



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 информационные технологии»

---

## Отчет по лабораторной работе №5 по курсу «Анализ алгоритмов»

Тема Организация асинхронного взаимодействия потоков на примере моделирования  
конвейерной обработки данных

---

Студент Золотухин А.В.

---

Группа ИУ7-54Б

---

Оценка (баллы)

---

Преподаватели Волкова Л.Л., Строганов Ю.В.

---

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>1 Аналитическая часть</b>	<b>4</b>
1.1 Описание конвейерной обработки данных . . . . .	4
1.2 Алгоритм обратной трассировки лучей . . . . .	4
1.3 Требования к программе . . . . .	5
<b>2 Конструкторская часть</b>	<b>7</b>
2.1 Разработка алгоритмов . . . . .	7
2.2 Возможности пользователя . . . . .	9
2.3 Диаграмма последовательности взаимодействия конвейерных линий . . . . .	10
<b>3 Технологическая часть</b>	<b>11</b>
3.1 Средства реализации . . . . .	11
3.2 Сведения о модулях программы . . . . .	11
3.3 Реализация алгоритмов . . . . .	12
3.4 Тестирование . . . . .	13
<b>4 Исследовательская часть</b>	<b>15</b>
4.1 Технические характеристики . . . . .	15
4.2 Демонстрация работы программы . . . . .	15
4.3 Сравнение времени работы реализаций последовательного ал- горитма и конвейерного при разном количестве пикселей . .	18
4.4 Сравнение времени работы реализаций последовательного ал- горитма и конвейерного при разном количестве объектов на сцене . . . . .	20
<b>Заключение</b>	<b>22</b>
<b>Список использованных источников</b>	<b>23</b>
<b>Приложение А</b>	<b>24</b>

# Введение

Конвейер — способ организации вычислений, используемый в современных процессорах и контроллерах с целью повышения их производительности (увеличения числа инструкций, выполняемых в единицу времени — эксплуатация параллелизма на уровне инструкций), технология, используемая при разработке компьютеров и других цифровых электронных устройств.

Сам термин «конвейер» пришёл из промышленности, где используется подобный принцип работы — материал автоматически подтягивается по ленте конвейера к рабочему, который осуществляет с ним необходимые действия, следующий за ним рабочий выполняет свои функции над получившейся заготовкой, следующий делает ещё что-то и т.д. Таким образом, к концу конвейера цепочка рабочих полностью выполняет все поставленные задачи, сохраняя высокий темп производства.

Целью данной лабораторной работы является получение навыков организации асинхронного взаимодействия потоков на примере моделирования конвейерной обработки данных.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи.

- описание задачи, для которой будет построена конвейерная обработка данных;
- описание архитектуры программы, принципы и алгоритмы обработки лент конвейера;
- реализация конвейерной системы;
- сбор лога событий с указанием времени их происхождения;
- описание и обоснование полученных результатов.

# 1 Аналитическая часть

В данном разделе представлены теоретические сведения о рассматриваемых алгоритмах.

## 1.1 Описание конвейерной обработки данных

Вычислительный конвейер предполагает перемещение команд или данных по этапам цифрового вычислительного конвейера со скоростью, не зависящей от протяжённости конвейера (количества этапов), а зависит только от скорости подачи информации на конвейерные этапы [1]. Скорость задаётся временем, в течение которого один компонент вычислительной операции способен пройти каждый этап, то есть самой большой задержкой на этапе, который выполняет отдельная подзадача. Это также означает, что скорость вычислений задаётся и скоростью поступления информации на вход конвейера.

В случае, когда какая-либо функция выполняется за временной интервал  $T$ , но имеется возможность её деления на поочерёдное исполнение  $N$  подфункций, то в идеальном конвейере, если вычисление этой функции повторяется многократно, возможно её исполнение за временной период  $\frac{T}{N}$ , то есть в  $N$  раз увеличить производительность.

## 1.2 Алгоритм обратной трассировки лучей

Из виртуального глаза через каждый пиксель изображения испускается луч и находится точка его пересечения с поверхностью сцены [2]. Лучи, выпущенные из глаза называют первичными. Пусть, первичный луч пересекает некий объект 1 в точке  $H1$ . Далее необходимо определить для каждого источника освещения, видна ли из него эта точка. Тогда к каждому точечному источнику света испускается теневой луч из точки  $H1$ . Если теневой луч находит пересечение с другими объектами, расположенными ближе чем источник света, значит, точка  $H1$  находится в тени от этого

источника. Иначе, освещение считается по некоторой локальной модели. При прохождении через частицу дыма цвет пикселя будет изменен, будет уменьшена интенсивность.

Таким образом, задача трассировки лучей может быть разделена на следующие подзадачи.

1. Нахождение цвета пикселя алгоритмом обратной трассировки лучей.
2. Изменение цвета пикселя с учётом тени.
3. Изменение цвета пикселя с учётом дыма.
4. Отрисовка пикселя на экран.

## 1.3 Требования к программе

К программе предъявлены следующие требования.

1. Заявки должны последовательно проходить конвейерные линии в заданном порядке.
2. Для реализации конвейерных линий должны использоваться нативные потоки.
3. Последняя заявка должна быть пустая, при её поступлении конвейерная линия должна сперва передать её на следующую очередь, а затем завершить свою работу.
4. Конвейерная линия должна ожидать поступления нового элемента, если её очередь пуста.
5. Программа должна записывать в лог-файл время начала и конца обработки заявки на каждой конвейерной линии.
6. Программа должна замерять время выполнения реализаций алгоритмов.

## Вывод

В данном разделе было представлено описание алгоритма обратной трассировки лучей и описание работы конвейера, выдвинуты требования к разрабатываемой программе.

## 2 Конструкторская часть

В этом разделе приведены схемы алгоритмов линии конвейера и последовательного алгоритма обратной трассировки лучей, а также описаны возможности пользователя и приведена диаграмма взаимодействия конвейерных линий.

### 2.1 Разработка алгоритмов

На рисунках 2.2, 2.1 представлены схемы алгоритмов линии конвейера и последовательного алгоритма обратной трассировки лучей. Алгоритм обработки данных на линии конвейера представлен в универсальном виде, конкретизация выполняемой работы связана с блоком predeterminededного процесса Action.

