

Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Прикладная математика и информатика (01.02.03)

Отделение информационных технологий

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКИ КОРРЕКТНОГО ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА

УДК 519.876:535.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Козлов Анатолий Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочеругов Александр Иванович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора И. В.	к.э.н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	В.В. Матвиенко			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Шевелев Геннадий Ефимович	к.ф. – м.н.		

Планируемые результаты обучения по направлению

01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
Р1	Применять глубокие математические и профессиональные знания для решения задач научно-исследовательской, проектной, производственной и технологической деятельности в области системного и прикладного программирования.
Р2	Умение использовать знания по естественнонаучным дисциплинам при определении задач математического моделирования объектов и явлений в различных предметных областях
Р3	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.
Р4	Выполнять инновационные проекты с применением глубоких профессиональных знаний и эффективных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества в условиях экономических, экологических, социальных и других ограничений.

P5	Демонстрировать знание о формах организации образовательной и научной деятельности в высших учебных заведениях, иметь навыки преподавательской работы.
P6	Способность осуществлять организационно-управленческую и социально-ориентированную деятельность с соблюдением профессиональной этики
Универсальные компетенции	
P7	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, включая разработку документации и представление результатов инновационной деятельности. Толерантность в восприятии социальных и культурных различий.
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P9	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности. Способность к интеллектуальному, культурному, нравственному и профессиональному саморазвитию.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 01.03.02 Прикладная математика и информатика
 Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Шевелев Г. Е.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8Б61	Козлов Анатолий Евгеньевич

Тема работы:

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКИ КОРРЕКТНОГО ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020 № 59-56/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
------------------------------------------	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> - руководство по языкам программирования C++ и GLSL; - литературные источники по моделям имитации света
---------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<ul style="list-style-type: none"> - изучить особенности задачи физически достоверной имитации света; - провести анализ математических моделей имитации света; - детально рассмотреть математическую модель физически корректного рендеринга (PBR); - в рамках принятой модели выполнить аппроксимации уравнений Френеля и функции плотности нормального распределения функциями Френеля-Шлика и Trowbridge-Reitz GGX соответственно; - для реализации построенной модели разработать алгоритм и написать программу на языке C++, GLSL; - исследовать адекватность модели путем расчета среднеквадратической ошибки (СКО) аппроксимации;
<p>Перечень графического материала</p>	<ul style="list-style-type: none"> - блок-схемы алгоритмов; - графики, отображающие результаты расчета ошибки аппроксимации; - изображения полученные в результате работы программы.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p style="text-align: center;">И.В. Подопригора</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p style="text-align: center;">В.В. Матвиенко</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочегуров А. И.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Козлов А. Е.		

Содержание

Реферат.....	9
Введение	10
1 Задача физически достоверной имитации света и существующие модели для ее решения	12
1.1 Постановка и особенности задачи физически достоверной имитации света.....	12
1.2 Анализ математических моделей имитации света.....	14
2 Математическая модель физически корректного рендеринга	20
2.1 Теория микрограней	20
2.2 Уравнение рендеринга.....	22
2.3 Аппроксимация уравнения рендеринга и построение на этой основе физически-корректной модели освещения.....	25
3 Программная реализация построенной модели и оценка ее адекватности.....	27
3.1 Программная реализация физически-корректной модели освещения	27
3.2 Примеры восстановления объектов на основе построенной модели освещения.....	41
3.3 Исследование адекватности модели на основе расчета СКО аппроксимации	43
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
4.1. Потенциальные потребители результатов исследования	53
4.2. Технология QuaD.....	53
4.3. SWOT-анализ	54
5. Планирование научно-исследовательских работ	55

5.1.	Структура работ в рамках научного исследования.....	55
5.2.	Определение трудоемкости выполнения работ	56
5.3.	Разработка графика проведения научного исследования.....	57
6.	Бюджет научно-технического исследования	59
6.1.	Расчет материальных затрат научно-технического исследования	59
6.2.	Расчет материальных затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) целей	60
6.3.	Основная заработная плата исполнителей темы.....	61
6.4.	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	63
6.5.	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	63
6.6.	Накладные расходы	64
6.7.	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	64
7.	Определение потенциального эффекта исследования	65
	Заключение	66
	Введение	69
8.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	69
8.1.	Специальные (характерные для практикуемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	69
8.2.	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	70
9.	Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по снижению их воздействия.....	72
9.1.	Отклонение показателей микроклимата.....	73
9.2.	Повышенный уровень шума на рабочем месте.....	74

9.3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	75
9.4. Повышенный уровень электромагнитных излучений	75
9.5. Эмоциональные перегрузки	76
9.6. Монотонность труда	77
9.7. Электробезопасность	78
10. Экологическая безопасность	80
10.1. Анализ влияния процесса разработки программного обеспечения на окружающую среду	80
10.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	80
11. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
11.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при разработке программного обеспечения	81
11.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	81
Заключение	83
Заключение	84
Литература	85
Приложение	87

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 88 страниц машинописного текста, 27 рисунков, 14 таблиц, 21 источник, 3 приложения.

Ключевые слова: математическая модель, визуализация, физически корректный рендеринг, уравнение рендеринга, имитация освещения.

Объектом исследования является распространение света в реальном мире, а **предметом исследования** – модель имитации света для создания реалистичного освещения, отражения и теней рассматриваемых объектов.

Целью данной работы является построение и оценка адекватности модели физически корректного отражения света с учетом аппроксимации уравнений Френеля и функции плотности нормального распределения функциями Френеля-Шлика и Trowbridge-Reitz GGX соответственно.

В процессе выполнения работы были рассмотрены особенности задачи физически достоверной имитации света и проведен сравнительный анализ существующих математических моделей для решения данной задачи.

В результате исследования для имитации света была выбрана модель физически корректного отражения света, для реализации которой потребовалась аппроксимация ряда уравнений специальными функциями. Разработан алгоритм и написана программа, позволяющая восстанавливать объекты с высокой достоверностью.

Область применения: компьютерная графика, создание реалистических картинок в современных тренажерах пилотов и машинистов поездов, производство спецэффектов в кинофильмах, построение 3D моделей архитектурных проектов.

В будущем планируется расширить рассматриваемую модель, путем введения зависимости исходящего потока излучения от времени.

Введение

Распространение света в реальном мире — это сложное явление, зависящее от множества факторов, и, располагая ограниченными вычислительными ресурсами, мы не можем себе позволить учитывать в расчетах все нюансы. Большинство моделей освещения основаны на использовании приближенных к реальности упрощенных математических моделях, которые дают хороший результат.

Основная проблема заключается в производительности персональных компьютеров на сегодняшний день. Хотя они и стали довольно высоки, по сравнению с прошлым веком, но для моделирования сложных физических явлений, таких как имитация света в реальном времени с высокой точностью, текущих мощностей недостаточно. Вместе с этим существуют техники моделирования света, не основанные на законах физики. Они позволяют получить приемлемый, на первый взгляд, результат, не потребляя большое количество ресурсов. Однако при возрастании сложности моделируемой сцены и при увеличении количества объектов падает качество визуализации. Это происходит из-за большего количества параметров, которые приходится настраивать эмпирическим образом, а также из-за сложности визуализации объекта, который состоит из нескольких различных материалов. Поэтому, для того, чтобы финальный результат получился реалистичным, необходимо чтобы модель имитации света имела физическую основу. Только так мы сможем приблизить вид моделируемых объектов к реальным. В этом случае основная задача физически достоверной имитации света состоит в создании реалистичного освещения, отражения и теней рассматриваемых объектов. Однако, для физически достоверной имитации света требуется построение довольно сложной в вычислительном аспекте математической модели, что приводит к необходимости ее упрощения путем аппроксимации ряда уравнений более простыми функциями.

Целью данной работы является построение и оценка адекватности модели физически корректного отражения света с учетом аппроксимации

уравнений Френеля и функции плотности нормального распределения функциями Френеля-Шлика и Trowbridge-Reitz GGX соответственно.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить особенности задачи физически достоверной имитации света;
- провести анализ математических моделей имитации света;
- детально рассмотреть математическую модель физически корректного рендеринга (PBR);
- в рамках принятой модели выполнить аппроксимации уравнений Френеля и функции плотности нормального распределения функциями Френеля-Шлика и Trowbridge-Reitz GGX соответственно;
- для реализации построенной модели разработать алгоритм и написать программу на языке C++, GLSL;
- исследовать адекватность модели путем расчета среднеквадратической ошибки (СКО) аппроксимации;
- провести анализ полученных результатов и сделать выводы.

1 Задача физически достоверной имитации света и существующие модели для ее решения

Для проведения анализа существующих моделей имитации света, рассмотрим предварительно особенности задачи физически достоверной имитации света.

1.1 Постановка и особенности задачи физически достоверной имитации света

Имитация света в компьютерной графике сложная и востребованная задача. Она довольно широко применяется при производстве спецэффектов в кинофильмах, при производстве мультипликационных фильмов и сериалов, в современных тренажерах пилотов, машинистов поездов для создания реалистичной картинки и эффекта погружения, в компьютерных играх, при построении 3D моделей архитектурных проектов [1].

Для того чтобы объекты в моделируемой сцене выглядели реалистичными, необходимо реализовать освещение. В реальном мире мы видим объекты только благодаря тому, что на них попадает солнечный или искусственный свет.

Свет — это электромагнитная поперечная волна, и его взаимодействие с различными материалами определяется электромагнитными свойствами этого материала. Физическое свойство, которое определяет взаимодействие, является показателем преломления. Этот индекс представляет собой комплексное число, действительная часть которого определяет скорость света в данном материале, а комплексная часть определяет, сколько света поглощается при его распространении через материал. Простейшей формой взаимодействия светового материала является свет, проходящий через однородную среду. Такие среды имеют равномерный показатель преломления по всему объему. Если комплексная часть индекса мала, среда будет казаться прозрачной. Этот тип взаимодействия света с средами называется поглощением.



Рисунок 1. Поглощение света в прозрачных средах

Иначе среда будет поглощать свет на некоторых длин волн, придавая прозрачным средам свой цвет, это свойство изображено на рисунке 1.

Если среды неоднородны, показатель преломления резко изменяется на малых расстояниях, относительно длины волны света. В этом случае свет, попадающий в среду, рассеивает все возможные исходящие направления. Распределение рассеянного света часто не является равномерным, но имеет пики в определенных направлениях, в зависимости от свойств поверхности. Стоит отметить, что весь свет распространяется в некоторой степени на достаточно большие расстояния.



Рисунок 2. Воздух также рассеивает свет

На рисунке 2 изображено рассеивание света воздухом. Существует третий тип взаимодействия света со средами: излучение. Эмиссионные материалы преобразуют другие виды энергии в свет, как вольфрамовая лампочка. Эмиссионные материалы не особенно важны для задачи имитации света, поскольку источники света часто реализуются с помощью других математических моделей.

Таким образом, распространение света в реальном мире — это сложное явление, зависящее от множества факторов. И, следовательно, основная задача физически достоверной имитации света состоит в создании реалистичного освещения, отражения и теней рассматриваемых объектов.

1.2 Анализ математических моделей имитации света

Трассирование каждого луча света в сцене непрактично и занимает неприемлемо долгое время, хоть и является максимально точным с физической точки зрения. Даже трассирование малого количества лучей, достаточного, чтобы получить изображение, занимает чрезмерно много времени, если не применяется аппроксимация.

Таким образом для реализации модели имитации света в реальном времени необходим метод, который будет основываться на законах физики, быть быстрым для моделирования в реальном времени, давать фотореалистичный результат моделирования.

