



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.

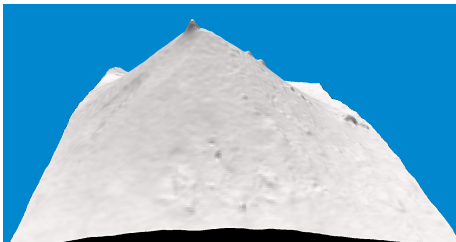
Объекты сцены



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:

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

- ρ — 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,
- θ — 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

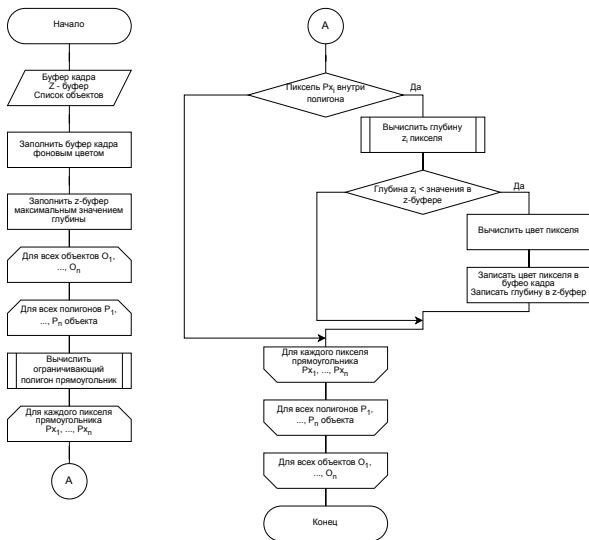
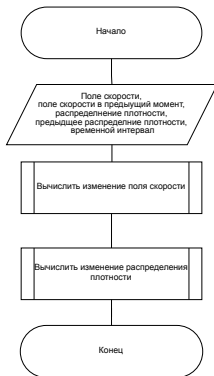
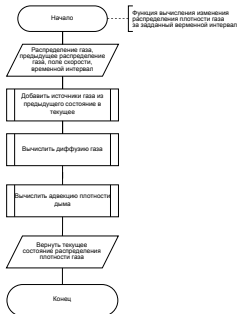


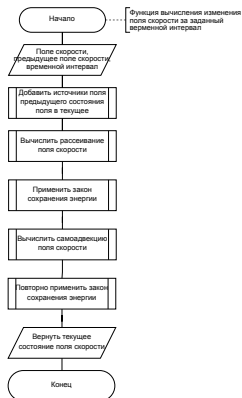
Схема алгоритма на основе уравнений Навье—Стокса



Общий вид алгоритма

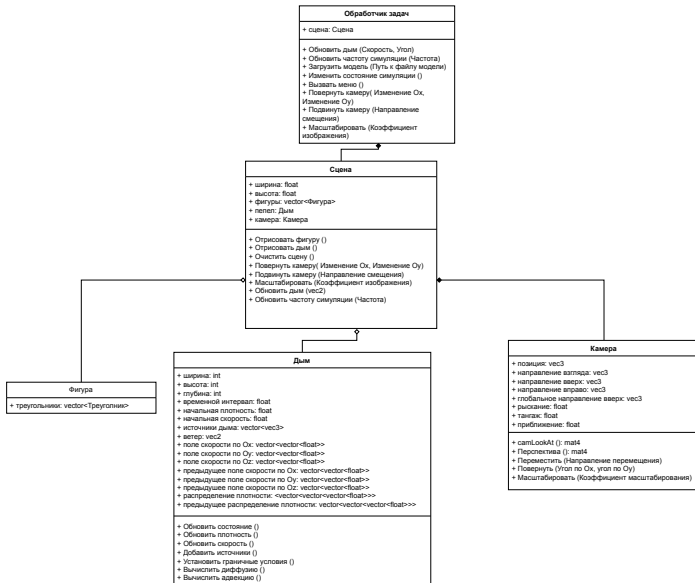


Вычисление изменения распределения плотности



Вычисление изменения поля скорости

Диаграмма классов



Реализация алгоритмов

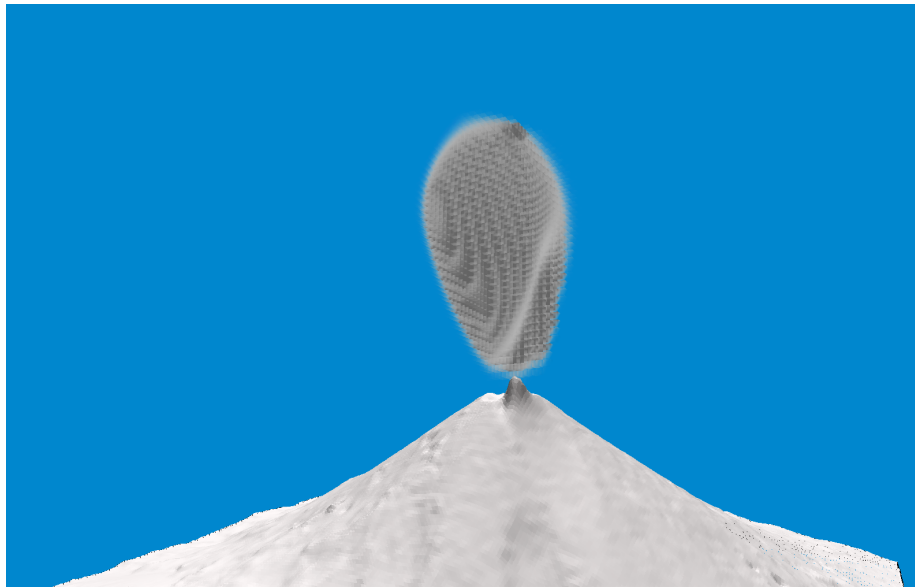
Язык программирования — C++.

Графический интерфейс — Qt.

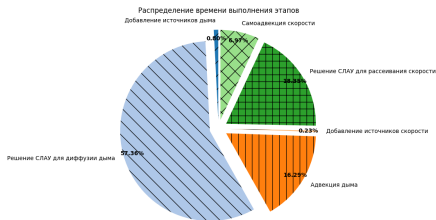
Визуализация — SFML.

Параллельные вычисления — OpenMP.

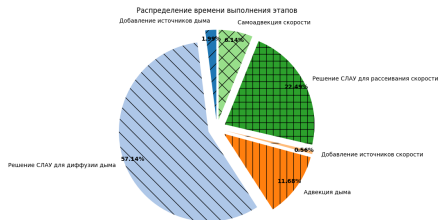
Результат работы программы



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.