
2.2 Алгоритмы отрисовки .....	18
2.3 Диаграмма классов .....	20
3 Технологический раздел .....	21
3.1 Требования к программному обеспечению .....	21
3.2 Средства реализации .....	21
3.3 Реализация алгоритмов .....	21
4 Исследовательский раздел .....	23
4.1 Измерение времени работы реализаций алгоритмов .....	23
Заключение .....	26
Список использованных источников .....	27

## ВВЕДЕНИЕ

С развитием компьютерных технологий компьютерная графика приобрела совершенно новый статус, поэтому сегодня она является основной технологией в цифровой фотографии, кино, видеоиграх, а также во многих специализированных приложениях. Было разработано большое количество алгоритмов отображения. Главными критериями, которые к ним предъявляются, являются реалистичность изображения и скорость отрисовки. Однако зачастую чем выше реалистичность, тем больше времени и памяти требуется для работы алгоритма.

Одним из направлений моделирования является моделирование движения частиц. Имеется огромная потребность в качественной и эффективной отрисовке распространения частиц вируса. Особенно эта тема стала актуальной после начала пандемии коронавируса. Пандемия COVID-19 повлияла на жизнь миллионов людей по всему миру. Помимо серьезных последствий для здоровья, пандемия также изменила нашу повседневную жизнь, перевернула рынок вакансий и подорвала экономическую стабильность. В данном курсовом проекте речь пойдет о моделировании распространения частиц вирусной инфекции.

Цели данной курсовой работы — разработать программу с пользовательским интерфейсом, которая предоставит функционал для моделирования броуновского движения частиц коронавирусной инфекции в помещении с учетом скорости их распространения и времени жизни на разных поверхностях.

Задачи, которые необходимо выполнить для достижения поставленной цели:

- изучить алгоритмы удаления невидимых линий и поверхностей и методы закраски;
- проанализировать алгоритмы моделирования броуновского движения;
- выбрать подходящие для решения поставленной задачи алгоритмы и реализовать их;
- формализовать модель и описать выбранные типы и структуры данных;
- провести анализ производительности программного обеспечения.

## **1 Аналитический раздел**

В данном разделе представлено описание объектов сцены, а также обоснован выбор алгоритмов, которые будут использованы для ее визуализации.

### **1.1 Описание и формализация объектов сцены**

#### **1.1.1 Объекты сцены**

Объекты сцены:

- абстрактная фигура человека;
- стены;
- пол;
- частицы вируса.

Стены и пол представляют собой параллелепипеды. Частицы вируса представлены в форме шаров.

#### **1.1.2 Выбор формы представления трехмерных объектов**

Отображением формы и размеров объектов являются модели. Обычно используются три формы задания моделей:

- каркасная;
- поверхностная;
- объемная.

Каркасная модель — одна из простейших форм задания модели, так как заключается в хранении информации только о вершинах и ребрах объекта.

Поверхностная модель объекта — это оболочка объекта, пустая внутри. Такая информационная модель содержит данные только о внешних геометрических параметрах объекта. Такой тип модели часто используется в компьютерной графике. При этом могут использоваться различные типы поверхностей, ограничивающих объект, такие как полигональные модели, поверхности второго порядка и другие.

При объемном моделировании учитывается материал, из которого изготовлен объект. Так, известно с какой стороны поверхности расположен материал. Это реализуется с помощью указания направления внутренней нормали.

Для решения поставленной задачи будет использована поверхностная модель, так как каркасные модели могут привести к неправильному восприятию формы объекта, а

реализация объемной модели потребует большего количества ресурсов на отображение деталей, не влияющих на качество решения задачи в ее заданной формулировке.

В свою очередь поверхностная модель может задаваться параметрическим представлением или полигональной сеткой.

В случае полигональной сетки форма объекта задаётся некоторой совокупностью вершин, ребер и граней. Наиболее подходящим представлением сцены в условиях поставленной задачи будет представление в виде списка граней, так как оно позволяет проводить явный поиск вершин грани и самих граней, которые окружают вершину.

## 1.2 Выбор и анализ алгоритмов удаления невидимых ребер и поверхностей

### 1.2.1 Алгоритм обратной трассировки

Алгоритм обратной трассировки лучей отслеживает лучи в обратном направлении (от наблюдателя к объекту). 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.

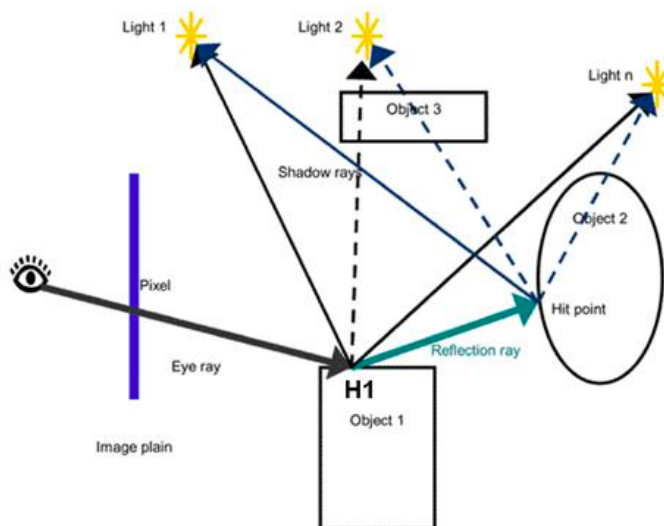


Рисунок 1.1 — Алгоритм обратной трассировки

Эффективность процедуры определения пересечений луча с поверхностью объекта оказывает самое большое влияние на эффективность всего алгоритма. Чтобы избавиться от ненужного поиска пересечений было придумано искать пересечение луча с объемной оболочкой рассматриваемого объекта. Под оболочкой понимается некоторый простой объект,

внутри которого можно поместить рассматриваемый объект, к примеру параллелепипед или сферу.