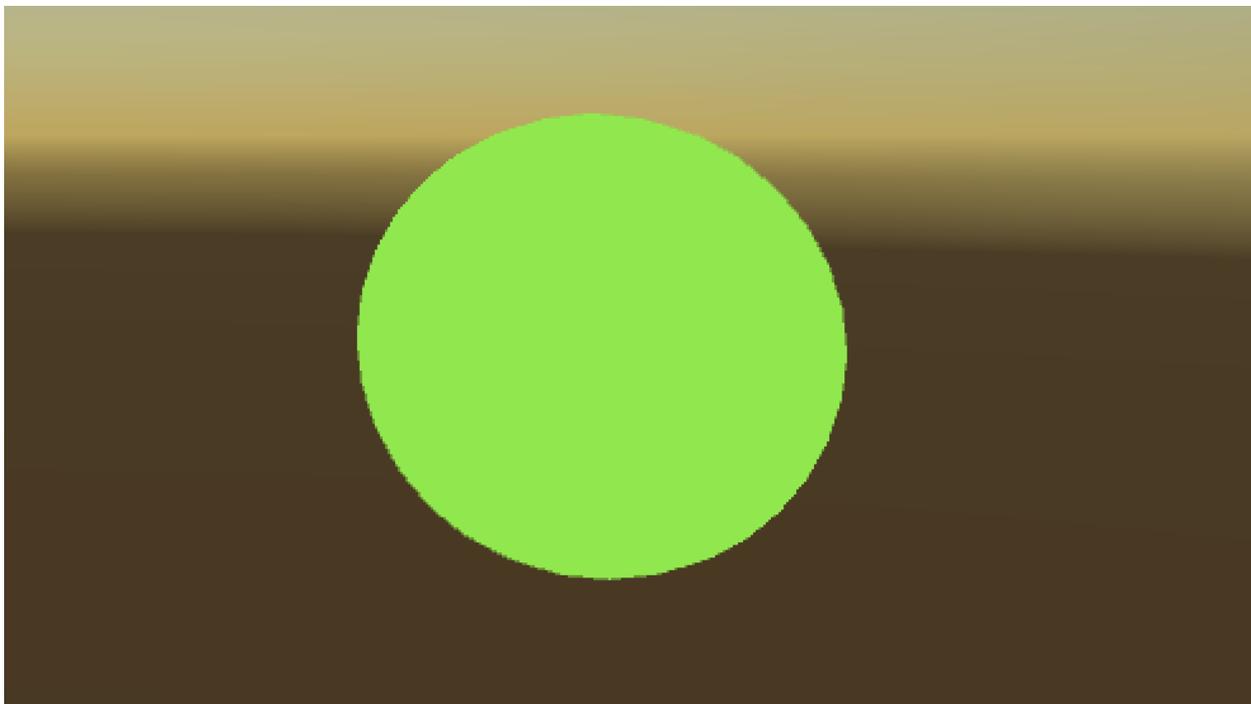


Рисунок 3. Пример визуализации без освещения

На рисунке 3 приведен пример визуализации сферы без какой-либо модели освещения. Все полигоны этого объекта закрашены одним цветом.

Вследствие этого, было разработано несколько методов, более эффективных, чем моделирование всех лучей света, освещающих сцену.

Расчёт освещения по Фонгу требует вычисления цветовой интенсивности трёх компонент освещения: фоновой, рассеянной и глянцевых бликов.

Фоновое освещение обычно есть всегда, даже в самой темной сцене, поэтому объекты почти никогда не бывают абсолютно чёрными. Чтобы имитировать это, используется константа окружающего освещения, которая всегда будет придавать объекту некоторый оттенок. По своей сути оно

является грубым приближением лучей света, рассеянных соседними объектами и затем достигших заданной точки.

Диффузное освещение имитирует воздействие на объект направленного источника света. Это наиболее визуально значимый компонент модели освещения. Чем большая часть поверхности объекта обращена к источнику света, тем ярче он будет освещен.

Освещение зеркальных бликов имитирует яркое пятно света (блик), которое появляется на блестящих объектах. По цвету зеркальные блики часто ближе к цвету источника света, чем к цвету объекта.

Освещение по Фонгу требует сравнительно мало ресурсов, но большинство оптических явлений игнорируются либо рассчитываются с грубым приближением [3].

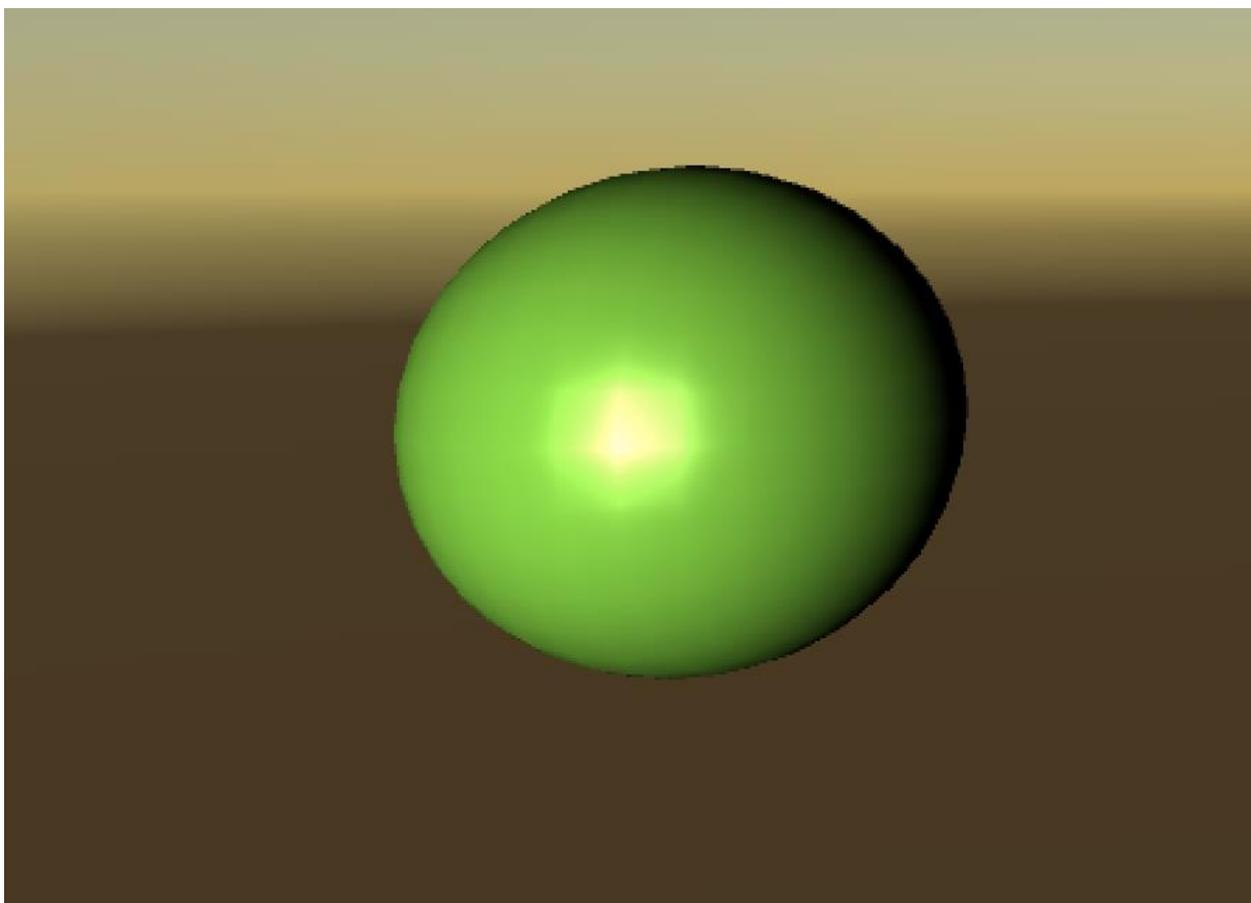


Рисунок 4. Пример визуализации модели Фонга

Модель Фонга, изображенная на рисунке 4, является эффективным приближением для расчета освещения, но при определенных условиях она может терять часть компоненты зеркальных бликов. Это можно заметить при малых значениях силы блеска, когда область зеркального отражения становится довольно большой [2].

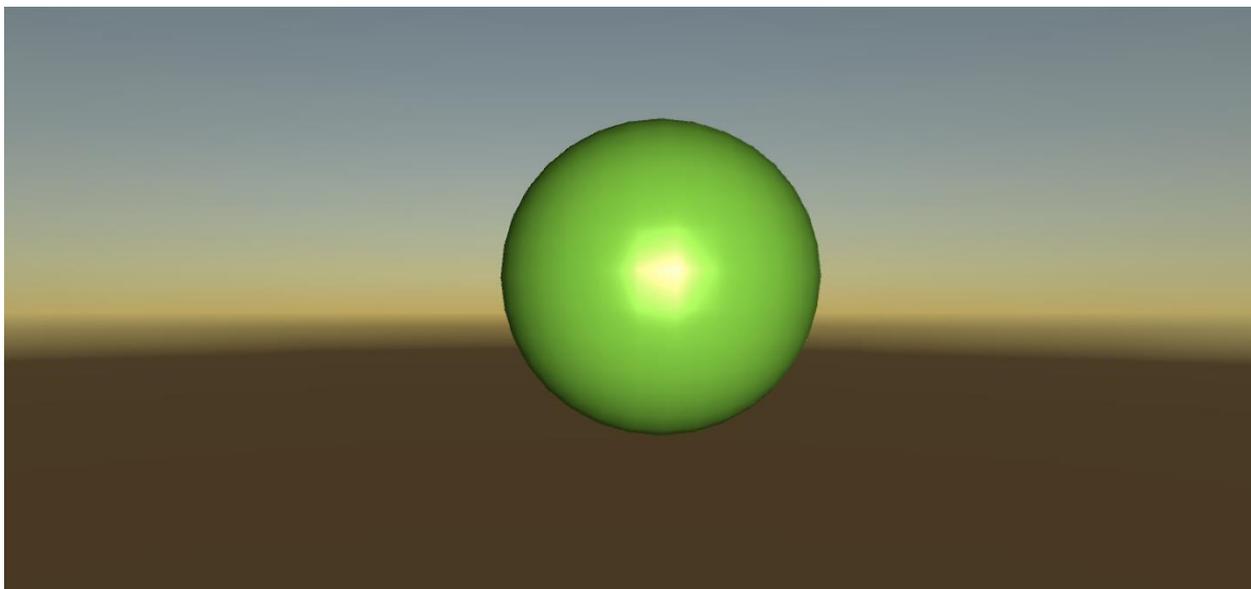


Рисунок 5. Пример визуализации модели Блинна – Фонга

Для решения этой проблемы в 1977 году Джеймсом Ф. Блинном (James F. Blinn) была представлена модель освещения Блинна-Фонга, изображенная на рисунке 5, как дополнение к модели Фонга. Она во многом схожа с моделью Фонга, но использует немного иной подход к расчету зеркальной компоненты. Вместо того, чтобы полагаться на вектор отражения, в данной модели используется медианный вектор, который представляет из себя единичный вектор точно посередине между направлением обзора и направлением света. Чем ближе этот вектор к нормали поверхности, тем больше будет вклад зеркальной компоненты [4].

Физически корректный рендеринг, или PBR, представляет собой набор техник имитации света, которые пытаются достичь более высокого уровня реализма и качества визуализации посредством точного моделирования взаимодействия света и материала. Более ранние модели освещения, такие как модель Фонга и модель Блинна - Фонга, были специальными. Они были

разработаны путем наблюдения объектов при различных условиях освещения, затем базируясь на этих наблюдениях были воспроизведены уравнения освещения, которые давали аналогичные результаты. В отличие от этого, в PBR уравнения затенения получены из законов физики. Физические понятия, такие как диффузия, отражение и сохранение энергии, в данной модели рассматриваются в более строгих математических рамках, чтобы получить физически корректную модель освещения [5].