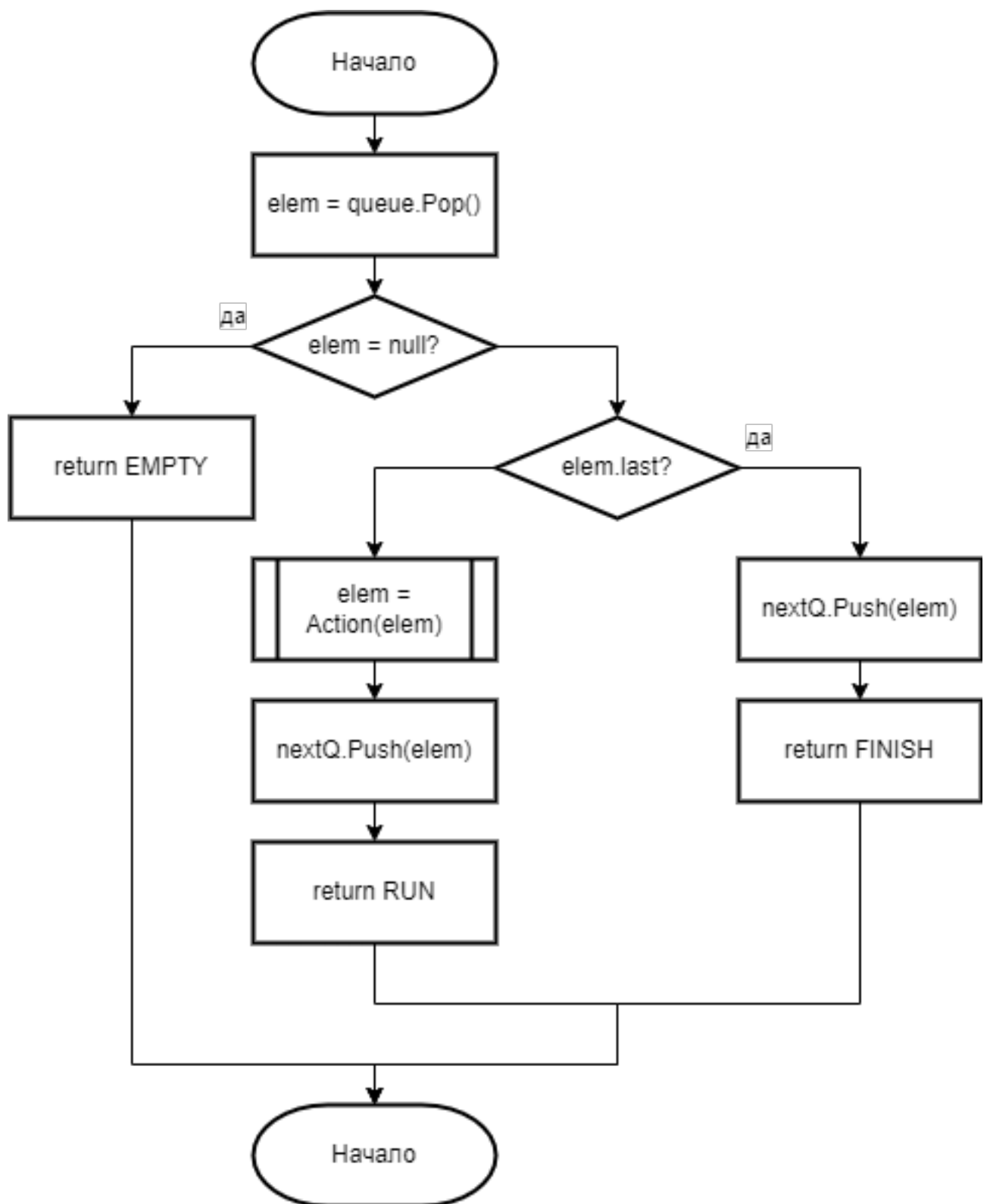


Рисунок 2.1 – Схема алгоритма линии конвейера



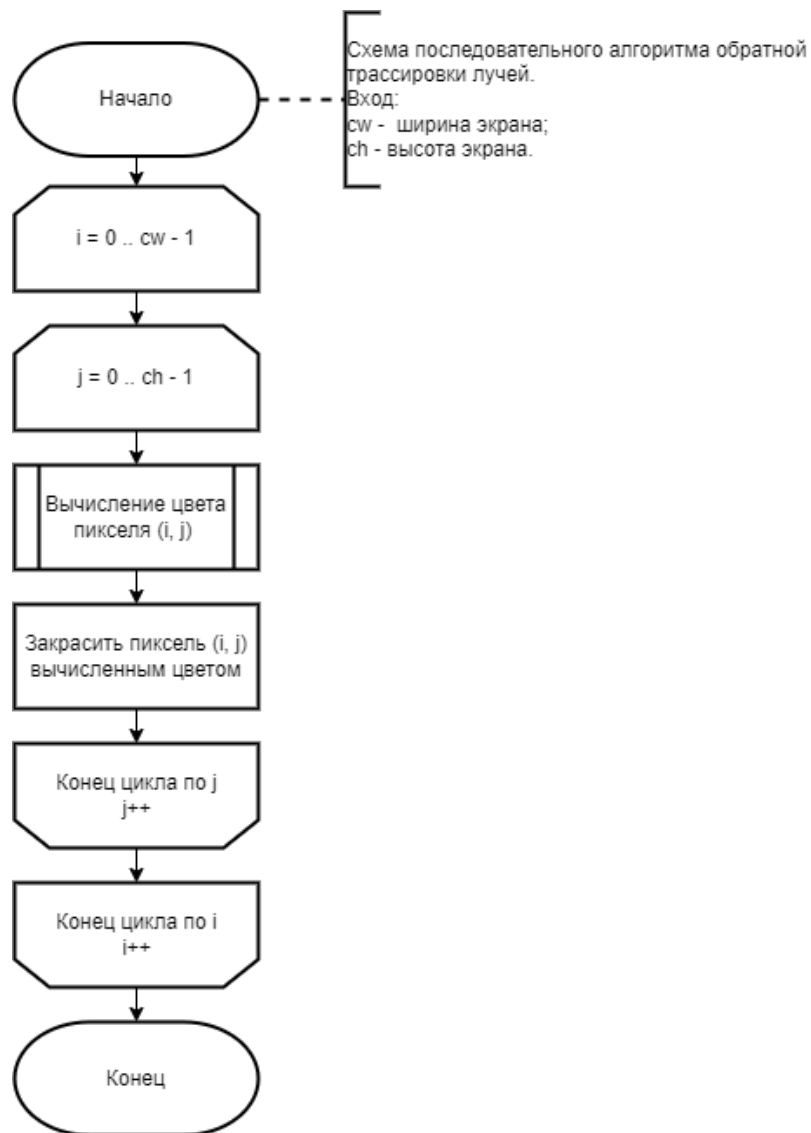


Рисунок 2.2 – Схема последовательного алгоритма обратной трассировки лучей

## 2.2 Возможности пользователя

В списке приведены описания пунктов меню.

1. Пользователь вводит количество частиц, размер частиц, время симуляции. Программа выводит сгенерированное изображение на экран.
2. Программа выводит таблицу с временами выполнения реализаций алгоритма обратной трассировки лучей при разном количестве заявок.
3. Программа пишет лог обработки заявок в файл.

4. Программа выводит таблицу с временами выполнения реализаций алгоритма обратной трассировки лучей при разном количестве объектов.

## 2.3 Диаграмма последовательности взаимодействия конвейерных линий

На рисунке 2.3 представлена диаграмма последовательности взаимодействия конвейерных линий.

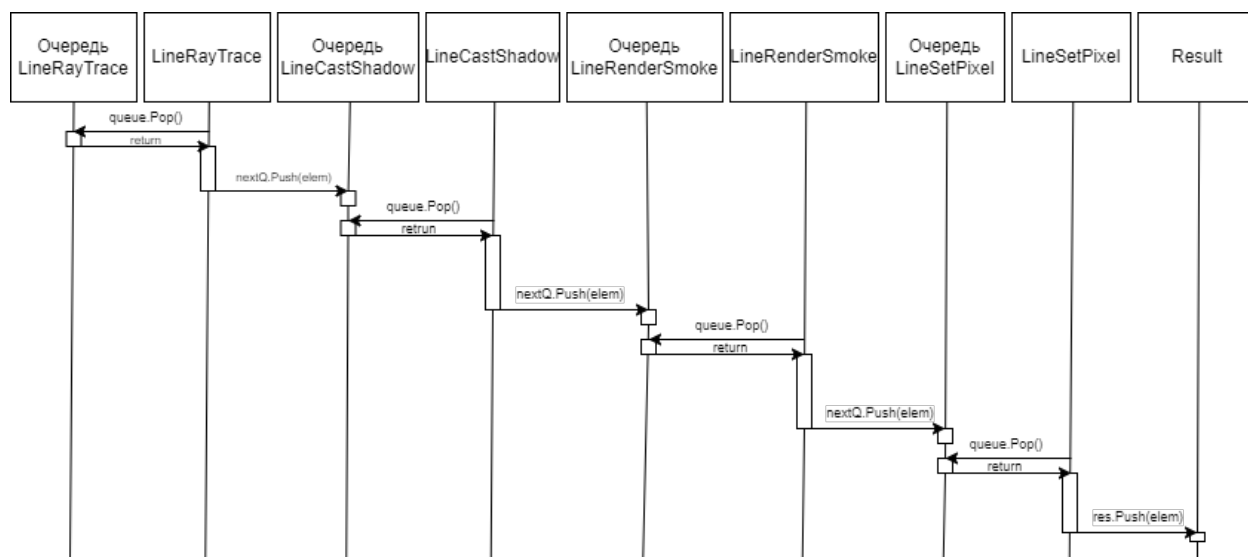


Рисунок 2.3 – Диаграмма взаимодействия конвейерных линий

## Вывод

Были приведены схемы алгоритмов линии конвейера и последовательного алгоритма обратной трассировки лучей, а также описаны возможности пользователя и приведена диаграмма последовательности взаимодействия конвейерных линий.