В дальнейшем при рассмотрении пересечения луча и объемной оболочкой рассматриваемого объекта, если такого пересечения нет, то и соответственно пересечения луча и самого рассматриваемого объекта нет, и наоборот, пересечение найдено, то возможно, есть пересечение луча и рассматриваемого объекта.

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, иначе он влияет на освещение данной точки. Также для получения более реалистичного изображения сцены, нужно учитывать вклады отраженных и преломленных лучей.

Достоинства алгоритма:

- возможность использования алгоритма в параллельных вычислительных системах.

Недостатки алгоритма:

- требуется большое количество вычислений;
- производительность алгоритма.

### 1.2.2 Алгоритм Робертса

Алгоритм Робертса работает в объектном пространстве, кроме того работает только с выпуклыми телами. Если тело изначально является не выпуклым, то нужно его разбить на выпуклые составляющие.

Данный алгоритм состоит из следующих этапов:

- подготовка исходных данных;
- удаление линий, экранируемых самим телом;
- удаление линий, экранируемых другими телами.

Для определения, лежит ли точка в положительном подпространстве, используют проверку знака скалярного произведения  $(l, n)$ , где  $l$  — вектор, направленный к наблюдателю, фактически определяет точку наблюдения;  $n$  — вектор внешней нормали грани. Если  $(l, n) > 0$ , т. е. угол между векторами острый, то грань является лицевой. Если  $(l, n) < 0$ , т. е. угол между векторами тупой, то грань является нелицевой. В алгоритме Робертса требуется, чтобы все изображаемые тела или объекты были выпуклыми. Невыпуклые тела должны быть разбиты на выпуклые части. В этом алгоритме выпуклое многогранное тело с плоскими гранями должно представиться набором пересекающихся плоскостей. Уравнение произвольной плоскости в трехмерном пространстве имеет вид 1.1.

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (1.1)$$

В матричной форме 1.1 выглядит как 1.2.

$$[x \ y \ z \ 1][P]^T = 0 \quad (1.2)$$

В формуле 1.2 выражение  $[P]^T = [a \ b \ c \ d]$  представляет собой плоскость. Поэтому любое выпуклое твердое тело можно выразить матрицей тела, состоящей из коэффициентов уравнений плоскостей, т. е.

$$M = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ b_1 & b_2 & \dots & b_n \\ c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ d_1 & d_2 & \dots & d_n \end{bmatrix}, \quad (1.3)$$

где каждый столбец содержит коэффициенты одной плоскости.

Любая точка пространства может быть представлена в однородных координатах вектором  $[S] = [x \ y \ z \ 1]$ . Более того, если точка  $[S]$  лежит на плоскости, то  $[S] * [P]^T = 0$ . Если же  $[S]$  не лежит на плоскости, то знак этого скалярного произведения показывает, по какую сторону от плоскости расположена точка. В алгоритме Робертса предполагается, что точки, лежащие внутри тела, дают отрицательное скалярное произведение, т. е. нормали направлены наружу.

Достоинства алгоритма:

- высокая точность вычислений.

Недостатки алгоритма:

- рост числа трудоемкости алгоритма, как квадрата числа объектов;
- работа только с выпуклыми телами.

### 1.2.3 Алгоритм, использующий Z-буфер

Алгоритм Z-буфера решает задачу в пространстве изображений.

В данном алгоритме рассматривается два буфера. Буфер кадра (регенерации) используется для заполнения атрибутов (интенсивности) каждого пикселя в пространстве изображения. В Z-буфер (буфер глубины) можно помещать информацию о координате z для каждого пикселя.

Для начала необходимо подготовить буферы. Для этого в Z-буфер заносятся максимально возможные значения  $z$ , а буфер кадра заполняется значениями пикселя, который описывает фон. Также нужно каждый многоугольник преобразовать в растровую форму и записать в буфер кадра. Сам процесс работы заключается в сравнении глубины каждого нового пикселя, который нужно занести в буфер кадра, с глубиной того пикселя, который уже занесён в Z-буфер. В зависимости от сравнения принимается решение, нужно ли заносить новый пиксель в буфер кадра и, если нужно, также корректируется Z-буфер (в него нужно занести глубину нового пикселя).

Достоинства алгоритма:

- элементы сцены заносятся в буфер кадра в произвольном порядке, поэтому в данном алгоритме не тратится время на выполнение сортировок;
- произвольная сложность сцены;
- поскольку размеры изображения ограничены размером экрана дисплея, трудоемкость алгоритма зависит линейно от числа рассматриваемых поверхностей.

Недостатки алгоритма:

- трудоемкость устранения лестничного эффекта;
- трудности реализации эффектов прозрачности;
- большой объем требуемой памяти.

### **1.3 Анализ методов закрашивания**

Методы закрашивания используются для затенения полигонов (или поверхностей, аппроксимированных полигонами) в условиях некоторой сцены, имеющей источники освещения.

Существует несколько основных методов закраски:

- простая закраска;
- закраска по Гуро, основанная на интерполяции значений интенсивности освещенности поверхности;
- закраска по Фонгу, основанная на интерполяции векторов нормалей к граням многогранника.

#### **1.3.1 Простая закраска**

Одной из самых простых моделей освещения является модель Ламберта. Она учитывает только идеальное диффузное отражение света от тела. Считается, что свет падающий

в точку, одинаково рассеивается по всем направлениям полупространства. Таким образом, освещенность в точке определяется только плотностью света в точке поверхности, а она линейно зависит от косинуса угла падения. При этом положение наблюдателя не имеет значения, так как диффузно отраженный свет рассеивается равномерно по всем направлениям.

Простая закраска используется при выполнении трех условий:

- предполагается, что источник находится в бесконечности;
- предполагается, что наблюдатель находится в бесконечности;
- закрашиваемая грань является реально существующей, а не полученной в результате аппроксимации поверхности.

Большим недостатком данной модели является то, что все точки грани будут иметь одинаковую интенсивность.