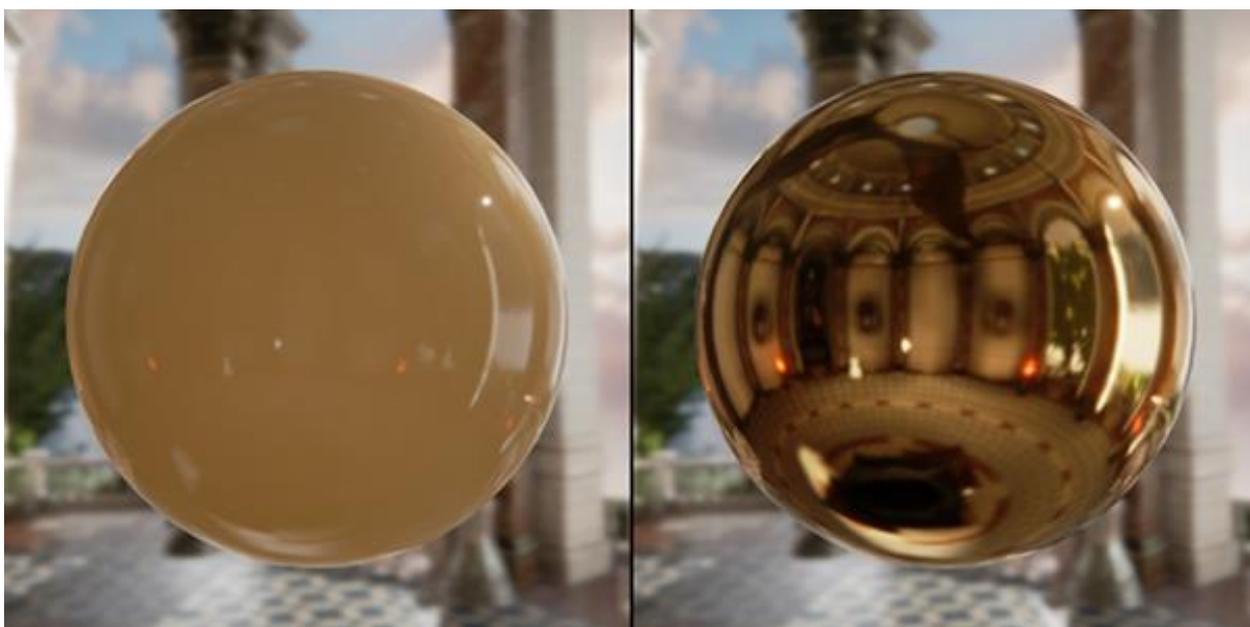


Рисунок 6. Пример визуализации модели PBR

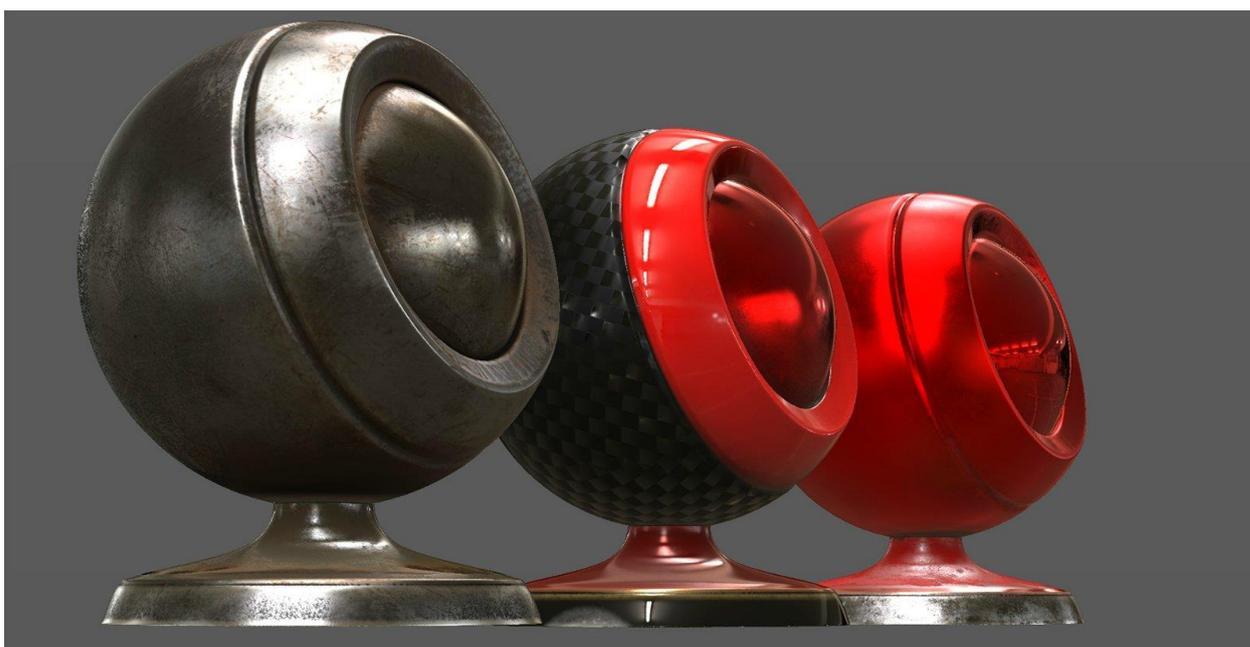


Рисунок 7. Пример визуализации модели PBR

В модели PBR, изображенный на рисунках 6 и 7, помимо повышенной реалистичности, одним из самых больших преимуществ является то, что модель является гораздо более надежной. Модель PBR отображает материалы, которые выглядят правильно, независимо от условий освещения. Художникам, разрабатывающим материалы для моделируемых объектов, больше не нужно возиться с эмпирическими параметрами своих объектов, чтобы заставить вещи «выглядеть правильно», потому что шейдерная программа, реализующая PBR, правильно отображает внешний вид объекта, основываясь на его свойствах и заданном освещении [6].

В общем случае модель физически корректного отражения света или рендеринга PBR - это набор техник визуализации, в основе которых лежит теория, согласующаяся с реальной теорией распространения света. Поскольку целью PBR является физически достоверная имитация света, он выглядит гораздо более реалистичным по сравнению с другими моделями. Он не только лучше выглядит, но и дает неплохое приближение к реальной физике, что позволяет создавать текстурные материалы, основанные на физических свойствах поверхностей. Главным преимуществом такого подхода является то, что создаваемые материалы будут выглядеть, как задумано, независимо от условий освещения, чего нельзя сказать о других, не PBR подходах.

При этом разрешение текстуры влияет на качество модели, однако при увеличении разрешения текстуры увеличивается и ее размер, занимаемый в памяти [1]. Все это является частью рендеринга или процесса, в котором с помощью компьютерной программы происходит получение изображения по модели.

Таким образом, модель PBR является наиболее перспективной и адекватной среди рассматриваемых моделей.

2 Математическая модель физически корректного рендеринга

2.1 Теория микрограней

Модель PBR базируется на законах физики, из-за этого она называется физически-корректным рендерингом, а не физическим рендерингом. Чтобы модель освещения могла называться физически-корректной она должна удовлетворять 3-м условиям [2-5]:

- Основываться на модели отражающих микрограней
- Подчиняться закону сохранения энергии
- Использовать двунаправленную функцию распределения отражения (англ. Bidirectional reflectance distribution function — BRDF)

Все методы PBR основаны на теории микрограней. Теория описывает, что любая поверхность в микроскопическом масштабе может быть описана крошечными маленькими идеально отражающими зеркалами, называемыми микрогранями. В зависимости от шероховатости поверхности, расположение этих крошечных зеркал может сильно различаться.

Чем более шероховатая поверхность, тем более хаотично ориентирована каждая микрогрань вдоль поверхности. Эффект этих крошечных зеркальных выравниваний заключается в том, что когда речь идет конкретно о зеркальном освещении / отражении, входящие световые лучи с большей вероятностью будут рассеиваться в совершенно разных направлениях на более грубых поверхностях, что приведет к более широкому зеркальному отражению. Напротив, на гладкой поверхности световые лучи с большей вероятностью отражаются примерно в одном и том же направлении, давая нам меньшие и более острые отражения [6].

Ни одна поверхность не является полностью гладкой на микроскопическом уровне, но, учитывая, что эти микрогрань достаточно малы, чтобы мы не могли различить их на основе каждого пикселя, мы

статистически аппроксимируем шероховатость микрограней поверхности вводя параметр шероховатости.

Для сохранения энергии нам необходимо провести четкое различие между рассеянным и зеркальным светом. В тот момент, когда луч света попадает на поверхность, он разделяется как на преломляющую, так и на отражающую части. Отражающая часть — это свет, который непосредственно отражается и не попадает на поверхность; это то, что мы знаем как зеркальное освещение. Преломляющая часть — это оставшийся свет, который проникает на поверхность и поглощается; это то, что мы знаем как рассеянное освещение.

Применяя PBR, мы делаем упрощенное предположение, что весь преломленный свет поглощается и рассеивается на небольшой области воздействия, игнорируя эффект от рассеянного света, который покидает поверхность на расстоянии от этой области [7].

Дополнительной тонкостью, когда речь идет об отражении и преломлении, являются металлические поверхности. Металлические поверхности реагируют по-разному на свет по сравнению с неметаллическими поверхностями (также известными как диэлектрики). Металлические поверхности следуют тем же принципам отражения и преломления, но весь преломленный свет непосредственно поглощается без рассеяния. Это означает, что металлические поверхности оставляют только отраженный или зеркальный свет; металлические поверхности не имеют рассеянного цвета. Из-за этого очевидного различия между металлами и диэлектриками они оба трактуются по-разному в модели PBR.

Энергия отраженного света не может быть поглощена материалом. Вследствие этого энергия, поглощенная поверхностью в форме преломленного света, является оставшейся энергией после учета отраженной.

$$k_s = 1 - k_d \quad (1)$$

Таким образом, мы знаем как количество отраженного света, так и количество преломленного света, придерживаясь принципа сохранения энергии. При таком подходе невозможно, чтобы преломленный, так и отраженный часть превышала 1.0, таким образом гарантируется, что сумма их энергии никогда не превысит энергию входящего света [2-9].

2.2 Уравнение рендеринга

Уравнение рендеринга описывается следующим выражением [7]:

$$L_o(x, \omega_o, \lambda, t) = L_e(x, \omega_o, \lambda, t) + \int_{\Omega} f_r(x, \omega_o, \lambda, t) L_i(x, \omega_o, \lambda, t) (\omega_i \cdot n) d\omega_i \quad (1)$$

где: $L_o(x, \omega_o, \lambda, t)$ полное спектральное излучение длины волны λ направлены наружу по направлению ω_o в момент времени t из определенной позиции x ; $L_e(x, \omega_o, \lambda, t)$ - испускаемое спектральное излучение; ω_i – луч света, направленный в Ω - единичное полушарие с центром в n содержащее все возможные значения для ω_i ; $f_r(x, \omega_o, \lambda, t)$ - двунаправленная функция распределения отражения (BRDF); n нормаль в точке x .

Данное уравнение для нашей модели слишком избыточно, мы упростим его, для начала выведем уравнение для L .

Поток излучения Φ — это передаваемая энергия источника света, измеренная в ваттах. Свет — это совокупная сумма энергии на нескольких различных длинах волн, каждая длина волны связана с определенным видимым цветом. Поэтому излучаемая энергия источника света может рассматриваться как функция всех его различных длин волн. Длины волн от 390 до 700 нанометров считаются частью спектра видимого света, то есть длины волн, которые способен воспринимать человеческий глаз.

Непосредственно принимать эту меру длин волн в качестве входных данных немного нецелесообразно, поэтому часто делается упрощение представления потока излучения, не в зависимости от изменяющихся значений длины волны, а в виде триплета светлого цвета, закодированного как

RGB. Такое кодирование приводит к значительной потере информации физического характера, но это обычно незначительно для визуальных аспектов.

Сила излучения измеряет количество потока излучения на телесный угол или силу источника света в проецируемой области на сферу устройства. Например, учитывая всенаправленный свет, который излучает одинаково во всех направлениях, интенсивность излучения может дать нам свою энергию в определенной области (телесный угол) [8]:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (2)$$

где I — это поток излучения Φ , на телесный угол $d\omega$.

Обладая знаниями о потоке излучения, интенсивности излучения и телесном угле, можно описать уравнение для излучения. Излучение описывается как полная наблюдаемая энергия в области A над телесным углом ω света интенсивности излучения Φ [8-9].

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\omega dA \cos \theta} \quad (3)$$

Если мы считаем, что телесный угол ω и площадь A бесконечно малы, мы можем использовать излучение L для измерения потока одиночного луча света, падающего на одну точку в пространстве. Это соотношение позволяет нам рассчитать яркость отдельного светового луча, воздействующего на одну (фрагментную) точку; эффективно переводим телесный угол ω в вектор направления ω , а A в точку p . Таким образом, мы можем напрямую использовать излучение в шейдерах для расчета вклада отдельного светового луча на фрагмент [7].

Учитывая, что наша модель не содержит испускаемого излучения, не изменяется во времени, перепишем уравнение (1) в следующем виде:

$$L_o(p, \omega_o) = \int_{\Omega} f_r(p, \omega_i, \omega_o) L_i(p, \omega_o) n \cdot \omega_i d\omega_i \quad (4)$$

Уравнение суммирует излучение всех входящих световых направлений ω_i по полусфере Ω , которое достигает точки p и возвращает сумму отраженного света L_o в направлении ω_o .

Существует несколько физически-корректных двунаправленных функция распределения отражения для аппроксимации реакции поверхности на освещение. Будем использовать функцию Кука-Торренса (Cook-Torrance). Функция Кука-Торренса содержит как диффузную, так и зеркальную часть:

$$f_r = k_d f_{lambert} + k_s f_{cook-torrance} \quad (5)$$

Здесь k_d — преломленная доля входящей световой энергии, k_s — отраженная. Левая часть функции содержит диффузную часть уравнения, обозначенную здесь как $f_{lambert}$ — Ламбертово рассеяние, оно является постоянным.

$$f_{lambert} = \frac{c}{\pi} \quad (6)$$

c — цвет поверхности, деление на пи нужно, чтобы нормировать рассеянный свет, поскольку ранее обозначенный интеграл, содержащий двунаправленную функцию распределения отражения, умножается на пи.

$$f_{cook-torrance} = \frac{DFG}{4(\omega_o \cdot n)(\omega_i \cdot n)} \quad (7)$$

Зеркальное отображение Кука-Торранса BRDF состоит из трех функций и коэффициента нормирования в знаменателе. Каждый из символов D, F и G представляет тип функции, которая приближает определенную часть отражающих свойств поверхности. Они определяются как функция нормального распределения, уравнение Френеля и функция геометрии.

Функция нормального распределения аппроксимирует величину микрограней поверхности, которые сонаправлены с медианным вектором, под влиянием шероховатости поверхности; это функция является основной для аппроксимации микрограней.

Функция геометрии характеризует свойство самозатенения микрограней. Когда поверхность является относительно шероховатой, микрограни поверхности могут затмевать другие микрограни, уменьшая свет, который отражает поверхность.

Уравнение Френеля описывает коэффициент поверхностного отражения. Он изменяется при разных углах обзора.

