



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)

# Визуализация процесса извержения вулкана

Группа: ИУ7-54Б  
Студент: Бугаков Иван Сергеевич  
Научный руководитель: Романова Татьяна Николаевна

2025 г.

# Цель и задачи работы

**Цель работы** – разработка программного обеспечения для визуализации процесса извержения вулкана.

## Задачи:

- провести анализ алгоритмов удаления невидимых линий и поверхностей, построения освещения, визуализации и выбрать наиболее подходящие для решения задачи;
- спроектировать программное обеспечение;
- выбрать средства реализации программного обеспечения и разработать его;
- провести исследование характеристик разработанного программного обеспечения.

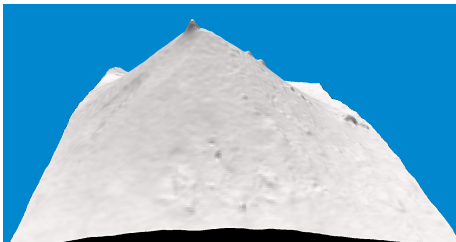
# Объекты сцены



Вулкан — геологическое образование, имеющее выводное отверстие, из которого горячая лава и вулканические газы поступают на поверхность из недр планеты при извержении;

Столб тефры — материал выбрасываемый в воздух при извержении.

## Выбор трехмерной модели



Для визуализации вулкана была выбрана поверхностная модель, в связи с распространенностью STL-моделей для представления карты высот реального ландшафта земной поверхности, полученной в результате радарной спутниковой топографической съемки.

## Выбор модели движения дыма

Модель	Скорость	Ресурсоемкость
Система чистиц	Низкая	Высокая
Уравнения Навье—Стокса	Средняя	Средняя

В результате анализа была выбрана модель на основе уравнений Навье—Стокса.

# Модель движения дыма

Уравнения Навье — Стокса — система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая движение вязкой ньютоновской жидкости.

**Уравнение скорости** определяет изменение поля скорости во времени:

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = -(\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} + \nu \nabla^2 \vec{u} + \vec{f}.$$

- $\frac{\partial \vec{u}}{\partial t}$  — производная скорости по времени;
- $(\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u}$  — изменение скорости из-за движения дыма;
- $\nu \nabla^2 \vec{u}$  — вязкость (диффузия);
- $\vec{f}$  — внешние силы.

**Уравнение плотности** определяет изменение распределения плотности во времени:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -(\vec{u} \cdot \nabla) \rho + \kappa \nabla^2 \rho + S.$$

- $\rho$  — плотность жидкости или газ;
- $(\vec{u} \cdot \nabla) \rho$  — изменение плотности дыма из-за потока жидкости или газа;
- $\kappa \nabla^2 \rho$  — диффузия дыма;
- $S$  — источник дыма.

# Модель освещения

Для визуализации освещения была выбрана модель на основе закона Ламберта:

$$I = I_l k_d \cos(\theta).$$

- $I$  — интенсивность отраженного света,
- $I_l$  — интенсивность падающего света от точечного источника,
- $k_d$  — коэффициент диффузного отражения,
- $\theta$  — угол между направлением падающего света  $L$  и нормалью к поверхности  $N$ .

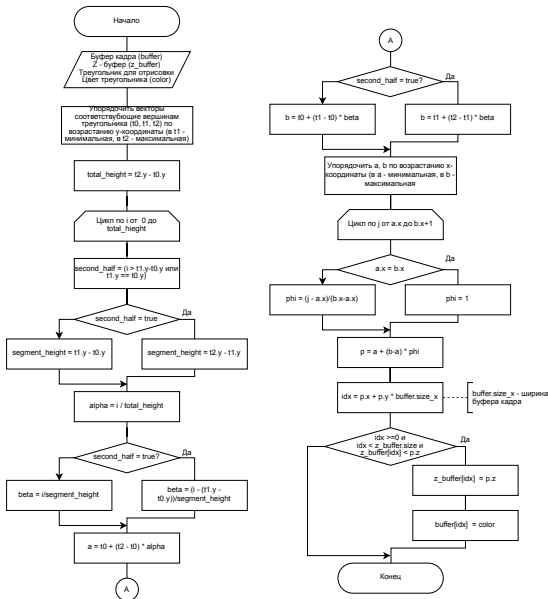
Эта модель была выбрана, так как STL-модели не предоставляют никаких сведений о материале объекта визуализации.