## 3 Технологическая часть

В данном разделе даны общие требования к программе, средства реализации и сама реализация алгоритмов.

### 3.1 Средства реализации

В качестве языка программирования для реализации данной лабораторной работы был выбран язык программирования C# [3], т.к. его средств достаточно для реализации поставленной задачи.

Также в этом языке используются нативные потоки [4] из библиотеки System.Threading.

Время работы алгоритмов было замерено с помощью класса Stopwatch [5], т.к. необходимо измерить общее время выполнения алгоритма.

В качестве очередей был использован класс `ConcurrentQueue<T>` который предоставляет потокобезопасную коллекцию, обслуживаемую по принципу «первым поступил — первым обслужен» (FIFO) [6].

### 3.2 Сведения о модулях программы

Программа состоит из следующих модулей.

1. `Programm.cs` — главный файл программы, в котором располагается код меню.
2. `Scene.cs` — файл с классом сцены в котором располагаются методы исследуемых алгоритмов.
3. `Composite.cs`, `Cube.cs`, `LightSource.cs`, `LockBitmap.cs`, `Ray.cs`, `Trace.cs`, `SceneObject.cs`, `Sphere.cs`, `Smoke.cs`, `Smoker.cs`, `Particle.cs` — файлы с кодами классов, необходимых для реализации обратной трассировки лучей.
4. `Line.cs` — файл с кодами классов конвейерных линий.
5. `Query.cs` — файл с классом заявки.

### 3.3 Реализация алгоритмов

В листинге 3.1 представлена реализация алгоритма обратной трассировки лучей.

Листинг 3.1 – Последовательный алгоритм обратной трассировки лучей

```
1 public void RenderFollow()
2 {
3     for (int i = 0; i < Cw; i++)
4         for (int j = 0; j < Ch; j++)
5             {
6                 Trace t = TraceRay(i, j);
7                 CastShadow(t);
8                 RenderSmoke(t);
9                 bmp.SetPixel(i, j, t.Color);
10            }
11 }
```

В листинге 3.2 представлен базовый класс линии конвейера.

Листинг 3.2 – Класс линии конвейера

```
1 abstract class LineBase
2 {
3     protected Scene scene;
4     protected ConcurrentQueue<Query> myQueue;
5     protected Stopwatch start;
6     protected LineBase nextLine;
7     public LineBase(Scene scene, Stopwatch start)
8     {
9         this.start = start;
10        this.scene = scene;
11    }
12    public void RunLine()
13    {
14        Condition result = Condition.Run;
15        while (result != Condition.Finish)
16            result = ProcessElem();
17    }
18    virtual protected Condition ProcessElem()
19    {
20        Query element = PopElem();
```

```

21         if (element != null)
22         {
23             if (element.last)
24                 return FinishLine(element);
25             Query q = Action(element);
26             nextLine.PushElem(q);
27         }
28         else
29         {
30             return Condition.Empty;
31         }
32         return Condition.Run;
33     }
34     abstract protected Query Action(Query arg);
35     protected Condition FinishLine(Query arg)
36     {
37         nextLine.PushElem(arg);
38         return Condition.Finish;
39     }
40     protected Query PopElem()
41     {
42         myQueue.TryDequeue(out Query query);
43         return query;
44     }
45     protected void PushElem(Query arg)
46     {
47         myQueue.Enqueue(arg);
48     }
49 }

```

### 3.4 Тестирование

Тестирование выполнено по методологии белого ящика. Полученное изображение 3.1 является правильным по результатам экспертной оценки.

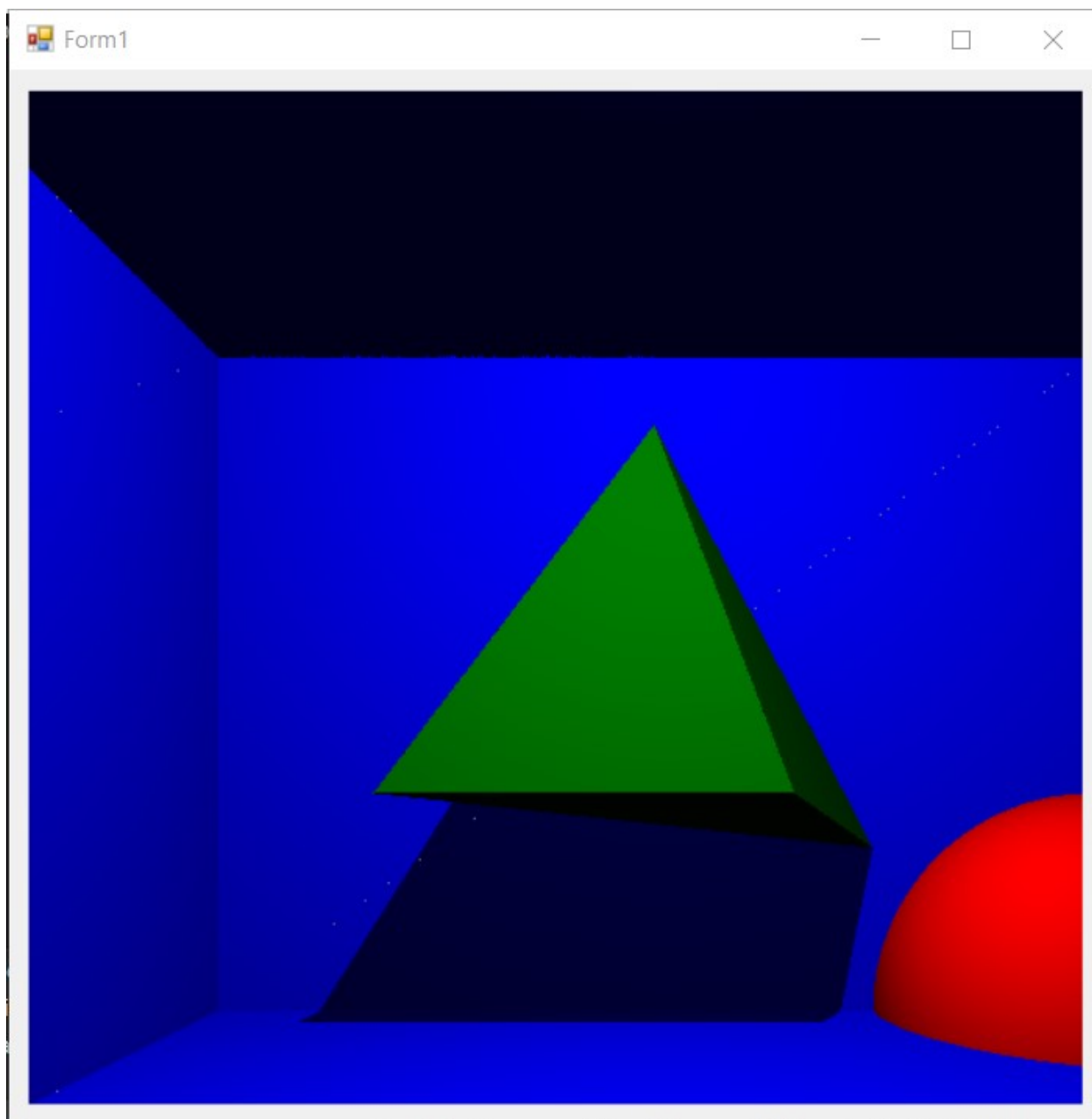


Рисунок 3.1 – Полученное изображение в результате работы алгоритма

## Вывод

Были реализованы алгоритмы, а именно алгоритм линии конвейера и последовательный алгоритм обратной трассировки лучей.

## 4 Исследовательская часть

В данном разделе приведены примеры работы программ, постановка эксперимента и сравнительный анализ алгоритмов на основе полученных данных.

### 4.1 Технические характеристики

Технические характеристики устройства, на котором выполнялось исследование, следующие.

1. Операционная система: Windows 10 Корпоративная, Версия 21H1, Сборка ОС 19043.2006.
2. Оперативная память: 8 ГБ.
3. Процессор: AMD Ryzen 5 4600H с видеокартой Radeon Graphics 3.00 ГГц [7].