Каждая из этих функций является приближением их физических эквивалентов, существует несколько версий для каждой функции, которые стремятся аппроксимировать основную физическую реализацию различными способами; некоторые более реалистичные, другие более эффективные в плане производительности.

2.3 Аппроксимация уравнения рендеринга и построение на этой основе физически-корректной модели освещения

Функция нормального распределения D статистически аппроксимирует относительную площадь поверхности микрограней, точно выровненных по медианному вектору h . Существует множество NDF, которые статистически аппроксимируют общее выравнивание микрообъектов с учетом некоторого параметра шероховатости. Будем использовать функцию, известную как Trowbridge-Reitz GGX [9].

$$D(n, h, \alpha) = \frac{\alpha^2}{\pi((n \cdot h)^2(\alpha^2 - 1) + 1)^2} \quad (8)$$

где h — это медианный вектор, α — значение шероховатости поверхности, n — нормаль.

Функция геометрии статистически аппроксимирует относительную площадь поверхности, где ее микрограницы перекрывают друг друга, вызывая перекрытие световых лучей.

Подобно функции нормального распределения, функция геометрии принимает параметр шероховатости k материала в качестве входных данных. Это означает более грубые поверхности, имеют более высокую вероятность затенения микрограней. Будем использовать функцию геометрии, являющуюся комбинацией GGX и приближения Шлика-Бекмана, известного как Schlick-GGX [9][10].

$$G(n, v, k) = \frac{n \cdot v}{(n \cdot v)(1 - k) + k} \quad (9)$$

Здесь k является переобозначением a в зависимости от того, используем ли мы функцию геометрии для прямого освещения или не прямого.

$$k_{direct} = \frac{(\alpha + 1)^2}{8}, \quad k_{IBL} = \frac{\alpha^2}{2} \quad (10)$$

Чтобы эффективно аппроксимировать геометрию, нам нужно учитывать как направление обзора (препятствие геометрии), так и вектор направления света (затенение геометрии). Мы можем учесть оба с помощью метода Смита: [11]

$$G(n, v, l, k) = G_{sub}(n, v, k)G_{sub}(n, l, k) \quad (11)$$

Уравнение Френеля описывает отношение света, отраженного к преломленному, который изменяется в зависимости от угла, под которым мы смотрим на поверхность. В тот момент, когда свет попадает на поверхность, основываясь на угле, под которым мы наблюдаем поверхность, уравнение Френеля дает нам процент света, который отражается. Из этого отношения отражения и принципа сохранения энергии мы можем непосредственно получить преломленную часть света.

Уравнение Френеля является сложным, в вычислительном плане, для данной модели. Уравнение Френеля может быть аппроксимировано с использованием приближения Френеля-Шлика. [10]

$$F(h, v, F_0) = F_0 + (1 - F_0)(1 - (h \cdot v))^5 \quad (12)$$

Здесь F_0 представляет базовую отражательную способность поверхности.

Если мы объединим все вышесказанное, то получим финальное уравнение:

$$L_o(p, \omega_o) = \int_{\Omega} \left(k_d \frac{c}{\pi} + \frac{DFG}{4(\omega_o \cdot n)(\omega_i \cdot n)} \right) L_i(p, \omega_i) (n \cdot \omega_i) d\omega_i \quad (13)$$

В этом уравнении теперь полностью описывается физическая модель рендеринга, которую обычно называют физически корректным рендерингом или PBR.

3 Программная реализация построенной модели и оценка ее адекватности

Для исследования адекватности построенной модели, необходимо выбрать наиболее эффективную среду для ее программной реализации.

3.1 Программная реализация физически-корректной модели освещения

Для программной реализации модели физически-корректной модели отражения света было выбрано использование языка C++, GLSL. А также программный интерфейс OpenGL.

Язык программирования C++ появился в 1986 году, его автором является Бьёрн Страуструп. Язык является компилируемым, статически типизированном, общего назначения. Поддерживает объектно-

ориентированную парадигму. Именно поэтому этот язык был выбран в качестве языка для разработки программного обеспечения.

Программный интерфейс OpenGL предназначен для написания программ с использованием трехмерной и двухмерной графики. Он включает в себя множество функций для рисования комплексных трехмерных сцен, состоящих из примитивов. Используется при создании компьютерных игр, САПР, симуляции виртуальной реальности, визуализации в научных исследованиях. Из-за этого в качестве главной библиотеки был выбран OpenGL.

Язык программирования GLSL предназначен для программирования шейдеров. Это язык высокого уровня, разработан для исполнения математических операций, который чаще всего востребованы во время растеризации графики. Синтаксис языка базируется на ANSI C, но из-за его специфичной направленности из него были убраны некоторые функции, чтобы упростить его и повысить производительность. В него были добавлены высокоуровневые типы данных, характерные для обычной математики, но недоступные во многих языках, такие как векторы и матрицы.

Главное преимущество GLSL в сравнении с другими языками заключается в кроссплатформенности кода между программными средами и операционными системами. Именно поэтому этот язык был выбран в качестве языка для разработки программного обеспечения.

Язык GLSL используется в OpenGL для формирования шейдерных программ, которые и будут визуализировать нашу модель.

Рассмотрим функции языка GLSL, которые использовались для реализации модели.

`gl::max(x, y)` – возвращает максимум двух переменных. Возвращает `y`, если `y` больше `x`, иначе возвращает `x`.

`gl::dot(x, y)` – функция возвращает скалярное произведение двух векторов, x и y .

`gl::clamp(x, minVal, maxVal)` – возвращает значение x , ограниченное диапазоном от `minVal` до `maxVal`. Возвращаемое значение вычисляется как $\min(\max(x, \text{minVal}), \text{maxVal})$.

`gl::pow(x,y)` – возвращает значение x , возведенное в степень y , то есть x^y . Результат не определен, если $x < 0$ или если $x = 0$ и $y \leq 0$.

`gl::normalize(v)` – возвращает вектор с тем же направлением, что и его параметр v , но с длиной 1.

`gl::reflect(I, N)` – Для заданного вектора падения I и нормали поверхности N функция возвращает направление отражения, рассчитанное как $I - 2.0 * \text{dot}(N, I) * N$. Переменную N необходимо нормализовать для достижения желаемого результата.

`gl::mix(x, y, a)` – выполняет линейную интерполяцию между x и y , используя весовые коэффициенты между ними. Возвращаемое значение вычисляется как $x \times (1-a) + y \times a$.

Теперь нам необходимо рассчитать функцию нормального распределения. Для ее аппроксимации, как показано выше, будем использовать функцию Trowbridge-Reitz GGX (8). Изменяя параметр шероховатости, мы будем изменять количество микрограней, ориентированных по медианному вектору.

На рисунке 8 представлена блок-схема, позволяющую построить аппроксимацию функции нормального распределения D в соответствии с выражением (8).

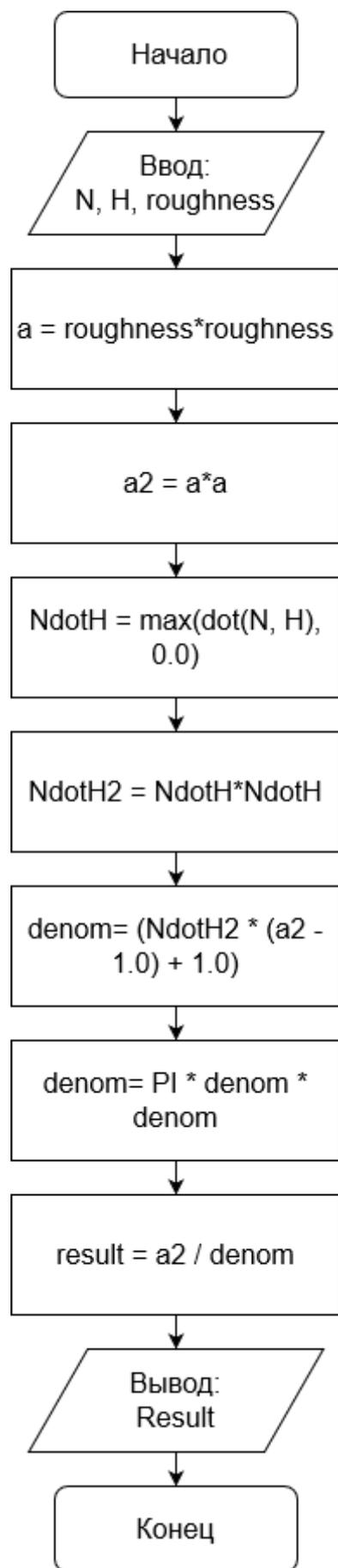


Рисунок 8. Блок-схема работы функции нормального распределения D

На основе блок-схемы (рис. 8) был разработан алгоритм и написана программа на языке GLSL. При этом, исходными данными, как видно из блок-схемы, являются вектор нормали N , медианный вектор H , параметр шероховатости *roughness*.

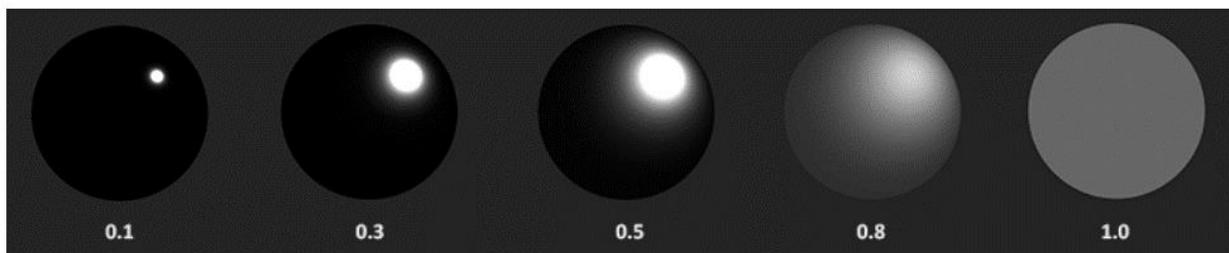


Рисунок 9. Результат работы функции нормального распределения для различных значений параметра a

На рисунке 9 изображен результат работы программы. Из рисунка 9 видно, когда шероховатость мала, что означает гладкую поверхность. То микрограницы ориентированные в направлении медианного вектора концентрируются в небольшом радиусе. Благодаря этой высокой концентрации функция нормального распределения дает очень яркое пятно.

На шероховатой поверхности, где микрограницы ориентированы в более случайных направлениях, обнаруживается гораздо большее количество микрограней, ориентированных в направлении медианного вектора h , но расположенных в большем радиусе, что делает цвет пятна более серым.

Далее необходимо рассчитать функцию геометрии. Чтобы эффективно аппроксимировать геометрию, нам необходимо учитывать как направление обзора (перекрытие геометрии), так и вектор направления света (самозатенение геометрии). Мы можем учитывать оба случая с помощью метода Смита [9].

$$G(n, v, l, k) = G_{sub}(n, v, k)G_{sub}(n, l, k) \quad (14)$$

Рассмотрим блок-схему работы функции геометрии G (9), изображенную на рисунке 10.

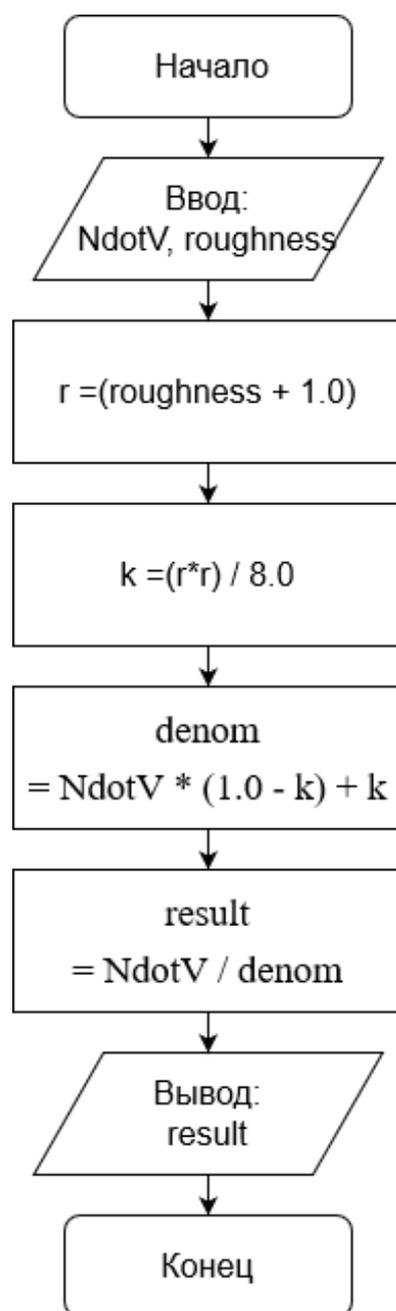


Рисунок 10. Блок-схема функции геометрии G

На вход блок-схемы передаются значение скалярного произведения между векторами N и V и параметр шероховатости roughness.

На основе блок-схемы, изображенной на рисунке 10, была написана программа на языке GLSL. Результат работы программы изображен на рисунке 11.