Рисунок 1.2 — Пример простой закрашки

### 1.3.2 Закраска по Гуро

Данный алгоритм предполагает следующие шаги:

- вычисление векторов нормалей к каждой грани;
- вычисление векторов нормали к каждой вершине грани путем усреднения нормалей к граням;
- вычисление интенсивности в вершинах грани;
- интерполяция интенсивности вдоль ребер грани;
- линейная интерполяция интенсивности вдоль сканирующей строки.

Достоинства:

- хорошо сочетается с диффузным отражением;
- изображение получается более реалистичным, чем при простой закрашке.

Недостатки:



— данный метод интерполяции обеспечивает лишь непрерывность значений интенсивности вдоль границ многоугольников, но не обеспечивает непрерывность изменения интенсивности.

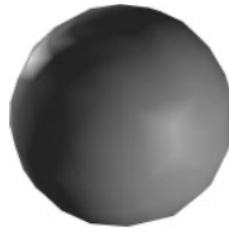


Рисунок 1.3 — Пример закрашки по Гуро

### 1.3.3 Закраска по Фонгу

При такой закрашке, в отличие от метода Гуро, вдоль сканирующей строки интерполируется значение вектора нормали, а не интенсивности.

Шаги алгоритма:

- вычисление векторов нормалей в каждой грани.
- вычисление векторов нормали к каждой вершине грани.
- интерполяция векторов нормалей вдоль ребер грани.
- линейная интерполяция векторов нормалей вдоль сканирующей строки.
- вычисление интенсивности в очередной точке сканирующей строки.

Достоинства:

- можно достичь лучшей локальной аппроксимации кривизны поверхности.

Недостатки:

- ресурсоемкость;
- вычислительная сложность.

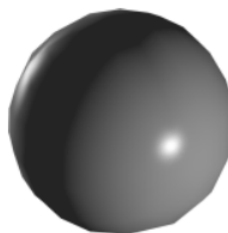


Рисунок 1.4 — Пример закрашки по Фонгу

## 1.4 Алгоритмы моделирования броуновского движения

Броуновское движение — беспорядочное движение малых частиц, взвешенных в жидкости или газе, происходящее под действием молекул окружающей среды.

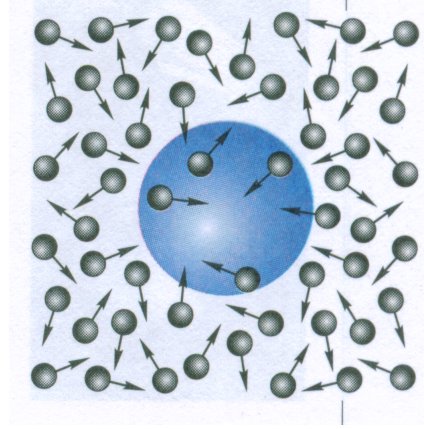


Рисунок 1.5 — Броуновское движение

Рассмотрим случайный процесс (случайную величину)  $X(t)$ , заданную на отрезке  $[0, T]$ .

Случайный процесс  $X(t)$  называется одномерным броуновским движением на интервале  $[0, T]$ , если он обладает следующими свойствами:

- $X(0) = 0$  почти наверное и  $X(t)$  - почти наверное непрерывная функция на  $[0, T]$
- $X(t)$  - процесс с независимыми приращениями
- $X(t)$  - процесс с приращениями, распределёнными нормально.

Отметим следующие свойства броуновского движения:

- $X(t)$  почти наверное нигде не дифференцируем
- $X(t)$  - марковский процесс (не обладает памятью), т.е. если известна величина  $X(t)$ , то при  $t_1 < t < t_2$  величины  $X(t_1)$  и  $X(t_2)$  независимы.
- Фрактальная размерность графика  $X(t)$  равна 1.5
- Приращение  $X(t)$  обладает свойством статистического самоподобия: для любого  $r > 0$

$$X(t + \Delta t) = \frac{1}{\sqrt{r}}(X(t + r \Delta t) - X(t)) \quad (1.4)$$

- Стационарность приращений: дисперсия приращения зависит только от разности моментов времени

$$D(X(t_2) - X(t_1)) = \sigma^2 |t_2 - t_1| \quad (1.5)$$

— Математическое ожидание приращения равно

$$E(|X(t_2) - X(t_1)|) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma \sqrt{|t_2 - t_1|} \quad (1.6)$$

Для моделирования броуновского движения можно воспользоваться разными алгоритмами. Рассмотрим несколько из них.

#### 1.4.1 Классическое броуновское движение

Проще всего реализовать дискретную реализацию броуновского движения, рассмотрев последовательность  $x_0 = 0$ ,  $x_{n+1} = x_n + g_n$ , где  $g_n$  - случайная величина, имеющая нормальное распределение (например,  $N(0,1)$ ).

```
1: array[N]
2: array[0] ← 0
3: for i = 1,..., N do
4:   array[i + 1] ← array[i] + randomNormal(0,1)
5: end for
```

#### 1.4.2 Алгоритм срединных смещений

Метод случайного срединного смещения основан на работах Н.Виннера, он более сложен, чем метод из предыдущего параграфа, однако используется для конструктивного доказательства существования броуновского движения, а также для построения фрактальной интерполяции (когда необходимо чтобы кривая проходила через заданные точки интерполяции). Метод также может быть обобщен на случай  $n$ -мерных броуновских движений.

Алгоритм случайного срединного смещения вычисляет значения  $X(t)$  в диадических рациональных точках вида  $\frac{k}{2^n} \in [0,1]$ . Последовательно вычисляются значения в середине отрезка  $[0,1]$ , а затем в серединах отрезков  $[0, \frac{1}{2}]$  и  $[\frac{1}{2}, 1]$  и т.д. На каждом шаге итерации должен выполняться закон дисперсии для приращения в вычисленных точках. Параметр  $\sigma$  определяет масштаб по вертикальной оси, не влияя на фрактальную размерность графика.