Исследование проводилось на ноутбуке, включенном в сеть электропитания. Во время исследования ноутбук был нагружен только операционной системой и фоновыми приложениями.

### 4.2 Демонстрация работы программы

На рисунках 4.1, 4.2, 4.3, представлены результат работы реализации алгоритма обратной трассировки лучей.

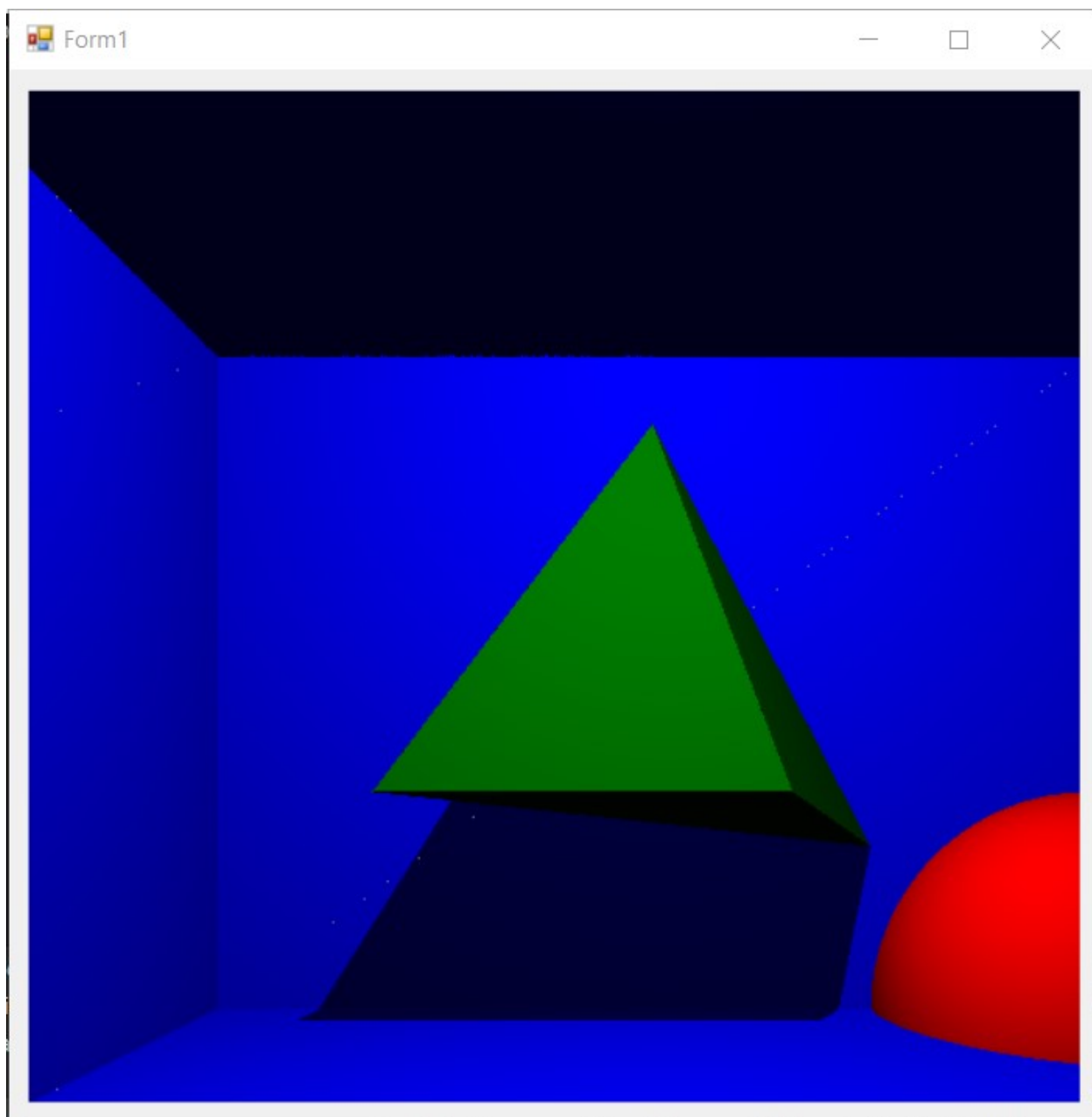


Рисунок 4.1 – Демонстрация работы программы в графическом интерфейсе без дыма



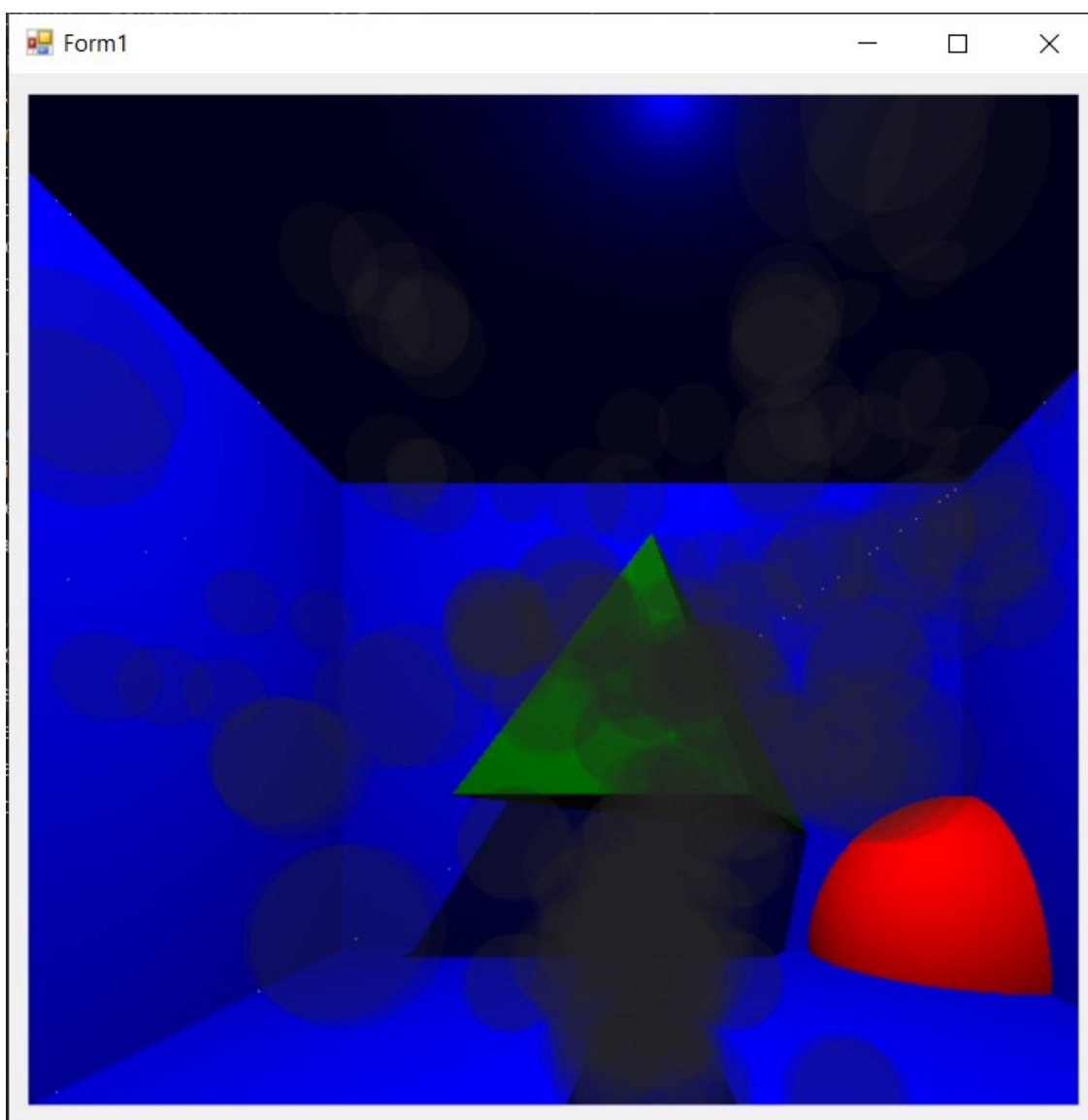
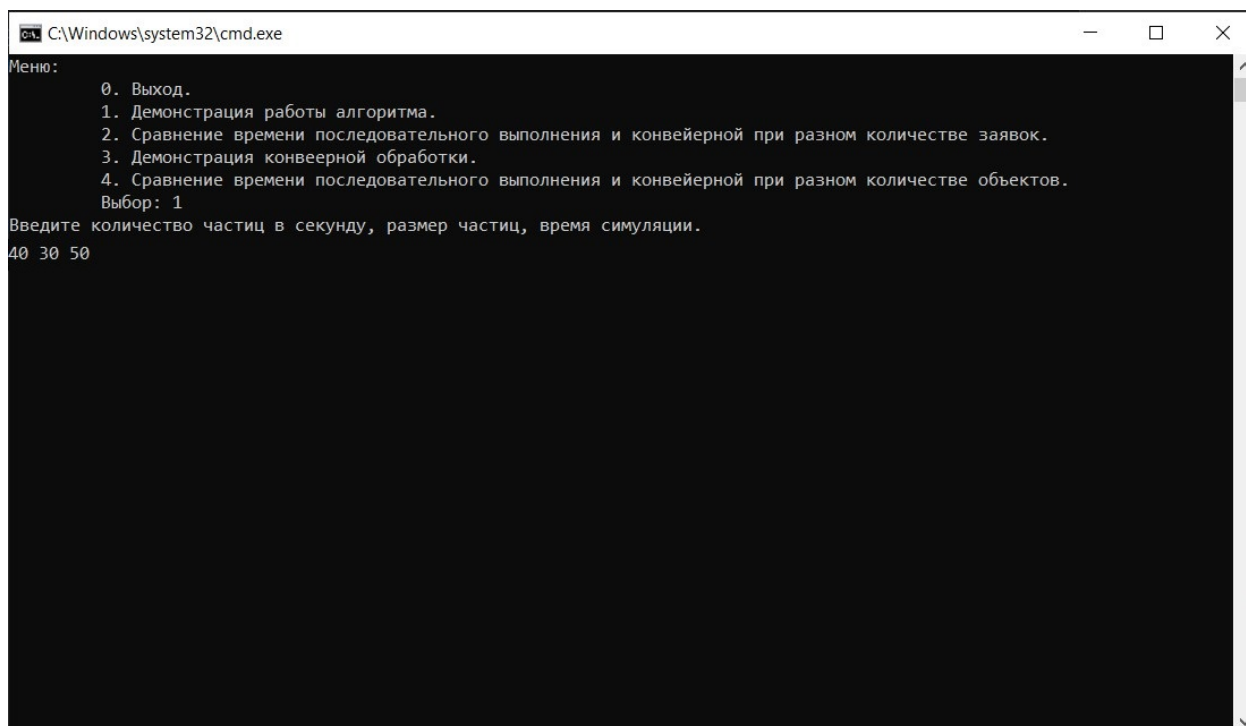