При использовании метода Смита получим следующую картину при различном параметре шероховатости k.

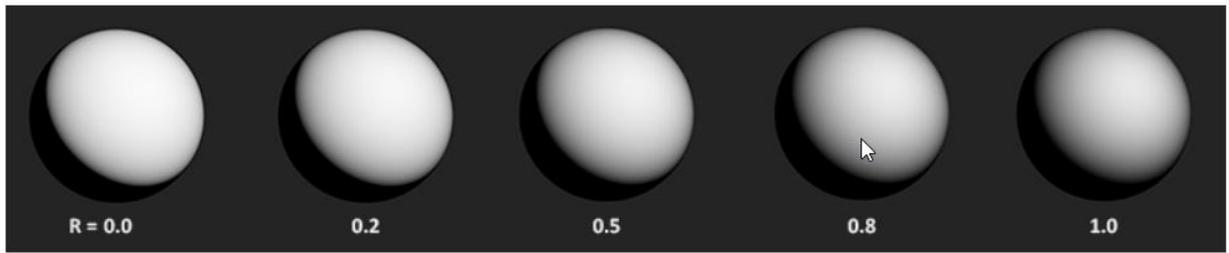


Рисунок 11. Результат работы функции геометрии для различных значений параметра k

Как видно из рисунка 11, с ростом коэффициента шероховатости затенение поверхности становится все более наглядным.

Далее рассмотрим блок-схему работы алгоритма для расчета энергетической яркости L .

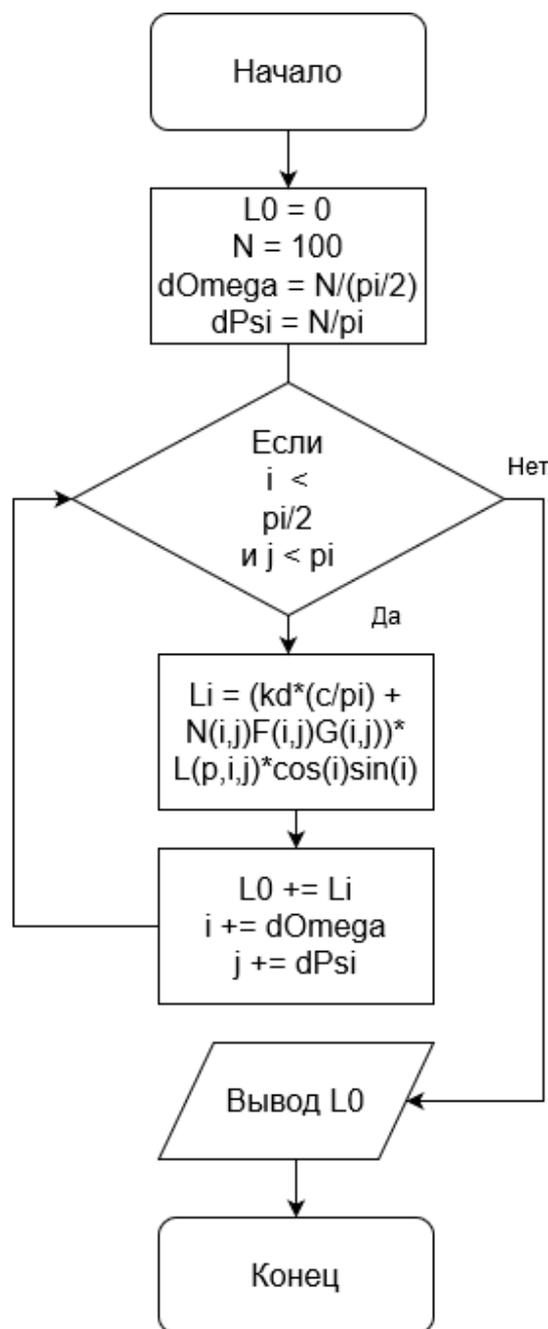


Рисунок 12. Блок-схема работы алгоритма расчета энергетической яркости для комбинированного случая.

На рисунке 12 изображена блок-схема работы алгоритма расчета энергетической яркости как для случая точечного и объемного источников света. На основе данной блок-схемы была осуществлена программная реализация. Подробности и результат работы программы рассмотрим далее.

Энергетическая яркость L , рассматривается как отношение потока излучения φ , энергии излучения источника света, к значению телесного угла

ω . В нашем случае телесный угол ω мы приняли бесконечно малым, и потому энергетическая яркость дает представление о потоке излучения для каждого отдельно взятого направления луча света [14-16].

Теперь мы можем приступить к реализации расчета уравнения рендеринга (13). Для начала разобьем полученный интеграл на две составляющие диффузную и зеркальную. Мы сможем рассчитывать их одновременно.

$$L_o(p, \omega_o) = k_d \frac{c}{\pi} \int_{\Omega} L_i(p, \omega_i)(n \cdot \omega_i) d\omega_i + \int_{\Omega} \frac{DFG}{4(\omega_o \cdot n)(\omega_i \cdot n)} L_i(p, \omega_i)(n \cdot \omega_i) d\omega_i \quad (15)$$

Существует два случая расчета данного интеграла. Для точечных источников света и для объемных.

Для начала рассмотрим, точечный источник света, излучающий во всех направлениях равномерно. Сила излучения данного источника равна его потоку излучения на всех направлениях.

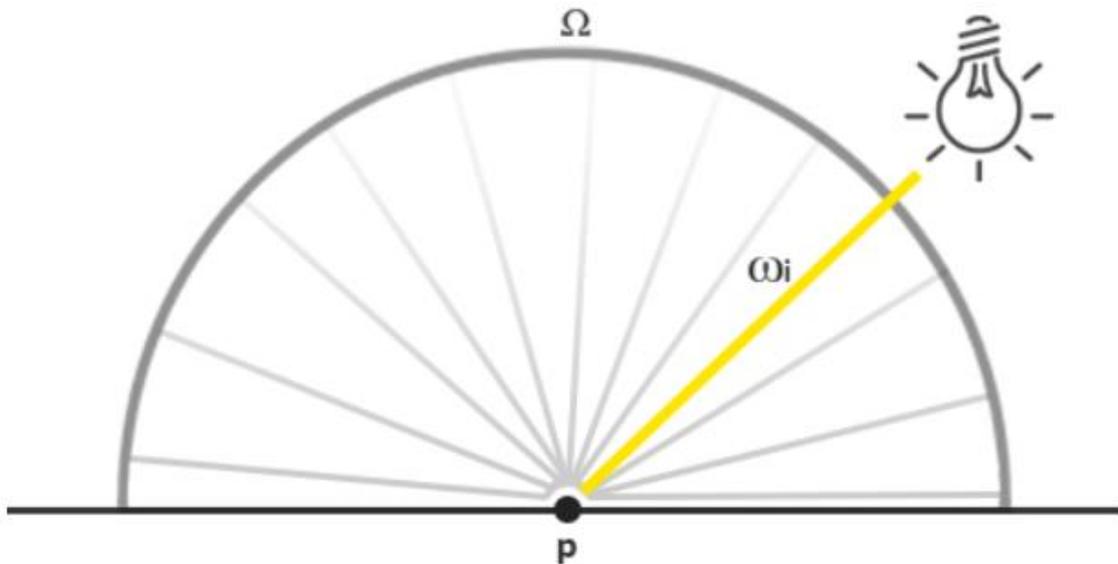


Рисунок 13. Пример падения луча от точечного источника света

Однако, рассмотрев задачу определения цвета конкретной точки p на поверхности, можно увидеть, что из всех возможных направлений падения света в полусфере Ω , только вектор ω_i , изображенный на рисунке 13, будет

явно исходить из источника света [12]. Поскольку задан только один источник света, представленный точкой в пространстве, то для всех остальных возможных направлений падения света в точку p энергетическая яркость будет равной нулю [16].

Данное утверждение верно лишь в рамках предположения, что точечный источник света бесконечно мал и представлен точкой в пространстве. При моделировании объемного источника его светимость будет отличаться от нуля во множестве направлений, а не только на одном луче.

Для прочих источников света, испускающих излучение из единственной точки, энергетическая яркость рассчитывается таким же образом.

Для удовлетворения выражения отражающей способности мы итеративно пройдемся по каждому источнику света, вычислим индивидуальную энергетическую яркость и просуммируем этот вклад [10].

Можно представить данную итерацию как решение интеграла по поверхности только для аналитических источников света.

Поскольку нам заранее известны положения всех участвующих источников света, то у нас нет необходимости пытаться решить интеграл. Мы можем непосредственно рассчитать суммарную облученность, обеспечиваемую этим количеством источников света, поскольку на энергетическую яркость поверхности влияет единственное направление для каждого источника [12].

Расчет для непосредственных источников света является достаточно простым делом, поскольку все сводится к последовательному перебору участвующих в освещении источников.

Приступим к расчету вклада точечного источника в уравнение отражающей способности.

Поскольку коэффициент Френеля непосредственно представляет собой переменную k_S (1), то можно использовать величину F для обозначения вклада источника в зеркальное отражение поверхности. Из величины можно получить и коэффициент преломления.

$$\begin{aligned} k_S &= F \\ k_D &= (1 - k_S) \cdot (1 - m) \end{aligned} \quad (16)$$

Мы считаем величину k_S представляющей количество световой энергии отраженной поверхностью, то вычитая её из единицы, получим остаточную энергию света k_D , преломленного поверхностью. Параметр m будет отражать степень металличности материала.

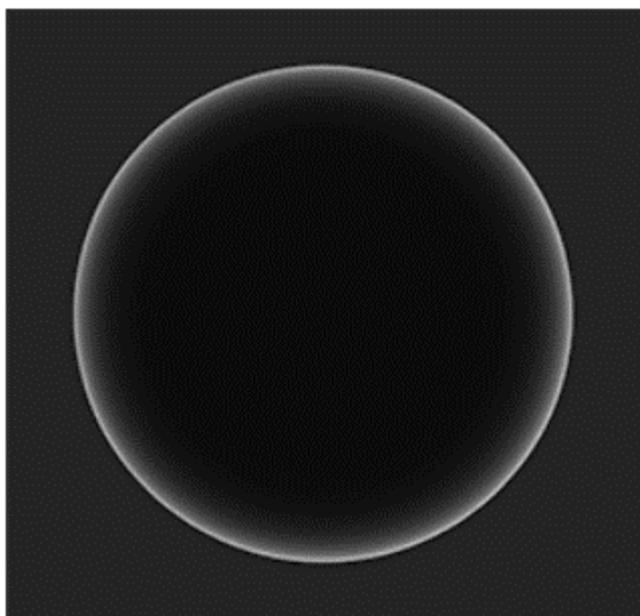


Рисунок 14. Результат работы функции Френеля

На рисунке 14 изображен результат работы функции Френеля для рассматриваемой модели.

Поскольку металлы не преломляют свет и не имеют диффузной компоненты переизлученного света, компонента k_D будет нормализована таким образом, чтобы оказаться равной нулю для полностью металлического материала.

После объединения всех расчетов мы получим следующий результат работы программы для точечных источников света.

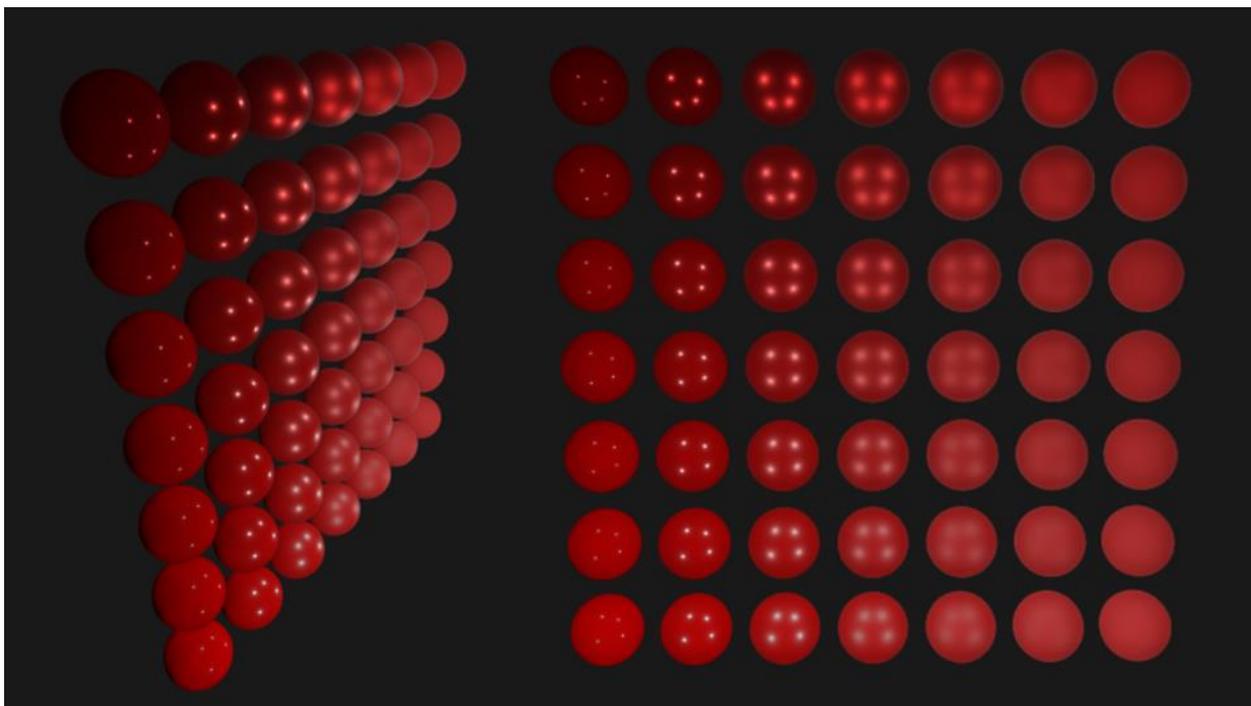


Рисунок 15. Результат работы программы для четырех точечных источников света

На рисунке 15 изображена матрица из сфер. По вертикали изменяется параметр металличности $m \in [0, 1]$. По горизонтали изменяется параметр шероховатости $k \in [0, 1]$. Из рисунка видно, что сферы значительно различаются, что говорит об отличной гибкости модели.