Вход:  $N, \sigma$  //  $N$  - число шагов алгоритма, при этом всего  $2^N + 1$  точек интерполяции,  $\sigma$  - параметр вертикального масштаба, коэффициент дисперсии

Выход: массив значений  $\{X(\frac{k}{2^N})\}_{k=0}^{2^N}$  // реализация броуновского движения  $X(t)$  на дискретном множестве точек вида  $t_k = \frac{k}{2^N}$ ,  $k \in [0, 2^N]$

```
1: X(0) ← 0
2: X(1) ← σg // g - случайная величина, распределенная нормально с параметрами N(0,1)
3: for j = 1,..., N do
4:   for i = 1,..., 2N-1 do
```

```

5:       $X((2i-1)2^{N-j}) \leftarrow X((i-1)2^{N-j+1}) + X(i2^{N-j+1}) + \frac{1}{2^{(j+1)/2}} \sigma \cdot g$ 
6:  end for
7: end for

```

### 1.4.3 Фрактальное броуновское движение

Фрактальное броуновское движение (ФБД) уже не является марковским процессом, а обладает некой "памятью". Кроме того, вводя параметр  $0 < H < 1$  можно получить  $d$ -мерное ФБД размерности  $d = 2 - H$  и двумерное ФБД размерности  $d = 3 - H$ . Заметим, что классическое броуновское движение получается как частный случай при  $H = 0.5$ . Для аппроксимации ФБД нет простого метода, вроде суммирования нормальных случайных величин, как в случае классического броуновского движения. Для аппроксимации ФБД наиболее удобно использовать преобразования Фурье.

Рассмотрим случайный процесс (случайную величину)  $X(t)$ , заданную на отрезке  $[0, T]$ .

*Случайный процесс  $X(t)$*  называется одномерным фрактальным броуновским движением на интервале  $[0, T]$ , если он обладает следующими свойствами:

- $X(0) = 0$  почти наверное и  $X(t)$  - почти наверное непрерывная функция на  $[0, T]$
- $X(t)$  - процесс с приращениями, распределенными нормально

Отметим следующие свойства фрактального броуновского движения:

- $X(t)$  почти наверное нигде не дифференцируем
- Фрактальная размерность графика  $X(t)$  равна  $2 - H$
- Процесс  $x(t)$  не обладает свойством независимости приращений
- Приращение  $X(t)$  обладает свойством статистического самоподобия: для любого  $r > 0$

$$X(t + \Delta t) = \frac{1}{\sqrt{r}}(X(t + r \Delta t) - X(t)) \quad (1.7)$$

- Стационарность приращений: дисперсия приращения зависит только от разности моментов времени

$$D(X(t_2) - X(t_1)) = \sigma^2 |t_2 - t_1|^{2H} \quad (1.8)$$

- Математическое ожидание приращения равно

$$E(|X(t_2) - X(t_1)|) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma |t_2 - t_1|^H \quad (1.9)$$

**Теорема 1** Если  $X(t)$  - ФБД с параметром  $H$ , то его спектральная плотность

$$S(f) \propto \frac{1}{f^{2H+1}} \quad (1.10)$$

Идея метода состоит в следующем. Строится преобразование Фурье для искомого ФБД в частной области, задавая случайные фазы и подбирая амплитуды, удовлетворяющие свойству из Теоремы 1. Затем получаем ФБД во временной области с помощью обратного преобразования Фурье.

Будем моделировать дискретный аналог ФБД, то есть наша цель- получить величины  $\{X_n\}_{n=0}^{N-1}$ , аппроксимирующие ФБД в точках  $n$ . Воспользуемся формулой дискретного преобразования Фурье

$$\hat{X}_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{-2\pi kn/N} \quad (1.11)$$

и обратного дискретного преобразования Фурье

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{X}_k e^{2\pi kn/N} \quad (1.12)$$

Далее будем рассматривать только четные значения  $N$ , а для применения метода *быстрого дискретного преобразования Фурье* нужно, чтобы  $N = 2^M$ ,  $M \in \mathbb{N}$ . Метод быстрого дискретного преобразования Фурье реализован во многих системах компьютерной алгебры. Он позволяет сократить вычисления в  $\frac{2N}{\log_2 N}$  раз.

Для того, чтобы получающиеся величины  $X_n$  были вещественными мы наложим условие сопряженной симметрии:

$$\hat{X}_0, \hat{X}_{N/2} \in \mathbb{R}, \hat{X}_n = \hat{X}_{N-n}, n = 1, \dots, N/2 - 1 \quad (1.13)$$

Фильтрация относится к той части моделирования, когда мы заставляем коэффициенты преобразования Фурье удовлетворять степенному закону из Теоремы 1:

$$|\hat{X}_n|^2 \propto \frac{1}{n^{2H+1}}, n = 1, \dots, N/2 \quad (1.14)$$

Для этого возьмем

$$\hat{X}_n = \frac{ge^{2\pi iu}}{n^{H+0.5}} \quad (1.15)$$

где  $g$  - независимые значения нормально распределенной случайной величины с параметрами  $N(0,1)$ , а  $u$  - независимые значения равномерно распределенной на отрезке  $[0,1]$  случайной величины. Оставшиеся коэффициенты вычислим из соотношений 1.15.

Для вычисления искомой аппроксимации ФБД  $\{X_n\}_{n=0}^{N-1}$  применим обратное дискретное преобразование Фурье к набору  $\{\hat{X}_n\}_{n=0}^{N-1}$ .

Вход:  $H \in (0,1)$ ,  $N = 2^M$ ,  $M \in \mathbb{N}$  //  $H$  - параметр ФБД, размерность графика равна  $d = 2 - H$ ,  $N$  - параметр, определяющий количество точек дискретизации ФБД.