Рисунок 4.2 – Демонстрация работы программы в графическом интерфейсе с дымом



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Меню:
0. Выход.
1. Демонстрация работы алгоритма.
2. Сравнение времени последовательного выполнения и конвейерной при разном количестве заявок.
3. Демонстрация конвейерной обработки.
4. Сравнение времени последовательного выполнения и конвейерной при разном количестве объектов.
Выбор: 1
Введите количество частиц в секунду, размер частиц, время симуляции.
40 30 50
```

Рисунок 4.3 – Демонстрация работы программы в консоли

Пример лог-файла приведен в приложении А.

### 4.3 Сравнение времени работы реализаций последовательного алгоритма и конвейерного при разном количестве пикселей

Замеры времени для каждого количества заявок проводились 50 раз. В качестве результата взято среднее время работы алгоритма на данном количестве заявок. Результаты замеров времени (секунды) приведены в таблице 4.1. На рисунке 4.4, приведена зависимость времени работы реализаций алгоритмов при последовательном и конвейерном выполнении от количества заявок’.

Таблица 4.1 – Время выполнения реализаций алгоритма обратной трассировки лучей при конвейерном и последовательном выполнении

Количество пикселей	Последовательное	Конвейерное
38400	18.561	16.652
76800	37.364	33.513
115200	56.002	50.518
153600	74.269	67.199
230400	111.498	101.034
307200	148.789	135.163
345600	167.347	152.163
460800	223.285	202.800

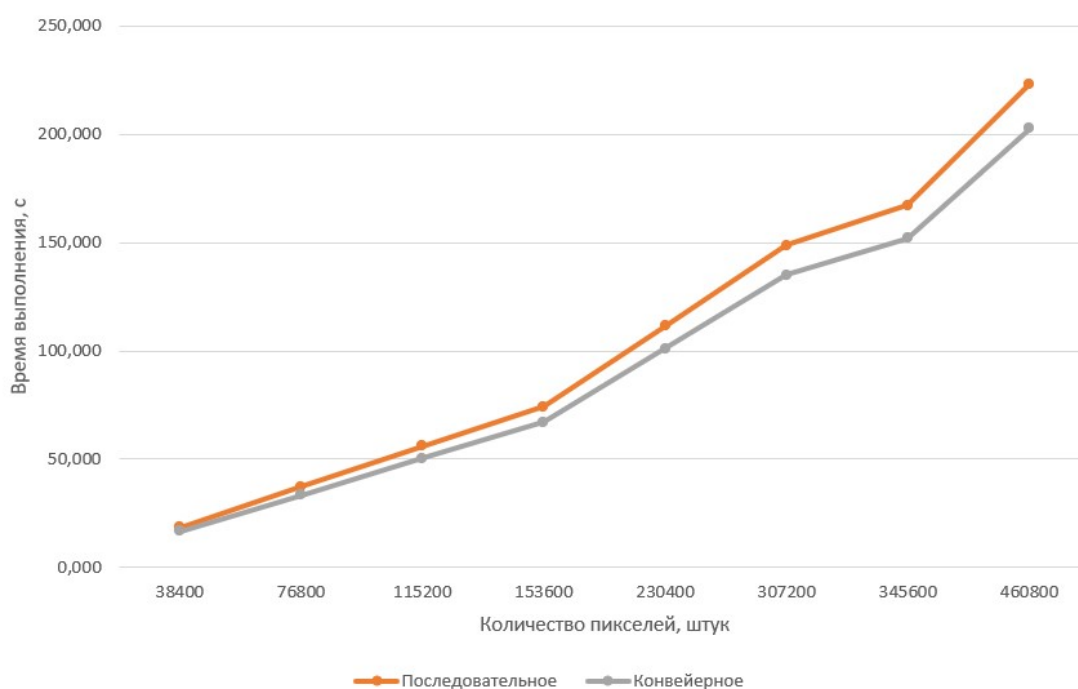


Рисунок 4.4 – Зависимость времени выполнения реализаций алгоритма обратной трассировки лучей при конвейерном и последовательном выполнении от количества пикселей

Конвейерная реализация работает быстрее, чем последовательная на 10 – 12%.

## 4.4 Сравнение времени работы реализаций последовательного алгоритма и конвейерного при разном количестве объектов на сцене

Замеры времени для каждого количества объектов проводились 50 раз. В качестве результата взято среднее время работы реализации алгоритма на данном количестве объектов. Под объектом понимается отдельная поверхность, т.е. плоскость полигона или сфера. Результаты замеров времени (секунды) приведены в таблице 4.2. На рисунке 4.5 приведена зависимость времени работы реализаций алгоритмов при последовательном и конвейерном исполнении от количества объектов на сцене.

Таблица 4.2 – Время выполнения реализаций алгоритмов при последовательном и конвейерном выполнении от количества объектов на сцене

Количество объектов	Последовательный	Конвейерный
4	0.7596	0.8106
104	0.8134	0.8158
204	0.8676	0.8624
304	0.9214	0.8768
404	0.9694	0.901
504	1.0156	0.9428
604	1.0656	0.9596
704	1.1096	0.9704
804	1.1554	1.012
904	1.2014	1.0124

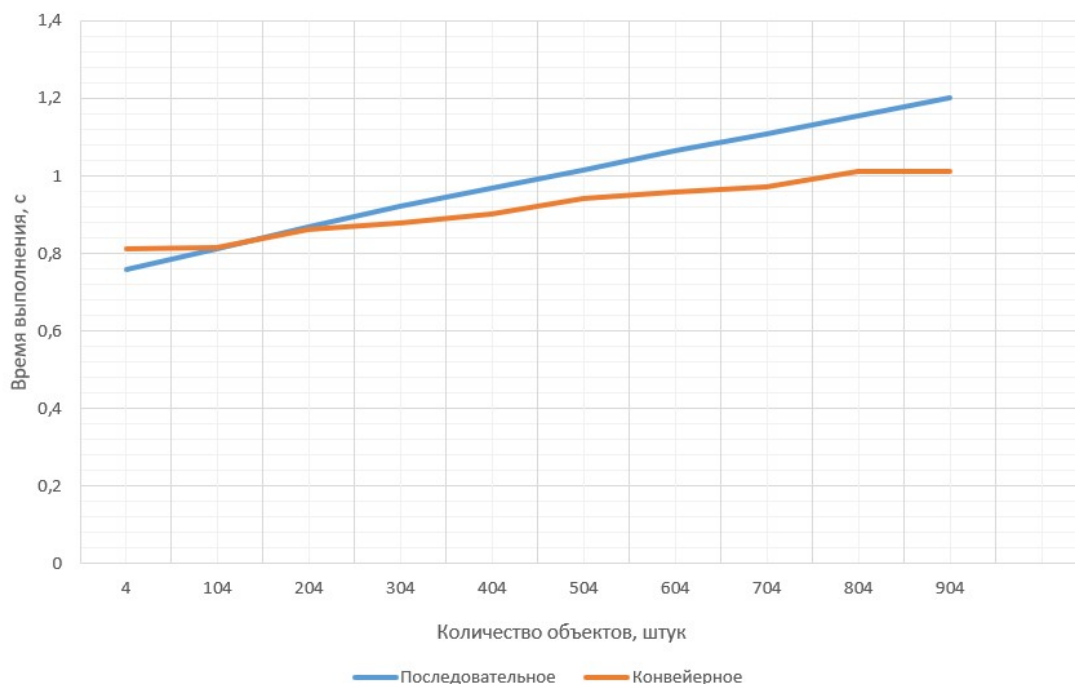


Рисунок 4.5 – Зависимость времени работы реализаций алгоритмов при последовательном и конвейерном выполнении от количества объектов на сцене

Реализация последовательного алгоритма работает быстрее реализации конвейерного, если объектов на сцене меньше, чем 104. Это объясняется тем, что время, затраченное на создание потоков конвейерных линий, их обслуживание и переключивание заявок из очереди в очередь превышает время, выигранное при параллельной обработке.

## Вывод

В данном разделе было произведено сравнение времени выполнения реализации алгоритма трассировки лучей при последовательной реализации и конвейерной. Результат показал, что если объектов на сцене меньше, чем 104, то последовательная реализация эффективнее по времени, чем конвейерная.

# Заключение

В ходе выполнения лабораторной работы были решены следующие задачи:

- описана задача, для которой будет построена конвейерная обработка данных;
- описаны архитектура программы, принципы и алгоритмы обработки лент конвейера;
- реализована конвейерная система;
- собран лог событий с указанием времени их происхождения;
- описаны и обоснованы полученные результаты.

Поставленная цель достигнута: получены навыки организации асинхронного взаимодействия потоков на примере моделирования конвейерной обработки данных.

В результате исследований можно прийти к выводу, что конвейерная реализация алгоритма обратной трассировки лучей эффективнее по времени, чем последовательная на 10 – 12 %.

Также было подтверждено, что если объектов на сцене меньше, чем 104, то последовательная реализация эффективнее по времени, чем конвейерная.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Конвейеризация как средство повышения производительности ЭВМ [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://spravochnick.ru/informatika/konveyerizaciya\\_kak\\_sredstvo\\_povysheniya\\_proizvoditelnosti\\_evm](https://spravochnick.ru/informatika/konveyerizaciya_kak_sredstvo_povysheniya_proizvoditelnosti_evm) (дата обращения: 02.12.2022).
2. Обратная трассировка лучей. Режим доступа: <http://www.ray-tracing.ru/articles206.html> (дата обращения: 02.12.2022).
3. Краткий обзор языка C# [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/tour-of-csharp/> (дата обращения: 25.09.2022).
4. Работа с потоками в C# [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rsdn.org/article/dotnet/CSThreading1.xml> (дата обращения 16.11.2022).
5. Stopwatch Класс [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.diagnostics.stopwatch?view=net-6.0> (дата обращения: 16.11.2022).
6. ConcurrentQueue<T> Класс [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.collections.concurrent.concurrentqueue-1?redirectedfrom=MSDN&view=netframework-4.7.2> (дата обращения: 29.11.2022).
7. AMD Ryzen™ 5 4600H [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.amd.com/ru/products/apu/amd-ryzen-5-4600h> (дата обращения: 25.09.2022).

# Приложение А

On line TraceRay element 0 starts at 5732  
On line TraceRay element 0 finishes at 6814  
On line TraceRay element 1 starts at 6829  
On line TraceRay element 1 finishes at 7831  
On line TraceRay element 2 starts at 7840  
On line CastShadow element 0 starts at 8528  
On line TraceRay element 2 finishes at 8839  
On line TraceRay element 3 starts at 8848  
On line CastShadow element 0 finishes at 9400  
On line CastShadow element 1 starts at 9414  
On line TraceRay element 3 finishes at 9601  
