

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК \_\_\_\_\_

Стаховский  
Антон Владимирович

Динамическая симуляция огня

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра информатики и вычислительной техники  
по специальности 1–40 81 02 Технологии виртуализации и облачных  
вычислений

---

Научный руководитель

Кукин Дмитрий Петрович

кандидат технических наук, доцент

---

Минск 2020

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дым и огонь могут значительно влиять на визуальное восприятие объектов сцены, а также влиять на свойства других объектов сцены. По этой причине огонь и дым являются важными составляющими во многих прикладных областях, таких как симуляция полетов, ландшафтный дизайн, анимация и киноиндустрия. Анимация и визуализация данного явления сложной задачей и представляет определенный научный интерес.

Симуляция трехмерного огня в режиме реального времени находит свое применение в различных интерактивных приложениях. Среди интерактивных приложений, анимации огня наиболее востребованы в видеоиграх. В компьютерной графике довольно часто требуется найти компромисс между скоростью и реализмом. Основной проблемой рендеринга в реальном времени является поиск таких алгоритмов, которые позволяют получить достаточную реалистичность, при которой частота кадров будет не менее минимального порога.

В настоящее время разработчики игровых движков исследуют возможности совместного использования новых подходов, таких как воксельная графика, с уже устоявшимися на основе систем частиц. Задача оптимизации и улучшения классических алгоритмов также остается актуальной.

Актуальные алгоритмы анимации огня и современные алгоритмы трехмерного рендеринга являются предметом данной диссертации, цель которой – создание системы для динамической симуляции огня.

Компоненты данной системы в дальнейшем могут быть интегрированы в игровые движки, трехмерные редакторы.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Объект и предмет исследования**

*Объектом исследования* является огонь в трехмерной графике как один из элементов трехмерной сцены.

*Предметом исследования* является динамическая симуляция объемного огня в режиме реального времени.

### **Цель и задачи исследования**

*Цель исследования* — разработка системы динамической симуляции трехмерного огня.

### **Задачи исследования:**

1. Обзор и анализ научных работ по современным алгоритмам анимации огня и трехмерному рендерингу.
2. Анализ теории динамической симуляции огня.
3. Реализация системы динамической симуляции.

### **Связь с реальным сектором экономики**

На основе разработанной системы можно сформировать модули для популярных игровых движков и графических редакторов, что обеспечит доступность системы для широкого круга лиц и позволит распространять систему на соответствующих коммерческих площадках. Полученные модули можно будет легко интегрировать в коммерческие продукты.

### **Апробация диссертации**

Результаты исследований по теме диссертации были представлены в виде доклада "Современные алгоритмы моделирования аморфных объектов" и представлены на 55-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР в 2019 году. Также работа была представлена на 56-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР в 2020 году в докладах "Динамическая симуляция объемного огня" и "Особенности динамической симуляции огня".

### **Публикация результатов исследований**

Результаты исследований были опубликованы в виде тезисов доклада на 55-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР [1] и 56-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР [2, 3]. На основе полученных в ходе исследований результатов была опубликована статья "Анализ современных алгоритмов симуляции огня" [4].

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Общий объем магистерской диссертации составляет 62 страницы, включая 38 иллюстраций, 4 таблицы, библиографический список из 45 наименований, 1 приложение.

Во **введении** дается обоснование актуальности работы, описываются прикладные задачи, в которых может быть использована разработанная система, приводится краткий перечень требований к разрабатываемой системе. Также в разделе приводится краткий обзор проблематики задачи и современного состояния исследований по симуляции огня, дается перечень наиболее актуальных проблем в данной области.

В **общей характеристике работы** сформулированы цель и задачи исследования, даны сведения об объекте и предмете исследования, приведены апробации и публикации результатов.

В **первой главе** произведен анализ предыдущих работ по данному направлению. В первом разделе приведена краткая историческая справка по развитию онлайн и оффлайн симуляции. В разделе описана эволюция методов симуляции огня в кинематографе от первой работы по симуляции огня, использованной в 1982 году в фильме "Звездный путь 2: Гнев Хана" до симуляции в фильме "Хоббит: Битва пяти воинств" 2014 года. Также в данном разделе приводится широкий обзор методов, применяемых в приложениях реального времени, в частности в видеоиграх. В разделе приводится критический анализ различных групп методов симуляции огня, приводятся примеры успешного переноса идей из области оффлайн симуляции в область онлайн симуляции. Во втором разделе выполнена систематизация рассмотренных методов онлайн симуляции, приводится классификация методов симуляции огня и сравнительный анализ полученных классов.