Выход: массив значений  $\{X_n\}_{n=0}^{N-1}$  // дискретная аппроксимация ФБД в последовательные моменты времени  $n$ .

```

1:  $\hat{X}_0 \leftarrow g$ 
2: for  $j = 1, \dots, N/2-1$  do
3:    $\hat{X}_j \leftarrow \frac{ge^{2\pi i u}}{j^{H+0.5}}$ 
4: end for
5:  $\hat{X}_{N/2} \leftarrow \frac{g \cos(2\pi i u)}{(N/2)^{H+0.5}}$  // Здесь  $\cos$  — вещественная часть комплексной экспоненты  $e$ 
6: for  $j = N/2+1, \dots, N-1$  do
7:    $\hat{X}_j \leftarrow \hat{X}_{N-j}$ 
8: end for
9:  $X \leftarrow \text{convert}(\hat{X})$  // Вектор  $X = \{X_0, \dots, X_{N-1}\}$  получается обратным дискретным
   преобразованием Фурье из вектора  $\hat{X} = \{\hat{X}_0, \dots, \hat{X}_{N-1}\}$ .

```

## Вывод

В данном разделе было представлено описание объектов сцены, а также обоснован выбор алгоритмов, которые будут использованы для ее визуализации.

Для удаления невидимых линий и поверхностей выбран алгоритм Z-буфера, так как он обладает важными преимуществами — высокой скоростью работы и возможностью отображать сцены произвольной сложности. Также была выбрана локальная модель освещения Ламберта, так как программа не должна выводить реалистичного изображения и должна иметь наиболее высокую производительность, и закрашка по Гуро, так как алгоритм достаточно быстр, и он хорошо сочетается с выбранным ранее Z-буфером.

Для моделирования броуновского движения был выбран алгоритм срединных смещений, так как он позволяет наиболее реалистично изобразить броуновское движение, а также легко обобщается для случая  $n$ -мерных движений. Также данный алгоритм содержит меньшее количество вычислений чем алгоритм Фурье-фильтрации, то есть вычисления будут выполняться быстрее.

## **2 Конструкторский раздел**

В данном разделе будут представлены схемы алгоритмов, выбранных для решения задачи, и диаграмма классов.

### **2.1 Алгоритм срединных смещений**

Схема алгоритма срединных смещений изображена на рисунке 2.1.

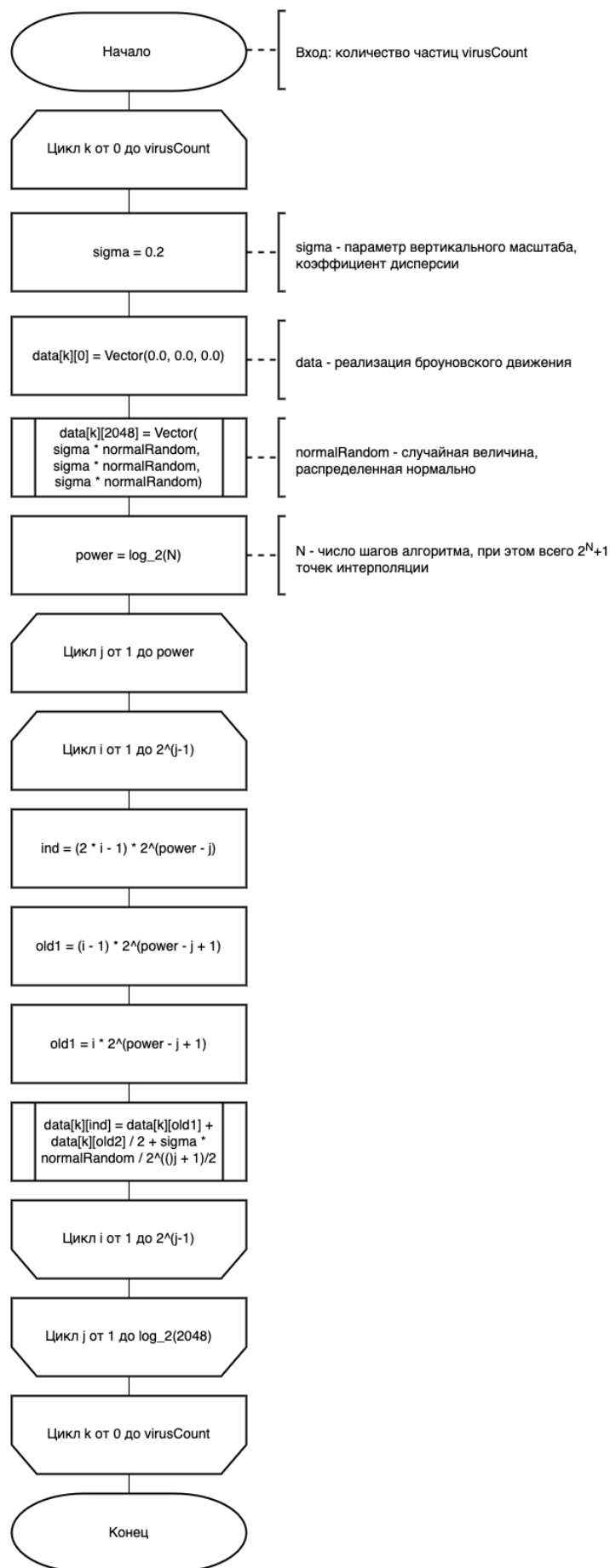


Рисунок 2.1 — Схема алгоритма срединных смещений



## 2.2 Алгоритмы отрисовки

Схема алгоритма Z-буфера изображена на рисунке 2.2.