Далее будем производить расчет уравнения (13) для объемных источников света.

Чтобы упростить задачу расположения нескольких тел в пространстве, поместим моделируемые сферы внутрь другой сферы. На внешней сфере разместим текстуру, от которой и будем рассчитывать поток излучения L . Она будет являться объемным источником света.



Рисунок 16. Текстура комнаты сделанная в сферической панораме

Чтобы удобнее было рассчитывать интеграл избавимся от телесного угла $d\omega$ и перейдем к сферическим координатам θ , ϕ . Это также упростит взаимодействия с объемным источником света, изображенным на рисунке 16.

Угол ϕ представляет собой азимут в плоскости основания полусферы, изменяясь в диапазоне значений $[0, 2\pi]$. Другой угол θ будет представлять собой угол места изменяясь в диапазоне значений $[0, \pi/2]$. Перепишем уравнение (13) в сферических координатах.

$$L_o(p, \phi_o, \theta_o) = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\frac{\pi}{2}} (k_d \frac{c}{\pi} + f_r(p, \phi_o, \theta_o)) L_i(p, \phi_o, \theta_o) \cos(\theta) \sin(\theta) d\phi d\theta \quad (17)$$

После расчета интеграла (17) получим следующую смоделированную сцену.

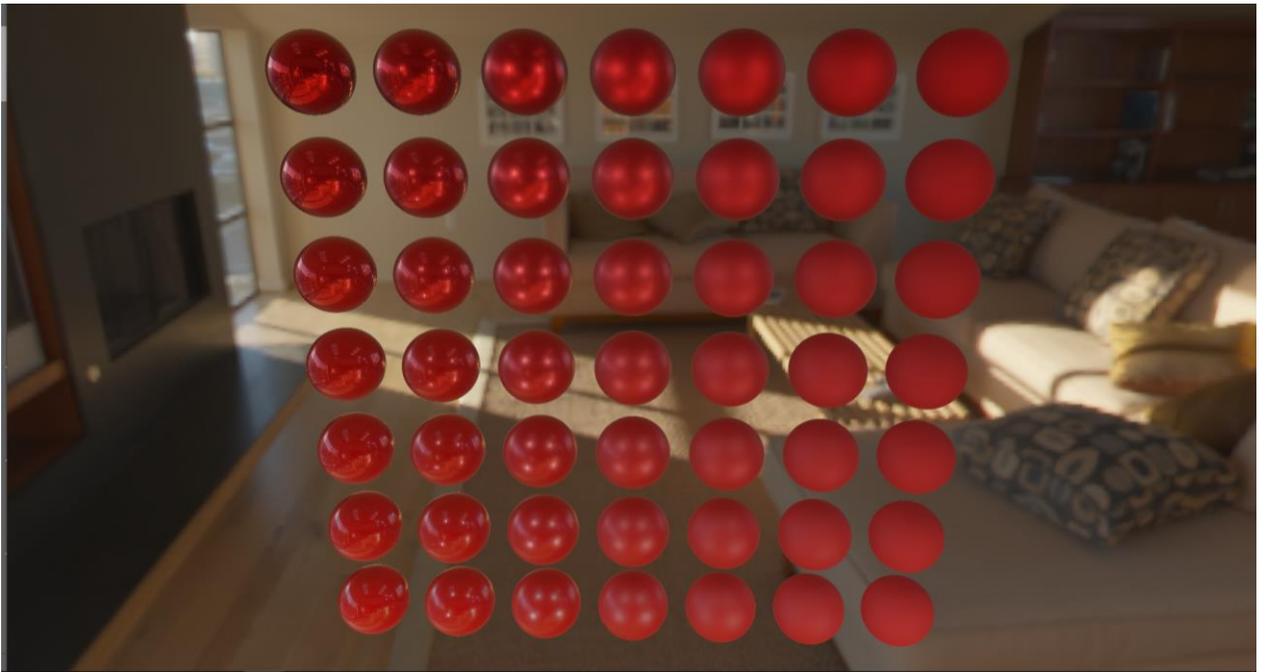


Рисунок 17. Результат работы программы для четырех точечных источников света и одного объемного источника света



Рисунок 18. Результат работы программы для полностью металлического объекта



Рисунок 19. Результат работы программы для полностью не металлического объекта

На рисунке 17 изображена матрица из сфер. По вертикали изменяется параметр металличности $m \in [0, 1]$. По горизонтали изменяется параметр шероховатости $k \in [0, 1]$. Из рисунка видно, что сферы значительно различаются, что говорит об отличной гибкости модели.

Из рисунков 17-19 видно, что вклад, который дает объемный источник света, достаточно велик. Изменился не просто цвет сфер по сравнению с рисунком 15, но появилось также отражение внешних объектов на сфере. Все это говорит о работоспособности построенной модели.

3.2 Примеры восстановления объектов на основе построенной модели освещения

После проверки работоспособности модели на простых объектах, перейдем к восстановлению более сложных объектов.



Рисунок 20. Рендеринг пистолета

На рисунке 20 изображен рендеринг пистолета в различном окружении. На каждой из сцен из-за различных цветовых параметров пистолет выглядит по-разному. При разных условиях выделяются разные детали, а другие становятся менее заметными.



Рисунок 21. Рендеринг объектива фотокамеры

На рисунке 21 изображен рендеринг объектива фотокамеры при в различных сценах. Из рисунка 21 видно, что металлические детали фотокамеры сильно различаются в сценах. Пластмассовые части камеры отличаются мене значительно.

Таким образом, как видно из представленных рисунков, построенная модель позволяет исходя из параметров цвета, для каждой сцены реализовать необходимую корректировку цвета объекта.

3.3 Исследование адекватности модели на основе расчета СКО аппроксимации

Проведем исследование адекватности модели на примере расчета среднеквадратической ошибки (СКО) аппроксимации уравнения Френеля функцией Шлика и аппроксимации функции плотности нормального распределения функцией Trowbridge-Reitz.

Для начала рассмотрим метод оценки ошибки для функции плотности нормального распределения.

При расчете ошибки для функции плотности нормального распределения могут возникнуть некоторые проблемы. Это связано с тем, что при использовании функций в программе, они нормализуются в диапазоне значений [0 255]. Это связано с тем, что их значения переходят в ограниченный диапазон значений цвета.

Также существует проблема, связанная с вычислением относительной ошибки погрешности. Если мы будем вычислять ошибку как.

$$\partial = \frac{|x - y|}{x} \quad (2)$$

Где x – точное значение, y – полученное значение. Тогда мы получим разные результаты при одинаковой абсолютной погрешности из различных диапазонов значений. Чтобы этого избежать можно воспользоваться следующей формулой [12].

$$\partial = \frac{|x - y|}{f(x, y)} \quad (3)$$

$$f(x, y) = 255 - x$$

Для того, чтобы рассчитать ошибку правильно мы будем брать значения цвета с полученных изображений.

Так как значение параметра a подбирается эмпирическим образом, рассчитаем ошибку для всех значений a в диапазоне $[0, 1]$, затем выберем значение a с наименьшим значением погрешности и построим изображения. Значения функций будут лежать в диапазоне трех сигма относительно функции плотности нормального распределения. Значение константы $\sigma = 0.1$.

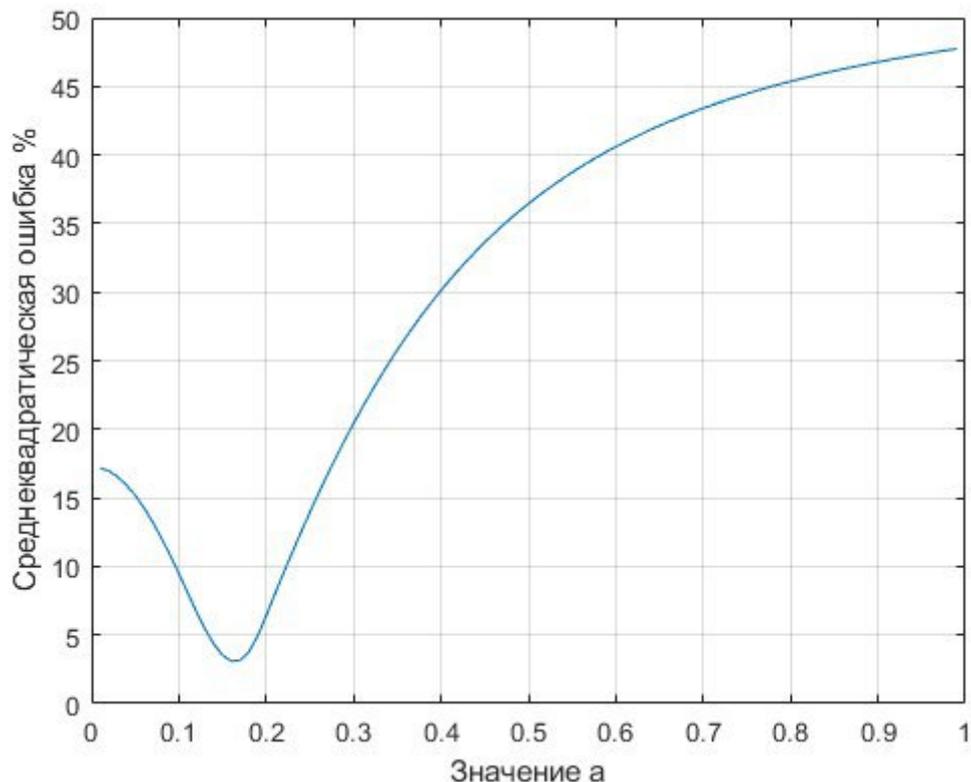


Рисунок 22. Расчет ошибки для функции D при $\sigma = 0.1$ и различных значениях параметра a

Как видно из рисунка 22, минимальная ошибка в 3.0953% получается при значении $a = 0.16$.

На основе найденного коэффициента построим изображение.

