

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н. Э. БАУМАНА (национальный  
исследовательский университет)

УДК \_\_\_\_\_

№ госрегистрации \_\_\_\_\_

Инв. № \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

\_\_\_\_\_  
головой исполнитель НИР

\_\_\_\_\_  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

ОТЧЁТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Программа моделирования движения воды с использованием  
вокселей  
(промежуточный)

Руководитель темы

\_\_\_\_\_ А. С. Кострицкий

Москва 2019

## РЕФЕРАТ

Отчет содержит 12 стр., 2 рис., 5 источн., 2 прил.

Это пример каркаса расчётно-пояснительной записки, желательный к использованию в РПЗ проекта по курсу РСОИ .

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Цель и задачи работы.....	4
1 Аналитический раздел .....	5
1.1 Анализ воксельных методов разложения в растр .....	5
1.2 Анализ методов симуляции жидкостей.....	5
1.3 Существующие подходы к симуляции жидкостей.....	5
1.4 Вывод .....	5
2 Конструкторский раздел .....	6
2.1 Архитектура приложения .....	6
2.2 Вывод .....	6
3 Технологический раздел.....	7
3.1 Требования к программному обеспечению .....	7
3.2 Вывод .....	7
4 Исследовательский раздел .....	8
4.1 Примеры использования .....	8
4.2 Выводы.....	8
Заключение .....	9
Список использованных источников .....	10
Приложение А Картинки .....	11
Приложение Б Еще картинки .....	12

## ВВЕДЕНИЕ

Визуализация различных явлений становится всё более важной во множестве инженерных областей знаний. Задача объёмного рендеринга имеет большое значение, например, в визуализации данных компьютерной и магнитно-резонансной томографии[?]. Интерактивная 3D симуляция позволяет учёным ясно воспринимать и оценивать результаты собственных исследований.

В настоящее время для этого используются различные вычислительные техники обработки и графического представления экспериментальных данных[4].

В данной работе рассматривается 3D симуляция воды. Симуляция жидкостей, в целом, является примером того, что получаемые о них сведения без соответствующего 3D изображения довольно сложны для человеческого восприятия.

Целью работы является разработка программного продукта для моделирования движения воды с использованием воксельной графики. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать существующие методы моделирования движения жидкостей и методы рендеринга с помощью вокселей;
- спроектировать программное обеспечение, симулирующее поведение воды;
- реализовать программу и проверить её работоспособность.

## 1 Аналитический раздел

В данном разделе производится анализ методов вычислений характеристик жидкостей и их преобразований в графический формат.

Далее рассматриваются идеи применения данных методов к симуляции жидкостей и существующие решения в этой области.

### 1.1 Физическая модель

Жидкости моделируются как векторное поле скорости жидкости и скалярное поле плотности. Движение задаётся уравнениями Навье-Стокса [?].

Далее рассматривается только движение воды (несжимаемой жидкости) в условиях постоянной температуры.

Тогда уравнения Навье-Стокса в векторной форме принимают следующий вид:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \eta \Delta \vec{v}. \quad (1.1)$$

В уравнении ??  $\vec{v}$  - скорость частицы воды,  $t$  - время,  $\vec{F}$  - внешняя удельная сила,  $p$  - давление,  $\eta = \frac{\mu}{\rho}$  - кинематический коэффициент вязкости,  $\nabla$  - оператор Гамильтона,  $\Delta$  - оператор Лапласа.

Данная физическая модель лежит в основе многих подходов симуляции жидкостей[?]. Их обзор приведён далее.

В статистической физике модель поведения частиц жидкости описывается кинетическим уравнением Больцмана. Данная модель применима для систем, где есть ограничения на малую скорость частиц[?].

## 1.2 Существующие подходы к симуляции жидкостей

В вычислениях поведения жидкости необходимо представить физическую модель в дискретном виде. Данную проблему решает вычислительная гидродинамика - совокупность теоретических, экспериментальных и численных методов, предназначенных для моделирования потоковых процессов.

Наиболее распространёнными методами описания характеристик жидкости в вычислительной гидродинамике являются:

- сеточные методы Эйлера;
- метод гидродинамики сглаженных частиц;
- методы, основанные на турбулентности;
- метод решёточных уравнений Больцмана.

Сеточные методы Эйлера являются наиболее простым решением симуляции жидкостей. Они заключаются в поиске решения задачи Коши для функций, заданных таблично. Для каждого узла функции уровня жидкости требуется вычисление значений разложений Тейлора в их окрестностях. Решение задачи Коши в данном случае аппроксимирует решение уравнения Навье-Стокса[?].

Метод гидродинамики сглаженных частиц и методы, основанные на турбулентности, заключаются в выборе размера частицы ("длины сглаживания"), на котором их свойства "сглаживаются" посредством функции ядра или интерполяции, и решения уравнений Навье-Стокса с учётом вязкости и плотности. Это позволяет эффективно моделировать поведение жидкостей, газов и даже использовать в астрофизике[?].

Метод решёточных уравнений Больцмана основан на кинетическом уравнении Больцмана, упомянутом ранее. Этот метод поддерживает многофазные жидкости, наличие теплопроводности и граничные условия на макроскопическом уровне[?].

### 1.3 Анализ методов визуализации жидкостей

Основными требованиями к методам симуляции жидкостей со стороны компьютерной графики являются визуальная правдоподобность и скорость анимации.

### 1.4 Вывод

## 2 Конструкторский раздел

В данном разделе описано проектирование метода рендеринга воды с помощью вокселей с указанием соответствующих схем алгоритмов.

### 2.1 Архитектура приложения

### 2.2 Вывод



### 3 Технологический раздел

В данном разделе описаны требуемые средства и подходы к реализации ПО по ранее указанным методам.

#### 3.1 Требования к программному обеспечению

Разработанное ПО должно моделировать движение воды с использованием вокселей.

Пользователь должен иметь возможность изменять степень детализации, источники освещения, выбирать вид отображения воды:

- волны;
- спокойное течение.

Моделирование движения должно осуществляться с использованием операций переноса, масштабирования и поворота.

#### 3.2 Вывод

## 4 Исследовательский раздел

В данном разделе проводится апробация разработанной программы.

### 4.1 Примеры использования

### 4.2 Выводы

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы стало ясно, что ничего не ясно...

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bautembach Dennis. Animated Sparse Voxel Octrees // UNIVERSITY OF HAMBURG Department of Informatics. — 2011.
2. Zadick Johanne, Kenwright Benjamin, Mitchell Kenny. Integrating Real-Time Fluid Simulation with a Voxel Engine // The Computer Games Journal. — 2016.
3. Premoze S., Ashikhmin M. Rendering Natural Waters. — Hong Kong, 2000. — P. 22–30.
4. Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design / Robert W. Brown, Y.-C. Norman Cheng, E. Mark Haacke et al. — John Wiley Sons, 2014. — 976 p.
5. Lombard Yann. Realistic Natural Effect Rendering: Water I. — 2004. — Access mode: <https://www.gamedev.net/articles/programming/graphics/realistic-natural-effect-rendering-water-i-r2138/>.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### КАРТИНКИ

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Рисунок А.1 — Картинка в приложении. Страшная и ужасная.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### ЕЩЕ КАРТИНКИ

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Рисунок Б.1 — Еще одна картинка, ничем не лучше предыдущей.

Но надо же как-то заполнить место.