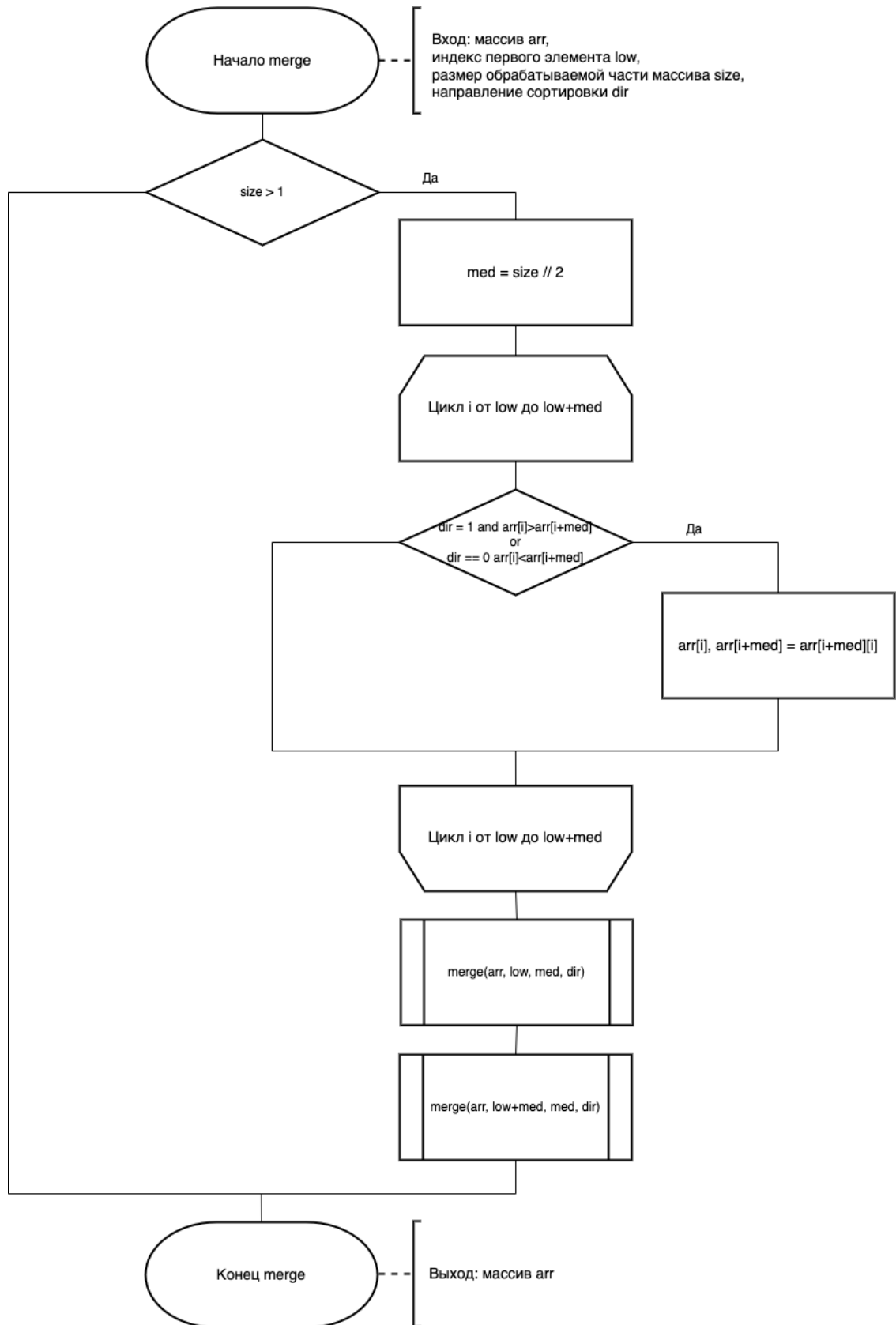


Рисунок 2.2 — Схема алгоритма Z-буфер

Схема алгоритма закрашки по Гуро изображена на рисунке 2.3.