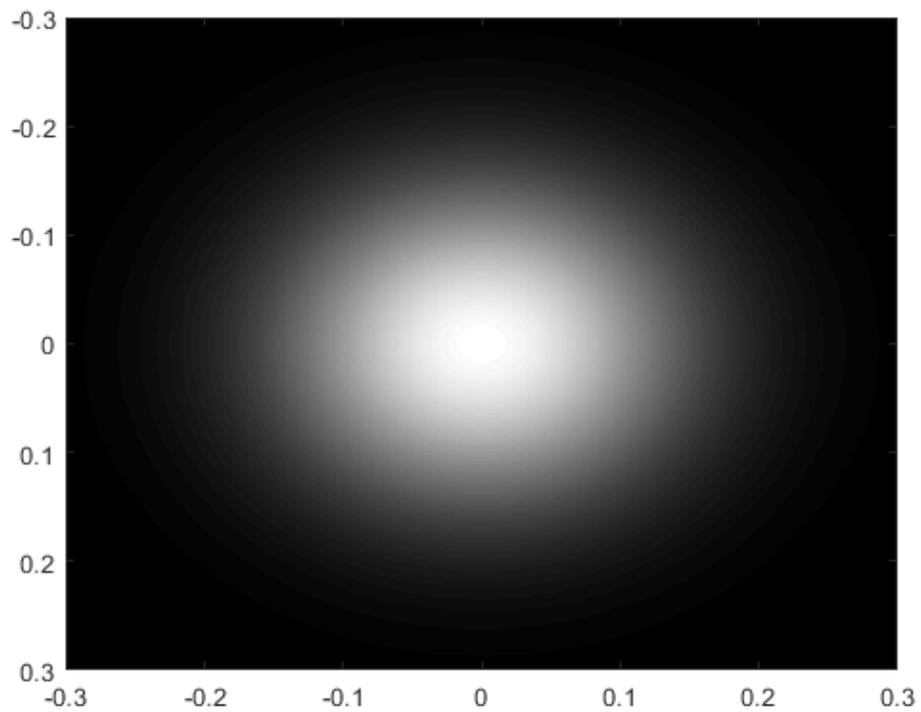


Рисунок 23. Изображение, полученное с помощью функции плотности нормального распределения

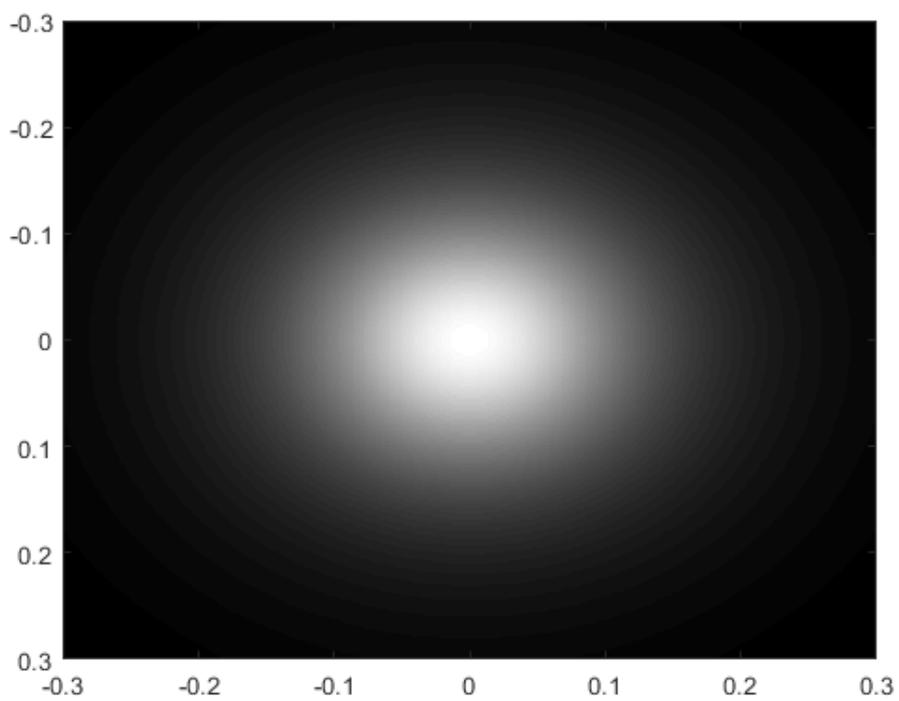


Рисунок 24. Изображение, полученное с помощью аппроксимации

Из рисунков 23 и 24 видно, что они имеют большую схожесть, а относительная погрешность находится в допустимом диапазоне и не превышает 3.1%.

Далее, для оценки адекватности модели, предварительно рассмотрим более подробно физический смысл уравнения Френеля.

Уравнения Френеля определяют амплитуды и интенсивности преломлённой и отражённой электромагнитной волны при прохождении через плоскую границу раздела двух сред с разными показателями преломления. При падении на плоскую границу различают две поляризации света. s-поляризация — это поляризация света, для которой напряжённость электрического поля электромагнитной волны перпендикулярна плоскости падения (т.е. плоскости, в которой лежат и падающий, и отражённый луч). p-поляризация — поляризация света, для которой вектор напряжённости электрического поля лежит в плоскости падения. Свет, который мы моделируем считаем не поляризованным. Это означает, что для расчета коэффициента отражения будет использоваться среднее значение между R_s и R_p .

Когда свет попадает на поверхность, уравнение Френеля дает нам процент отраженного света на основании угла, под которым мы видим эту поверхность. Из этого соотношения отражения и закона сохранения энергии мы можем непосредственно получить преломленную часть света, которая будет равна оставшейся энергии.

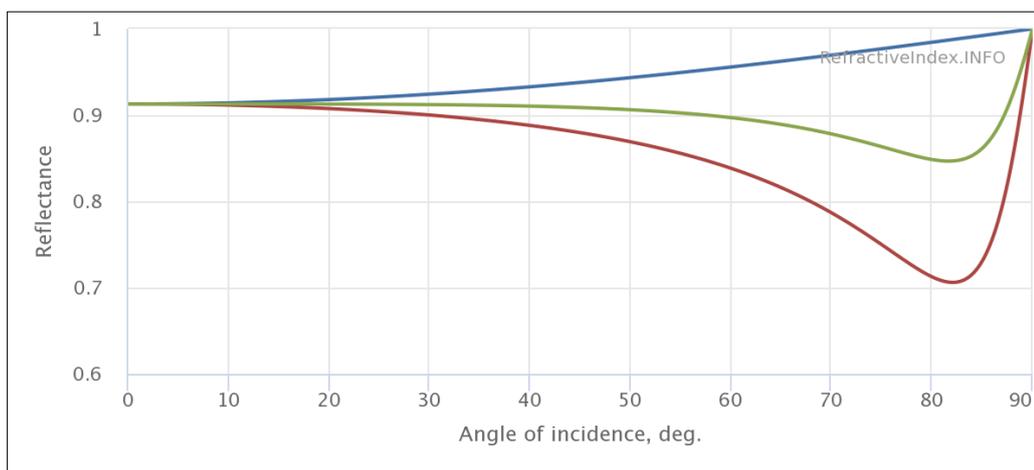


Рисунок 25. Коэффициент отражения Френеля для алюминия, при длине волны равной 625 нанометров. Синим отмечены значения коэффициента для s-поляризованной волны, красным – для р-поляризованной волны, зеленым – для не поляризованной волны

Коэффициент отражения Френеля — это доля входящего света, который отражается от оптически плоской поверхности данного вещества. График функции коэффициента изображен на рисунке 22. Он варьируется в зависимости от направления света и нормали поверхности. В нашем случае от микрограней. Коэффициент отражения Френеля говорит нам, сколько света отражается от соответствующих микрообъектов (тех, которые направлены в направлении половинного угла).

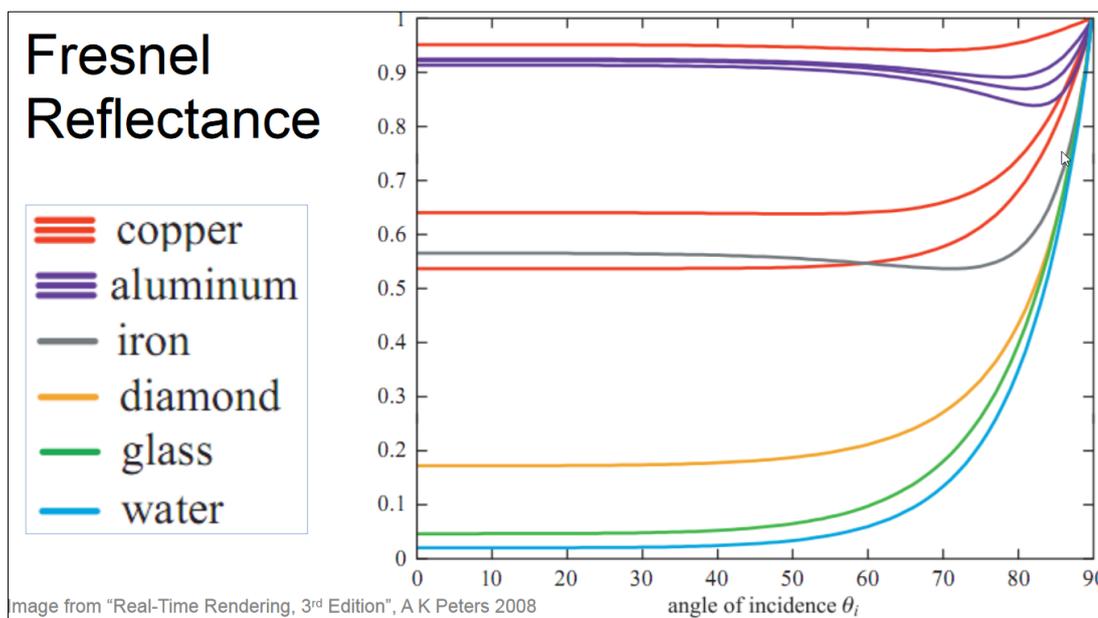


Рисунок. 26 Значения коэффициента отражения Френеля для различных веществ

Отражательная способность Френеля изображена на оси Y на рисунке 23 и зависит от показателя преломления и угла входящего света, который представлен на этом же рисунке на оси X. Показатель преломления характеризует вещество, из которого сделан объект. На этом графике вещества с тремя линиями (медь и алюминий) имеют цветную отражательную способность, которая показана отдельно для каналов R, G и B - другие вещества, имеющие одну линию, имеют монохромную отражательную способность.

Поскольку на большей части видимой поверхности значение отражательной способности Френеля аналогично значению для 0 градусов, мы можем рассматривать это значение как характерный зеркальный цвет поверхности.

Для того, чтобы вычислять функцию в реальном времени обычно используется аппроксимация Шлика для уравнений Френеля [14]. Это дешево и достаточно точно; что еще более важно, эта аппроксимация параметризована зеркальным цветом. Как мы видели ранее, при использовании в уравнении BRDF для микрограней, вектор h используется вместо вектора нормали.

$$F(h, \nu, F_0) = F_0 + (1 - F_0)(1 - (h \cdot \nu))^5 \quad (12)$$

Здесь F_0 представляет базовую отражательную способность поверхности.

Рассчитаем ошибку аппроксимации уравнения Шлика для меди. Вычисления будут проводиться для волн, соответствующих красному, зеленому и синему спектру. Полученные значения будут соответствовать модели RGB.

Таблица 1. Показатели преломления для меди

Длина волны, нм	Показатель преломления, n
0.695	$0.21577 + i \cdot 4.0527$
0.530	$0.82310 + i \cdot 2.4763$
0.430	$1.28640 + i \cdot 2.2884$

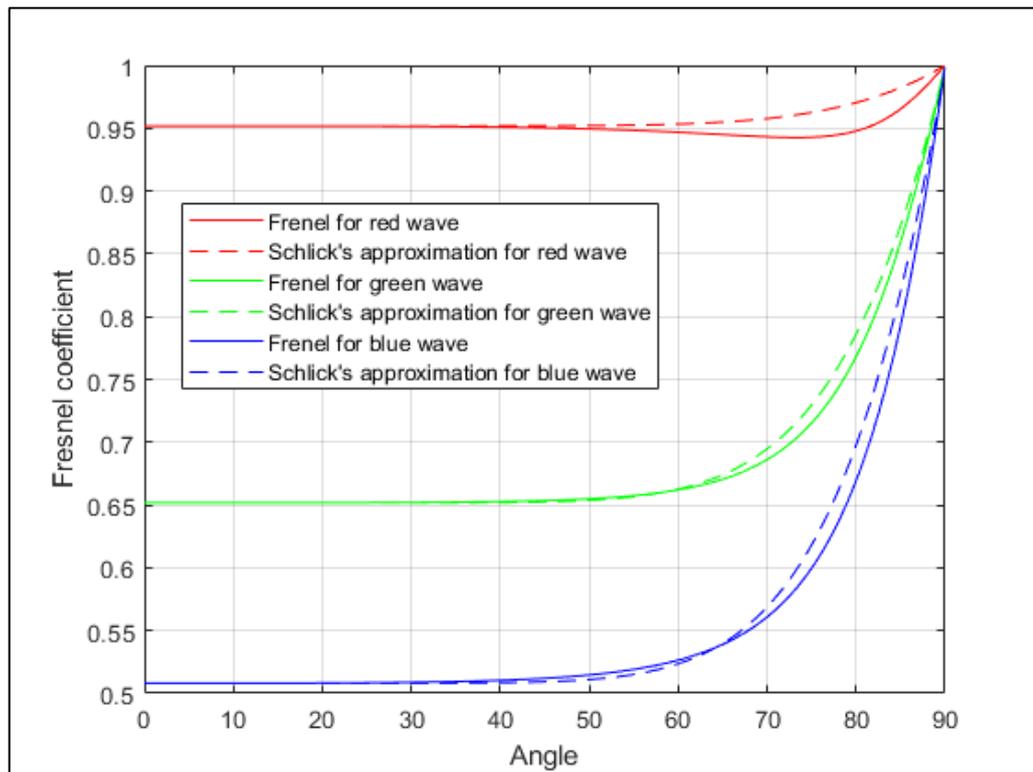


Рисунок 27. Уравнения Шлика и Френеля для меди

Используя данные из таблицы 1 [18], построим уравнение Френеля и уравнение Шлика для каждой волны, изображенные на рисунке 24.

Таблица 2. Погрешность аппроксимации

Длина волны, нм	Относительная погрешность, $\delta\%$
0.695	0.59245%
0.530	0.47060%
0.430	0.88686%

Рассчитаем ошибку полученной аппроксимации [17-19] и запишем ее в таблицу 2.

Как видно из таблицы 2 по всем трем длинам волн относительная погрешность находится в допустимом диапазоне и не превышает 1%.