On line TraceRay element 4 starts at 9605  
On line TraceRay element 4 finishes at 10059  
On line TraceRay element 5 starts at 10062  
On line CastShadow element 1 finishes at 10139  
On line CastShadow element 2 starts at 10148  
On line TraceRay element 5 finishes at 10511  
On line TraceRay element 6 starts at 10515  
On line CastShadow element 2 finishes at 10864  
On line CastShadow element 3 starts at 10872  
On line TraceRay element 6 finishes at 10969  
On line TraceRay element 7 starts at 10972  
On line TraceRay element 7 finishes at 11422  
On line TraceRay element 8 starts at 11425  
On line CastShadow element 3 finishes at 11608  
On line CastShadow element 4 starts at 11616  
On line TraceRay element 8 finishes at 11880  
On line TraceRay element 9 starts at 11884  
On line CastShadow element 4 finishes at 12329  
On line CastShadow element 5 starts at 12337  
On line TraceRay element 9 finishes at 12342  
On line TraceRay element 10 starts at 12346  
On line TraceRay element 10 finishes at 12794



On line TraceRay element 11 starts at 12803  
On line RenderSmoke element 0 starts at 12844  
On line CastShadow element 5 finishes at 13056  
On line CastShadow element 6 starts at 13065  
On line TraceRay element 11 finishes at 13266  
On line TraceRay element 12 starts at 13271  
On line TraceRay element 12 finishes at 13717  
On line TraceRay element 13 starts at 13720  
On line CastShadow element 6 finishes at 13793  
On line CastShadow element 7 starts at 13801  
On line TraceRay element 13 finishes at 14179  
On line TraceRay element 14 starts at 14183  
On line CastShadow element 7 finishes at 14513  
On line CastShadow element 8 starts at 14521  
On line TraceRay element 14 finishes at 14638  
On line TraceRay element 15 starts at 14642  
On line TraceRay element 15 finishes at 15089  
On line TraceRay element 16 starts at 15093  
On line CastShadow element 8 finishes at 15239  
On line CastShadow element 9 starts at 15247  
On line TraceRay element 16 finishes at 15547  
On line TraceRay element 17 starts at 15551  
On line CastShadow element 9 finishes at 15694  
On line CastShadow element 10 starts at 15703  
On line TraceRay element 17 finishes at 16012  
On line TraceRay element 18 starts at 16016  
On line CastShadow element 10 finishes at 16101  
On line CastShadow element 11 starts at 16110  
On line TraceRay element 18 finishes at 16478  
On line TraceRay element 19 starts at 16483  
On line CastShadow element 11 finishes at 16645  
On line CastShadow element 12 starts at 16656  
On line TraceRay element 19 finishes at 16934  
On line TraceRay element 20 starts at 16939

On line CastShadow element 12 finishes at 17366  
On line CastShadow element 13 starts at 17375  
On line TraceRay element 20 finishes at 17382  
On line TraceRay element 21 starts at 17386  
On line TraceRay element 21 finishes at 17838  
On line TraceRay element 22 starts at 17842  
On line CastShadow element 13 finishes at 18088  
On line CastShadow element 14 starts at 18096  
On line TraceRay element 22 finishes at 18287  
On line TraceRay element 23 starts at 18291  
On line TraceRay element 23 finishes at 18755  
On line TraceRay element 24 starts at 18758  
On line CastShadow element 14 finishes at 18808  
On line CastShadow element 15 starts at 18828  
On line TraceRay element 24 finishes at 19324  
On line TraceRay element 25 starts at 19328  
On line CastShadow element 15 finishes at 19589  
On line CastShadow element 16 starts at 19597  
On line TraceRay element 25 finishes at 19809  
On line TraceRay element 26 starts at 19813  
On line TraceRay element 26 finishes at 20265  
On line TraceRay element 27 starts at 20268  
On line CastShadow element 16 finishes at 20318  
On line CastShadow element 17 starts at 20326  
On line TraceRay element 27 finishes at 20712  
On line TraceRay element 28 starts at 20716  
On line CastShadow element 17 finishes at 20772  
On line CastShadow element 18 starts at 20780  
On line TraceRay element 28 finishes at 21170  
On line TraceRay element 29 starts at 21174  
On line CastShadow element 18 finishes at 21520  
On line CastShadow element 19 starts at 21528  
On line TraceRay element 29 finishes at 21625  
On line TraceRay element 30 starts at 21629

On line TraceRay element 30 finishes at 22086  
On line TraceRay element 31 starts at 22090  
On line CastShadow element 19 finishes at 22241  
On line CastShadow element 20 starts at 22249  
On line TraceRay element 31 finishes at 22552  
On line TraceRay element 32 starts at 22562  
On line CastShadow element 20 finishes at 22972  
On line CastShadow element 21 starts at 22980  
On line TraceRay element 32 finishes at 23021  
On line TraceRay element 33 starts at 23025  
On line RenderSmoke element 0 finishes at 23250  
On line RenderSmoke element 1 starts at 23269  
On line SetPixel element 0 starts at 23337  
On line SetPixel element 0 finishes at 23350  
On line TraceRay element 33 finishes at 23493  
On line TraceRay element 34 starts at 23498  
On line CastShadow element 21 finishes at 23694  
On line CastShadow element 22 starts at 23703  
On line TraceRay element 34 finishes at 23948  
On line TraceRay element 35 starts at 23951  
On line TraceRay element 35 finishes at 24395  
On line TraceRay element 36 starts at 24399  
On line CastShadow element 22 finishes at 24418  
On line CastShadow element 23 starts at 24427  
On line TraceRay element 36 finishes at 24854  
On line TraceRay element 37 starts at 24858  
On line CastShadow element 23 finishes at 25170  
On line CastShadow element 24 starts at 25179  
On line CastShadow element 24 finishes at 25207  
On line CastShadow element 25 starts at 25215  
On line TraceRay element 37 finishes at 25316  
On line TraceRay element 38 starts at 25320  
On line TraceRay element 38 finishes at 25765  
On line TraceRay element 39 starts at 25769

On line CastShadow element 25 finishes at 25955  
On line CastShadow element 26 starts at 25963  
On line CastShadow element 26 finishes at 25978  
On line CastShadow element 27 starts at 25986  
On line TraceRay element 39 finishes at 26231  