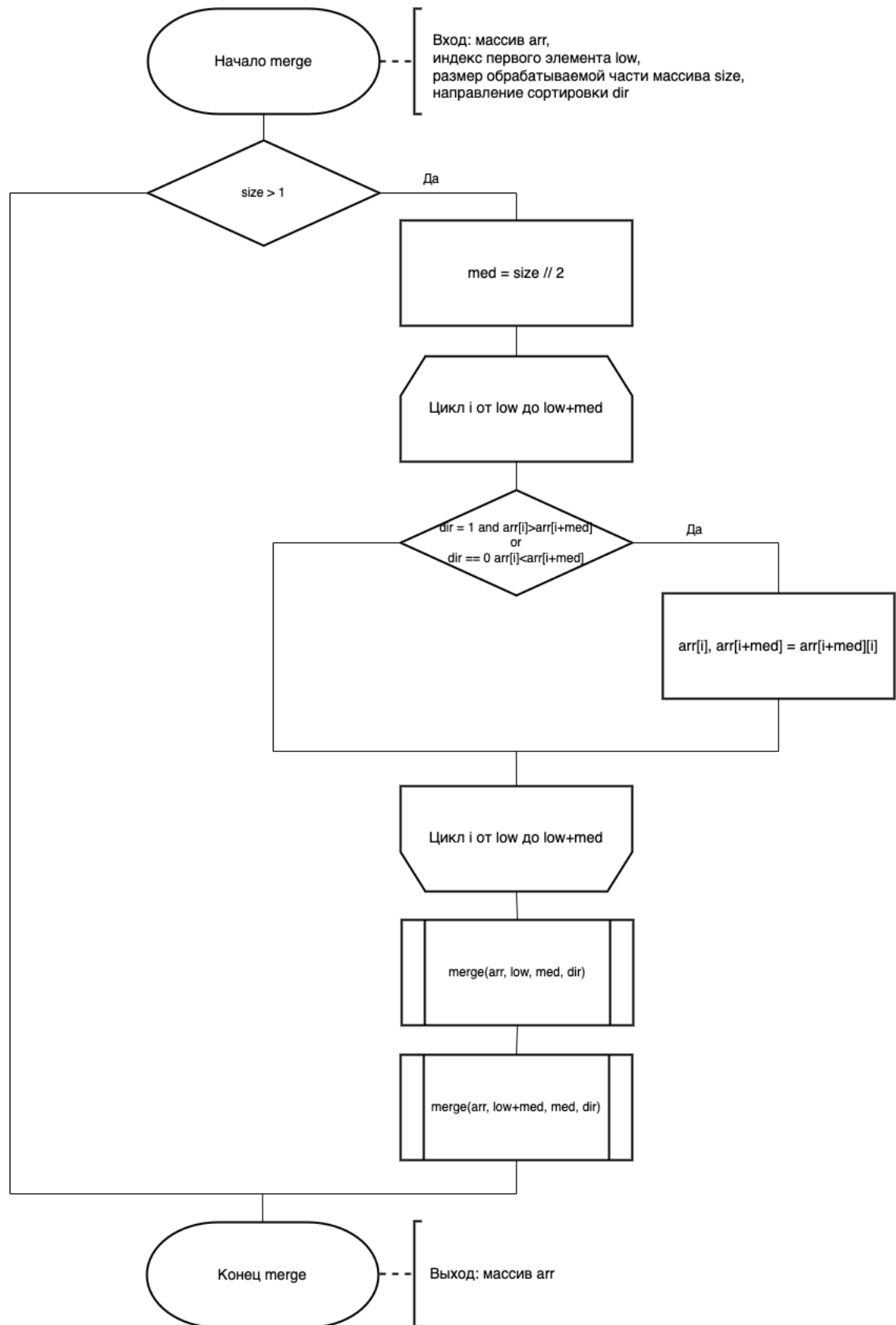


Рисунок 2.3 — Схема алгоритма закрашки по Гуро

## 2.3 Диаграмма классов

На рисунке 2.4 представлена диаграмма классов.

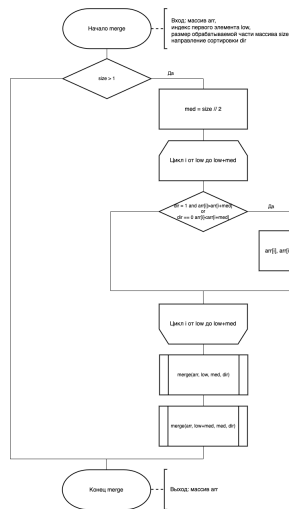


Рисунок 2.4 — Диаграмма классов

Классы объектов сцены:

- Model (класс трёхмерных объектов с возможностью перемещения, масштабирования и поворота вокруг собственного центра);
- Camera (класс камеры с возможностью перемещения);
- LightSourcePoint (класс источника освещения с возможностью) перемещения по сцене и изменения мощности.

Вспомогательные классы сцены:

- Scene (контейнер, который содержит в себе объекты сцены).

## Вывод

В данном разделе были рассмотрены схемы алгоритмов, использованных при отрисовке сцены, а также диаграмма классов.

### 3 Технологический раздел

В данном разделе будет обоснован выбор языка программирования и среды разработки, представлены реализации алгоритмов и рассмотрен интерфейс программы.

#### 3.1 Требования к программному обеспечению

Программа должна предоставлять доступ к функционалу:

- возможность выбора материала покрытия пола и стен из предложенных вариантов (дерево, бумага(обои), керамика(плитка));
- изменение скорости движения частиц;
- изменение количества частиц инфекции;
- включение и выключение работы модели распространения частиц;
- вращение, перемещение и масштабирование модели.

#### 3.2 Средства реализации

В качестве языка программирования для реализации курсовой работы использовался язык программирования C++ [1], т.к. он содержит возможности для работы с массивами и нативными потоками. В качестве среды разработки использовалась Visual Studio Code [2]. Для замеров времени использовалась функция `time()` из заголовочного файла `time.h` [1]. Для отображения результирующих данных в виде графиков была использована библиотека языка Python `matplotlib` [3].

#### 3.3 Реализация алгоритмов

В листингах 3.1 – 3.2 представлена реализация алгоритмов моделирования броуновского движения и отрисовки сцены.

Листинг 3.1 — Реализация вспомогательной функции вычисления распределенной нормально случайной величины

```
1 float BrownianMotion::getNormalRandom()
2 {
3     static default_random_engine e;
4     static uniform_real_distribution< double > dis(-0.15, 0.15);
5     return dis(e);
6 }
```

Листинг 3.2 — Реализация расчета изменения координат центров частиц (броуновское движение)

```
1  void BrownianMotion::setVirusCountAndResetAllIfNeeded(int newVirusCount)
2  {
3      if (virusCount == newVirusCount)
4      {
5          return;
6      }
7      virusCount = newVirusCount;
8      float sigma = 0.2;
9      data = std::vector<std::vector<Vector3f>>(virusCount,
10         std::vector<Vector3f>(SIZE + 1));
11  for (int k = 0; k < virusCount; k++)
12  {
13      data.at(k).at(0) = Vector3f(0.0, 0.0, 0.0);
14      data.at(k).at(SIZE) = Vector3f(sigma * getNormalRandom(), sigma *
15         getNormalRandom(), sigma * getNormalRandom());
16      for (int j = 1; j <= POWER; j++)
17      {
18          for (int i = 1; i <= pow(2, (j - 1)); i++)
19          {
20              int ind = (2 * i - 1) * pow(2, POWER - j);
21              int old1 = (i - 1) * pow(2, POWER - j + 1);
22              int old2 = i * pow(2, POWER - j + 1);
23              data.at(k).at(ind).x = (data.at(k).at(old1).x +
24                 data.at(k).at(old2).x) / 2 + sigma * getNormalRandom() /
25                 pow(2, (j + 1) / 2);
26              data.at(k).at(ind).y = (data.at(k).at(old1).y +
27                 data.at(k).at(old2).y) / 2 + sigma * getNormalRandom() /
28                 pow(2, (j + 1) / 2);
29              data.at(k).at(ind).z = (data.at(k).at(old1).z +
30                 data.at(k).at(old2).z) / 2 + sigma * getNormalRandom() /
31                 pow(2, (j + 1) / 2);
32          }
33      }
34  }
```

## Вывод

В данном разделе были перечислены требования к ПО, средства разработки, с помощью которых были реализованы последовательный и параллельный алгоритмы сортировки массивов, приведены листинги реализаций каждого из алгоритмов, а также тесты к ним.

## 4 Исследовательский раздел

В данном разделе приведено сравнение алгоритмов по времени работы. Все параметры замерялись на устройстве со следующими техническими характеристиками:

- операционная система macOS Monterey 12.6 [4];
- оперативная память 16 Гб;
- процессор 2,3 ГГц 8-ядерный Intel Core i9 9 поколения [5].