Во **второй главе** приводится описание теоретической базы исследования. В первом разделе производится анализ инструментов для рендеринга трехмерной сцены, приводятся обоснования выбора библиотеки OpenGL в качестве инструмента для рендеринга симуляции. В разделе приводится краткий обзор работы графического конвейера и вводятся необходимые определения. Во втором разделе приводятся определения понятий "огонь" и "пламя", приводится описание процесса и компонентов горения. В разделе приводится классификация видов огня и обосновывается выбор класса огня для симуляции. Также в разделе описываются различные физические атрибуты и характеристики огня, которые оказывают значительное влияние на поведение и визуальное восприятие огня. В третьем разделе приводится структура симуляции и дается описание различных методов моделирования, анимации и визуализации, которые будут использованы для симуляции огня в данной работе.

В **третьей главе** приводится подробное описание разработанного симу-

лятора. В разделе описываются особенности моделирования огня с помощью системы частиц, представлены алгоритмы для преодоления ограничений данного метода, описаны особенности реализации данного метода в разработанном симуляторе. Во втором разделе представлен используемый в работе алгоритм анимации частиц. В разделе представлены основные уравнения и алгоритмы, используемые для анимации пламени в рамках диссертации. В третьем разделе описывается использование текстурных сплэтов для повышения визуального качества сцены и оптимизации количества частиц. В последнем разделе приведены экспериментальные данные работы системы и приводится сравнение с результатами, полученными с помощью более сложной модели.

В **заключении** приводится краткий обзор результатов, полученных на каждом из этапов исследования, приводится обоснование выбранных методов и инструментов, дается критический анализ разработанной системы, и приводится описание проблем, которые будут более подробно раскрыты в дальнейших исследованиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования был проведен обширный обзор аналогов системы. Был проведен хронологический обзор основных этапов в развитии оффлайн и онлайн симуляции, проведен тщательный анализ современного состояния проблемы. Результаты исследования были систематизированы и представлены в виде сводной таблицы. Каждый из рассмотренных классов алгоритмов обладает своими преимуществами и недостатками, поэтому при разработке системы было решено использовать комбинацию методов для объединения их преимуществ и минимизации недостатков каждого из методов.

Для более полного понимания объекта исследования был проведен анализ основных физических процессов, управляющих поведением огня и визуальными характеристиками пламени. Полученные наблюдения нашли отражение в выбранных методах симуляции и рендеринга. Для моделирования стохастической природы огня была использована система частиц, нечеткие границы и эффект полупрозрачности пламени были достигнуты за счет использования текстурных сплэтов. Эффект движения пламени в области с низким давлением, вызывающий колыбание языков пламени, лег в основу алгоритма анимации огня.

При выборе инструментов для создания симулятора был проведен анализ множества движков, фреймворков и библиотек. Для создания симулятора был выбран графический интерфейс OpenGL как инструмент, предоставляющий оптимальный баланс между возможностями для рендеринга сцены и уровнем контроля над ресурсами системы.

Использованная комбинация техник и инструментов позволила создать производительную систему, выполняющую эффектную анимацию и визуализацию огня. Разработанная система предоставляет близкие к физическим методам визуальные результаты, однако требует существенно меньших затрат аппаратных ресурсов. Данная система может быть использована в видеоиграх для симуляции свободно питаемого пламени, например, костров и факелов.

Данная система будет использована в качестве основы для будущих исследований. В дальнейших работах планируется добавить моделирование распространения огня и интегрировать пламя в систему освещения сцены.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. *Стаховский, А. В.* Современные алгоритмы моделирования аморфных объектов / А. В. Стаховский // Компьютерные системы и сети: 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. — Минск : Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019. — С. 63.
2. *Стаховский, А. В.* Динамическая симуляция объемного огня / А. В. Стаховский // Компьютерные системы и сети: 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 21-22 апреля 2020 г. — Минск : Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020. — С. 54.
3. *Стаховский, А. В.* Особенности динамической симуляции огня / А. В. Стаховский // Компьютерные системы и сети: 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 21-22 апреля 2020 г. — Минск : Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020. — С. 48.
4. *Стаховский, А. В.* Анализ современных алгоритмов симуляции огня / А. В. Стаховский // Молодой ученый. — 2019. — Нояб. — № 47. — С. 100—105.