On line TraceRay element 40 starts at 26235  
On line TraceRay element 40 finishes at 26681  
On line TraceRay element 41 starts at 26685  
On line CastShadow element 27 finishes at 26699  
On line CastShadow element 28 starts at 26707  
On line TraceRay element 41 finishes at 27137  
On line TraceRay element 42 starts at 27140  
On line CastShadow element 28 finishes at 27430  
On line CastShadow element 29 starts at 27438  
On line TraceRay element 42 finishes at 27602  
On line TraceRay element 43 starts at 27606  
On line TraceRay element 43 finishes at 28056  
On line TraceRay element 44 starts at 28059  
On line CastShadow element 29 finishes at 28151  
On line CastShadow element 30 starts at 28159  
On line TraceRay element 44 finishes at 28516  
On line TraceRay element 45 starts at 28519  
On line CastShadow element 30 finishes at 28879  
On line CastShadow element 31 starts at 28887  
On line TraceRay element 45 finishes at 28969  
On line TraceRay element 46 starts at 28972  
On line CastShadow element 31 finishes at 29450  
On line CastShadow element 32 starts at 29460  
On line TraceRay element 46 finishes at 29521  
On line TraceRay element 47 starts at 29526  
On line CastShadow element 32 finishes at 29650  
On line CastShadow element 33 starts at 29654  
On line TraceRay element 47 finishes at 29989  
On line CastShadow element 33 finishes at 29991

On line TraceRay element 48 starts at 29993  
On line CastShadow element 34 starts at 29995  
On line CastShadow element 34 finishes at 30317  
On line CastShadow element 35 starts at 30322  
On line RenderSmoke element 1 finishes at 30350  
On line RenderSmoke element 2 starts at 30355  
On line SetPixel element 1 starts at 30356  
On line SetPixel element 1 finishes at 30361  
On line TraceRay element 48 finishes at 30441  
On line CastShadow element 35 finishes at 30649  
On line CastShadow element 36 starts at 30654  
On line CastShadow element 36 finishes at 30997  
On line CastShadow element 37 starts at 31001  
On line CastShadow element 37 finishes at 31288  
On line CastShadow element 38 starts at 31305  
On line CastShadow element 38 finishes at 31630  
On line CastShadow element 39 starts at 31634  
On line CastShadow element 39 finishes at 31955  
On line CastShadow element 40 starts at 31959  
On line CastShadow element 40 finishes at 32279  
On line CastShadow element 41 starts at 32283  
On line CastShadow element 41 finishes at 32613  
On line CastShadow element 42 starts at 32617  
On line CastShadow element 42 finishes at 32968  
On line CastShadow element 43 starts at 32972  
On line CastShadow element 43 finishes at 33305  
On line CastShadow element 44 starts at 33309  
On line CastShadow element 44 finishes at 33681  
On line CastShadow element 45 starts at 33685  
On line CastShadow element 45 finishes at 34041  
On line CastShadow element 46 starts at 34044  
On line RenderSmoke element 2 finishes at 34358  
On line RenderSmoke element 3 starts at 34365  
On line SetPixel element 2 starts at 34366

On line SetPixel element 2 finishes at 34372  
On line CastShadow element 46 finishes at 34381  
On line CastShadow element 47 starts at 34385  
On line CastShadow element 47 finishes at 34719  
On line CastShadow element 48 starts at 34723  
On line CastShadow element 48 finishes at 35059  
On line RenderSmoke element 3 finishes at 38364  
On line SetPixel element 3 starts at 38368  
On line RenderSmoke element 4 starts at 38368  
On line SetPixel element 3 finishes at 38374  
On line RenderSmoke element 4 finishes at 42368  
On line RenderSmoke element 5 starts at 42372  
On line SetPixel element 4 starts at 42373  
On line SetPixel element 4 finishes at 42377  
On line RenderSmoke element 5 finishes at 46315  
On line SetPixel element 5 starts at 46319  
On line RenderSmoke element 6 starts at 46319  
On line SetPixel element 5 finishes at 46326  
On line RenderSmoke element 6 finishes at 50316  
On line RenderSmoke element 7 starts at 50321  
On line SetPixel element 6 starts at 50322  
On line SetPixel element 6 finishes at 50329  
On line RenderSmoke element 7 finishes at 54266  
On line RenderSmoke element 8 starts at 54269  
On line SetPixel element 7 starts at 54270  
On line SetPixel element 7 finishes at 54274  
On line RenderSmoke element 8 finishes at 58213  
On line SetPixel element 8 starts at 58217  
On line RenderSmoke element 9 starts at 58217  
On line SetPixel element 8 finishes at 58221  
On line RenderSmoke element 9 finishes at 62183  
On line RenderSmoke element 10 starts at 62187  
On line SetPixel element 9 starts at 62188  
On line SetPixel element 9 finishes at 62192

On line RenderSmoke element 10 finishes at 66131  
On line RenderSmoke element 11 starts at 66135  
On line SetPixel element 10 starts at 66136  
On line SetPixel element 10 finishes at 66140  
On line RenderSmoke element 11 finishes at 70100  
On line RenderSmoke element 12 starts at 70104  
On line SetPixel element 11 starts at 70105  
On line SetPixel element 11 finishes at 70109  
On line RenderSmoke element 12 finishes at 74234  
On line SetPixel element 12 starts at 74238  
On line RenderSmoke element 13 starts at 74239  
On line SetPixel element 12 finishes at 74242  
On line RenderSmoke element 13 finishes at 78194  
On line RenderSmoke element 14 starts at 78198  
On line SetPixel element 13 starts at 78199  
On line SetPixel element 13 finishes at 78203  
On line RenderSmoke element 14 finishes at 82236  
On line RenderSmoke element 15 starts at 82241  
On line SetPixel element 14 starts at 82242  
On line SetPixel element 14 finishes at 82246  
On line RenderSmoke element 15 finishes at 86198  
On line SetPixel element 15 starts at 86202  
On line RenderSmoke element 16 starts at 86202  
On line SetPixel element 15 finishes at 86206  
On line RenderSmoke element 16 finishes at 90175  
On line RenderSmoke element 17 starts at 90179  
On line SetPixel element 16 starts at 90180  
On line SetPixel element 16 finishes at 90184  
On line RenderSmoke element 17 finishes at 94134  
On line SetPixel element 17 starts at 94138  
On line RenderSmoke element 18 starts at 94138  