# Алгоритмы визуализации

Задача	Алгоритм решения
Удаление невидимых линий и поверхностей	Z-буфер
Модель освещения	Ламберта
Модель поведения дыма	Уравнения Навье—Стокса



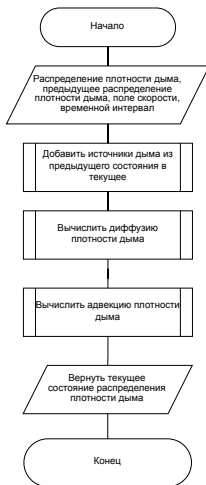
# Схема алгоритма, использующего z-буфер



# Схема алгоритма на основе уравнений Навье—Стокса



Общий вид алгоритма

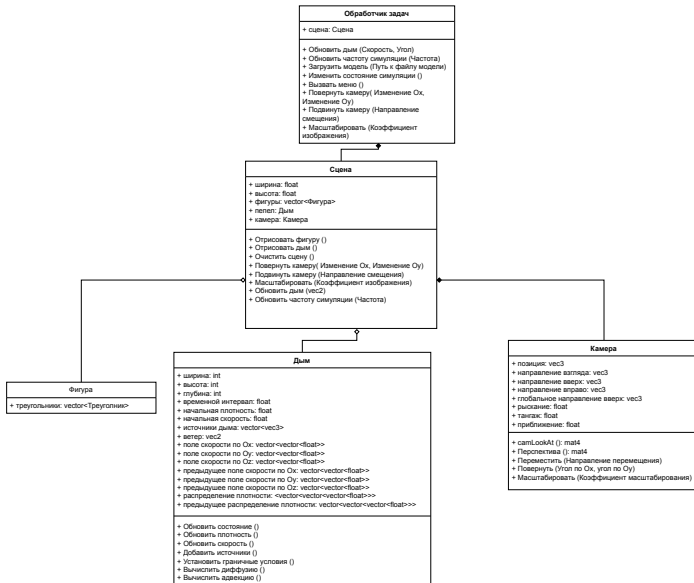


Вычисление изменения распределения плотности



Вычисление изменения поля скорости

# Диаграмма классов



# Реализация алгоритмов

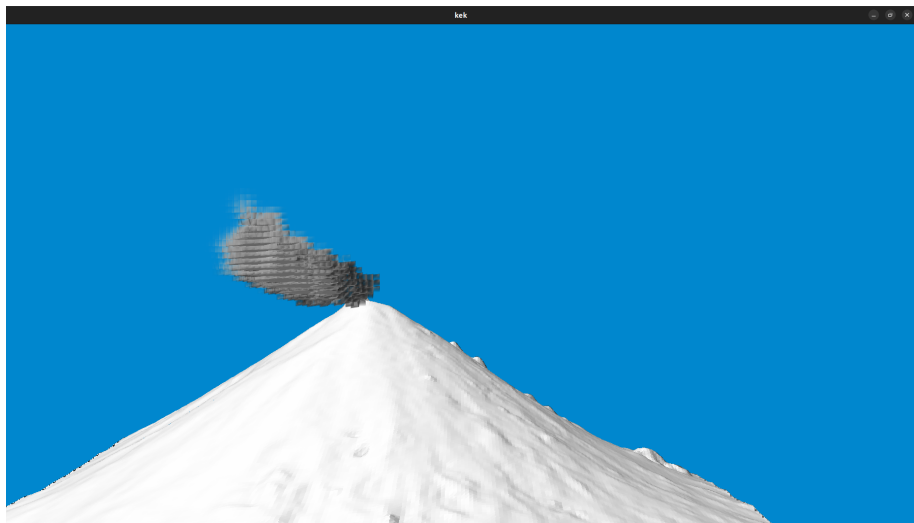
Язык программирования — C++.

Графический интерфейс — Qt.

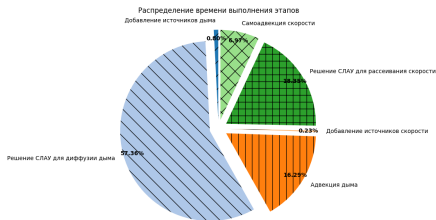
Визуализация — SFML.

Параллельные вычисления — OpenMP.

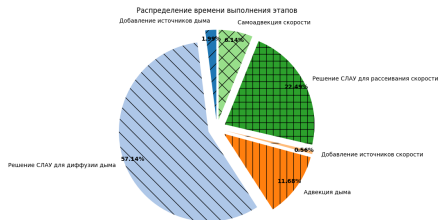
# Результат работы программы



# Исследование



Без параллельных вычислений общее время работы — 0.372 сек



С параллельными вычислениями общее время работы — 0.185 сек

Наиболее длительными частями алгоритма являются решения СЛАУ и вычисления адвекций. Применение к ним параллельных вычислений позволяет добиться двухкратного ускорения работы алгоритма.

# Заключение

Цель курсовой работы – разработка программного обеспечения для визуализации процесса извержения вулкана — была достигнута. Для этого были выполнены поставленные задачи:

- проведен анализ алгоритмов удаления невидимых линий и поверхностей, построения освещения, визуализации и выбраны наиболее подходящие для решения задачи;
- спроектировано программное обеспечение;
- выбраны средства реализации программного обеспечения и проведена его разработка;
- проведено исследование характеристик разработанного программного обеспечения.