Во время замеров ноутбук был подключен к сети питания и нагружен только приложениями, использующимися при замерах.

### 4.1 Измерение времени работы реализаций алгоритмов

Процессорное время замерялось при помощи функции `time` из заголовочного файла `time.h` [1]. Результаты сформированы в виде графиков при помощи библиотеки `matplotlib` [3]. Каждый алгоритм был выполнен 30 раз, а затем время усреднялось. Время было замерено на случайно сформированных массивах.

Результаты замеров представлены в таблице 4.1.

На рисунках 4.1 на осях X указано количество элементов во входном массиве. Время на осях Y указано в секундах.

Таблица 4.1 — Результаты замеров

Количество частиц вируса	Время отрисовки сцены (в миллисекундах)
1	235.0
10	255.0
20	265.0
40	295.0
60	330.0
100	390.0
150	460.0
200	550.0
250	620.0
300	680.0
400	830.0
500	1000.0
600	1130.0

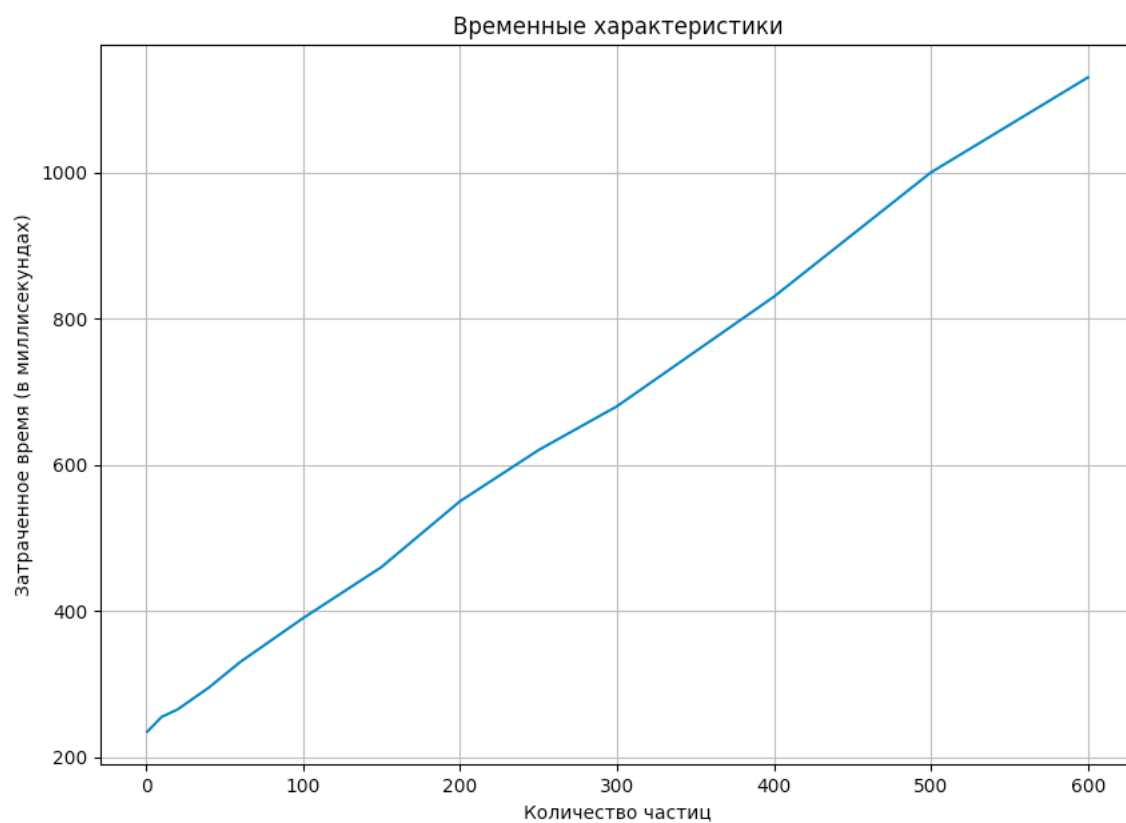


Рисунок 4.1 — Результаты замеров времени реализаций алгоритма битонной сортировки для разного количества потоков (количество элементов в массиве равно 1024)

## **Вывод**

В результате эксперимента можно сделать вывод, что при использовании 8 потоков, многопоточная реализация алгоритма битонной сортировки лучше реализации без многопоточности в среднем на 35% при количестве элементов в массиве равном 1024.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения курсовой работы была разработана программа с пользовательским интерфейсом, которая предоставляет функционал для моделирования броуновского движения частиц коронавирусной инфекции в помещении с учетом скорости их распространения и времени жизни на разных поверхностях. Были решены следующие задачи:

- рассмотрены алгоритмы удаления невидимых линий и поверхностей и методы закраски;
- проанализированы алгоритмы моделирования броуновского движения;
- выбраны и реализованы подходящие для решения поставленной задачи алгоритмы;
- формализована модель, представлена диаграмма классов;
- проведен анализ производительности программного обеспечения.

В ходе замеров было выяснено, что скорость отрисовки сцены линейно зависит от количества частиц вируса.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Документация языка C++ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.open-std.org/jtc1/sc22/wg21/docs/papers/2013/n3690.pdf> (дата обращения: 13.11.2022).
2. Visual Studio Code [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://code.visualstudio.com/docs> (дата обращения: 20.09.2022).
3. Документация библиотеки matplotlib [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://matplotlib.org> (дата обращения: 25.09.2022).
4. macOS Monterey [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.apple.com/macos/monterey/> (дата обращения: 30.09.2022).
5. Процессор Intel Core i9 9 поколения [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ark.intel.com/content/www/ru/ru/ark/products/97539/intel-core-i57260u-processor-4m-cache-up-to-3-40-ghz.html> (дата обращения: 13.11.2022).