On line SetPixel element 17 finishes at 94142  
On line RenderSmoke element 18 finishes at 98090  
On line SetPixel element 18 starts at 98094

On line RenderSmoke element 19 starts at 98094  
On line SetPixel element 18 finishes at 98098  
On line RenderSmoke element 19 finishes at 102153  
On line SetPixel element 19 starts at 102158  
On line RenderSmoke element 20 starts at 102158  
On line SetPixel element 19 finishes at 102163  
On line RenderSmoke element 20 finishes at 106111  
On line SetPixel element 20 starts at 106115  
On line RenderSmoke element 21 starts at 106116  
On line SetPixel element 20 finishes at 106119  
On line RenderSmoke element 21 finishes at 110128  
On line SetPixel element 21 starts at 110133  
On line RenderSmoke element 22 starts at 110134  
On line SetPixel element 21 finishes at 110137  
On line RenderSmoke element 22 finishes at 114094  
On line SetPixel element 22 starts at 114098  
On line RenderSmoke element 23 starts at 114099  
On line SetPixel element 22 finishes at 114102  
On line RenderSmoke element 23 finishes at 118052  
On line SetPixel element 23 starts at 118056  
On line RenderSmoke element 24 starts at 118056  
On line SetPixel element 23 finishes at 118060  
On line RenderSmoke element 24 finishes at 122116  
On line SetPixel element 24 starts at 122120  
On line RenderSmoke element 25 starts at 122120  
On line SetPixel element 24 finishes at 122125  
On line RenderSmoke element 25 finishes at 126094  
On line SetPixel element 25 starts at 126098  
On line RenderSmoke element 26 starts at 126098  
On line SetPixel element 25 finishes at 126102  
On line RenderSmoke element 26 finishes at 130119  
On line SetPixel element 26 starts at 130124  
On line RenderSmoke element 27 starts at 130125  
On line SetPixel element 26 finishes at 130128



On line RenderSmoke element 27 finishes at 134080  
On line SetPixel element 27 starts at 134085  
On line RenderSmoke element 28 starts at 134085  
On line SetPixel element 27 finishes at 134089  
On line RenderSmoke element 28 finishes at 138041  
On line SetPixel element 28 starts at 138045  
On line RenderSmoke element 29 starts at 138045  
On line SetPixel element 28 finishes at 138049  
On line RenderSmoke element 29 finishes at 142056  
On line RenderSmoke element 30 starts at 142060  
On line SetPixel element 29 starts at 142061  
On line SetPixel element 29 finishes at 142065  
On line RenderSmoke element 30 finishes at 146016  
On line SetPixel element 30 starts at 146020  
On line RenderSmoke element 31 starts at 146020  
On line SetPixel element 30 finishes at 146024  
On line RenderSmoke element 31 finishes at 150001  
On line RenderSmoke element 32 starts at 150013  
On line SetPixel element 31 starts at 150015  
On line SetPixel element 31 finishes at 150019  
On line RenderSmoke element 32 finishes at 153969  
On line SetPixel element 32 starts at 153974  
On line RenderSmoke element 33 starts at 153974  
On line SetPixel element 32 finishes at 153978  
On line RenderSmoke element 33 finishes at 157929  
On line SetPixel element 33 starts at 157933  
On line RenderSmoke element 34 starts at 157934  
On line SetPixel element 33 finishes at 157937  
On line RenderSmoke element 34 finishes at 161910  
On line RenderSmoke element 35 starts at 161914  
On line SetPixel element 34 starts at 161915  
On line SetPixel element 34 finishes at 161919  
On line RenderSmoke element 35 finishes at 165869  
On line SetPixel element 35 starts at 165873

On line RenderSmoke element 36 starts at 165873  
On line SetPixel element 35 finishes at 165877  
On line RenderSmoke element 36 finishes at 169850  
On line SetPixel element 36 starts at 169855  
On line RenderSmoke element 37 starts at 169855  
On line SetPixel element 36 finishes at 169859  
On line RenderSmoke element 37 finishes at 173970  
On line SetPixel element 37 starts at 173975  
On line RenderSmoke element 38 starts at 173975  
On line SetPixel element 37 finishes at 173979  
On line RenderSmoke element 38 finishes at 177933  
On line SetPixel element 38 starts at 177937  
On line RenderSmoke element 39 starts at 177937  
On line SetPixel element 38 finishes at 177941  
On line RenderSmoke element 39 finishes at 181947  
On line SetPixel element 39 starts at 181951  
On line RenderSmoke element 40 starts at 181951  
On line SetPixel element 39 finishes at 181955  
On line RenderSmoke element 40 finishes at 185897  
On line SetPixel element 40 starts at 185901  
On line RenderSmoke element 41 starts at 185901  
On line SetPixel element 40 finishes at 185905  
On line RenderSmoke element 41 finishes at 189896  
On line RenderSmoke element 42 starts at 189900  
On line SetPixel element 41 starts at 189901  
On line SetPixel element 41 finishes at 189905  
On line RenderSmoke element 42 finishes at 193874  
On line SetPixel element 42 starts at 193878  
On line RenderSmoke element 43 starts at 193878  
On line SetPixel element 42 finishes at 193882  
On line RenderSmoke element 43 finishes at 197833  
On line SetPixel element 43 starts at 197837  
On line RenderSmoke element 44 starts at 197837  
On line SetPixel element 43 finishes at 197841

On line RenderSmoke element 44 finishes at 201806  
On line RenderSmoke element 45 starts at 201810  
On line SetPixel element 44 starts at 201811  
On line SetPixel element 44 finishes at 201815  
On line RenderSmoke element 45 finishes at 205767  
On line SetPixel element 45 starts at 205771  
On line RenderSmoke element 46 starts at 205771  
On line SetPixel element 45 finishes at 205775  
On line RenderSmoke element 46 finishes at 209747  
On line SetPixel element 46 starts at 209751  
On line RenderSmoke element 47 starts at 209751  
On line SetPixel element 46 finishes at 209755  
On line RenderSmoke element 47 finishes at 213707  
On line SetPixel element 47 starts at 213711  
On line RenderSmoke element 48 starts at 213711  
On line SetPixel element 47 finishes at 213715  
On line RenderSmoke element 48 finishes at 217666  
On line SetPixel element 48 starts at 217670  
On line SetPixel element 48 finishes at 217673