Таким образом, построенная модель имитации света позволяет восстанавливать объекты с высокой достоверностью.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Б61	Козлову Анатолию Евгеньевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОИТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02/ Прикладная математика и информатика

Тема ВКР:

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКИ КОРРЕКТНОГО ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Человеческие ресурсы – 2 человека.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Количество календарных дней – 366; Количество рабочих дней – 248; Количество нерабочих дней – 118
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет 0,3.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	– Описание целевой аудитории разрабатываемой системы. – Анализ конкурентных технических решений – Проведение QuaD-анализа. – Матрица SWOT
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	– Определение организационной структуры проекта. – Определение трудоемкости выполнения работ. – Разработка календарного плана выполнения проекта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегральных показателей эффективности исследования, выбор наилучшего исполнения
Перечень графического материала:	

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора И. В.	к.э.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Козлов Анатолий Евгеньевич		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Данное программное обеспечение позволяет моделировать физически корректное отражение света в компьютерной графике, что позволяет создавать реалистичные трехмерные сцены. Основной целевой аудиторией данного программного обеспечения являются художники, дизайнеры, технические дизайнеры, и прочие люди, которые учувствуют в разработке сцен компьютерной графики.

Актуальность данной работы заключается в возможности формирования реалистичной картинки без существенных усилий со стороны специалиста. Данное программное обеспечение формирует новый подход к решению, что позволяет улучшить качество конечного продукта.

4.2. Технология QuaD

Данный вид анализа представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющих принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. Оценочная карта, рассчитанная по технологии QuaD, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Оценочная карта по технологии QuaD

Критерии оценки	Вес критерия	Средний балл	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Удобство в использовании	0.1	80	100	0.8	0.08
2. Функциональные возможности	0.05	65	100	0.65	0.0325
3. Скорость работы программы	0.15	95	100	0.95	0.1425
4. Интерфейс	0.05	75	100	0.75	0.0375
5. Требовательность к системе	0.15	95	100	0.95	0.1425

6. Возможность оперативного обновления	0.1	95	100	0.95	0.095
7. Справочная информация	0.05	60	100	0.6	0.03
8. Независимость от сторонних расчетов	0.1	75	100	0.75	0.075
9. Масштабируемость	0.05	80	100	0.8	0.04
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
10. Цена	0.1	90	100	0.9	0.09
11. Перспективность рынка	0.05	55	100	0.55	0.0275
12. Послепродажное обслуживание	0.05	85	100	0.85	0.0425
Итого	1				0.835

Показатель конкурентоспособности, рассчитанный по технологии QuaD, равен 0.835, что говорит о хорошей перспективности данной разработки.

4.3.SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Данный анализ проводится для исследования внутренней и внешней среды проекта и позволяет оценить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы проекта. Результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2–Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Использование OpenGL для работы с параллельными вычислениями. С2. Быстрота разработки. С3. Легкая масштабируемость. С4. Оперативность добавления нововведений. С5. Нетребовательность к квалификации разработчиков.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Техническая ограниченность возможностями движка. Сл2. Зависимость от сторонних программ при создании нововведений. Сл3. Визуальное улучшение программы сильно сказываются на требованиях к ЭВМ пользователя. Сл4. Пользователь не может сам добавлять нужные ему нововведения. Сл5. Вовлеченность разработчика в создание всех частей программы.
Возможности: В1. Привлечение новых потребителей.	Направления развития: В1С2С4	Сдерживающие факторы: В1Сл3Сл4

<p>В2. Легкая возможность ухода разработки в иную предметную область для расширения целевой аудитории.</p> <p>В3. Большие возможности по модернизации проекта.</p> <p>В4. Возможность включения в проект новых технологических решений.</p> <p>В5. Привлечение новых кадров к работе над проектом.</p>	<p>Быстрота создания продукта и оперативность добавления нововведений позволят привлечь новую аудиторию и подстроиться под ее запросы</p> <p>В2С2</p> <p>Возможность добавления необходимого функционала для совершенно новой аудитории позволит увеличить спрос без ущерба для прошлой целевой аудитории</p> <p>В4В3С3С4</p> <p>Имеется возможность относительно оперативного добавления новых технологических решений в проект, что позволит дольше поддерживать проект актуальным</p> <p>В5С5</p> <p>Достаточно просто найти необходимого кандидата на роль разработчика</p>	<p>Определенные программные ограничения и требования не всем понравятся</p> <p>В3Сл2Сл5</p> <p>В случае необходимости добавления нововведений разработчики будут сильно нагружены работой сразу над множеством задач</p> <p>В4Сл1</p> <p>Имеется существенная вероятность, что некоторые новые технологические решения не будут доступны в движке изначально</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Изначально слабый спрос на продукт.</p> <p>У2. Простота разработки может быстро привлечь конкурентов.</p> <p>У3. Падение спроса из-за роста требований к ЭВМ пользователя.</p> <p>У4. Изначально очень слабое финансирование проекта может критично сказаться на дальнейшем развитии проекта.</p> <p>У5. Полное отсутствие маркетинга может критично сказаться на увеличении изначально слабого спроса.</p>	<p>Угрозы развития:</p> <p>С4У4</p> <p>Для оплаты труда разработчиков при создании и добавления нововведений может не хватить финансовых средств</p> <p>С5У5</p> <p>Затруднительно привлечь новые кадры с проекту с низким спросом.</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У1Сл4</p> <p>Части потенциальных потребителей может не понравиться идея ожидания добавления необходимого им контента в программу</p> <p>У3Сл3</p> <p>Добавление/улучшение визуальной части сократит часть аудитории, которая обладает относительно слабыми ЭВМ</p> <p>У4Сл1Сл2Сл5</p> <p>Мало объема финансовых средств может не хватить для найма новых кадров и добавления нового функционала</p>

Анализ показал, что проект множество направлений для своего развития, при этом имея несколько немаловажных уязвимостей.

5. Планирование научно-исследовательских работ

5.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

-установление продолжительности работ;

-построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе составлен перечень работ в рамках проведенного научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составленных работ и распределение исполнителей приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень работ и распределение исполнителей.

№ работы	Наименование работы	Исполнители работы
1	Выбор научного руководителя бакалаврской работы	Козлов А. Е.
2	Составление и утверждение темы бакалаврской работы	Кочегуров А. И., Козлов А. Е.
3	Составление календарного плана-графика выполнения бакалаврской работы	Кочегуров А. И.
4	Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы	Кочегуров А. И., Козлов А. Е.
5	Анализ предметной области	Кочегуров А. И., Козлов А. Е.
6	Разработка необходимых элементов программы	Кочегуров А. И., Козлов А. Е.
7	Разработка необходимых скриптов	Кочегуров А. И., Козлов А. Е.
8	Сборка рабочей программы	Кочегуров А. И., Козлов А. Е.
9	Тестирование и исправление ошибок работы программы	Кочегуров А. И., Козлов А. Е.
10	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Кочегуров А. И., Козлов А. Е.
11	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Козлов А. Е.
12	Подведение итогов, оформление работы	Козлов А. Е.

Таким образом, сформирован перечень работ с распределением всех исполнителей.

5.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемой продолжительности работ $t_{ож}$ с помощью экспертных оценок были использованы следующие формулы:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (1)$$

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (2)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.3. Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика, длительность каждого этапа работ из рабочих дней переведена в календарные дни, для этого использована формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (4)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Согласно производственному календарю (для 6-дневной рабочей недели) в 2020 году 366 календарных дней, 248 рабочих дней, 118 выходных/праздничных дней.

Просчитанные значения в календарных днях приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Временные показатели проведения научного исследования

Наименование работы	Исполнители работы	Трудоемкость работ, чел-дни			Длительность работ, дни	
		tmin	tmax	тож	Тр	Тк
Выбор научного руководителя бакалаврской работы	Козлов А. Е.	1	3	1.8	2	3
Составление и утверждение темы бакалаврской работы	Кочегуров А. И.	1	2	1.4	1	1
	Козлов А. Е.	2	4	2.8	1	1
Составление календарного плана-графика выполнения бакалаврской работы	Кочегуров А. И.	2	3	2.4	2	2
Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы	Кочегуров А. И.	1	2	1.4	1	1
	Козлов А. Е.	4	7	6	6	7
Анализ предметной области	Кочегуров А. И.	5	9	7	7	9
	Козлов А. Е.	7	10	8.2	8	10
Разработка необходимых элементов программы	Козлов А. Е.	12	18	14.4	14	17
Разработка необходимых скриптов	Козлов А. Е.	10	15	12.8	12	14
Сборка рабочей программы	Козлов А. Е.	2	4	2.8	3	4
Тестирование и исправление ошибок	Козлов А. Е.	7	14	9.8	10	12
Согласование выполненной работы с научным руководителем	Кочегуров А. И.	1	2	1.4	1	1
	Козлов А. Е.	1	2	1.4	1	1
Выполнение других частей работы	Козлов А. Е.	14	21	16.8	17	21
Подведение итогов, оформление работы	Козлов А. Е.	7	12	9	9	11
Итого	Кочегуров А. И.				12	14
	Козлов А. Е.				83	101

Для наглядности представленных данных построена Диаграмма Ганта для данных расчётов.

В качестве условных обозначений использовались следующие установки: И –исполнитель (Козлов А. Е.), НР –научный руководитель (Кочегуров А. И.)

Работа над проектом велась с 24 января 2020 по 25 мая 2020 года.

Таблица 5 – Диаграмма Гантта

№	Вид работ	НР	С	Продолжительность выполнения работ													
				февраль			март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Выбор научного руководителя бакалаврской работы	0	2	■													
2	Составление и утверждение темы бакалаврской работы	1	1	■													
3	Составление календарного плана-графика выполнения бакалаврской работы	2	0	■	■												
4	Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы	1	6		■	■	■										
5	Анализ предметной области	7	8			■	■	■									
6	Разработка необходимых элементов программы	0	14				■	■	■	■							
7	Разработка необходимых скриптов	0	12					■	■	■	■						
8	Сборка рабочей программы	0	3							■	■	■					
9	Тестирование и исправление ошибок	0	10								■	■	■	■			
10	Согласование выполненной работы с научным руководителем	1	1											■			
11	Выполнение других частей работы	0	17										■	■	■	■	
12	Подведение итогов, оформление работы	0	9												■	■	

- - Исполнитель
- - Научный руководитель

6. Бюджет научно-технического исследования

6.1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Данная статья затрат включает в себя затраты на приобретение сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих со стороны. Также в эту статью включаются транспортные расходы, равные 15% от общей стоимости материальных затрат. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i N_{расч_i} \quad (5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Для выполнения данной работы были приобретены только канцелярские принадлежности в сумме на 1260 рублей.

6.2. Расчет материальных затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) целей

В ходе выполнения научно-исследовательской работы использовалось оборудование, имеющееся лично у студента. Далее приведены расчеты амортизации используемого оборудования за время работы. Срок полезного использования для офисных машин (код 330.28.23.23) составляет 3 года, ПК был использован на протяжении 4 месяцев, его цена составляет 75000 рублей.

Норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{3} * 100\% = 33,33\%$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 75000 * 0,33 = 27450 \text{ рублей}$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{27450}{12} = 2287,5 \text{ рублей}$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 2287,5 \times 4 = 9150 \text{ рублей}$$

Также для выполнения проекта была приобретена платная версия ПО, сроком на 6 месяцев стоимостью 48750 рублей.

Норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{0.5} * 100\% = 200\%$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 48750 * 2 = 97500 \text{ рублей}$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{27450}{12} = 8125 \text{ рублей}$$

Итоговая сумма амортизации нематериальных активов:

$$A = 8125 * 4 = 32500 \text{ рублей}$$

Итоговый расчет затрат на амортизацию представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет затрат на амортизацию

Наименование	Затраты, руб.
Амортизация ПК	9150
Амортизация ПО	32500

6.3.Основная заработная плата исполнителей темы

Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Месячный оклад (МО) НР, занимающего должность доцента и

имеющего степень кандидата технических наук, составляет 33664 руб./мес. МО исполнителя, являющегося студентом, составляет 21760 руб./мес. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_p \quad (7)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_\partial} \quad (8)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_∂ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 7 – Баланс рабочего времени для 6-дневной недели

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	366
Нерабочие дни (праздники/выходные)	118
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	56
Действительный годовой фонд рабочего времени	248

Расчет дневной заработной платы студента и руководителя:

$$(21760 \cdot 10.4) / 248 = 931.29 \text{ рублей (для студента)}$$

$$(33664 \cdot 10.4) / 248 = 1440.76 \text{ рублей (для научного руководителя)}$$

Расчет основной заработной платы студента и руководителя:

$$931.29 \cdot 1.3 \cdot 94 = 113803.64 \text{ рублей (для студента)}$$

$$1440.76 \cdot 14 \cdot 1.3 \cdot (1 + 0.3 + 0.2) = 39332.75 \text{ рублей (для руководителя)}$$

Таблица 8 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Здн, руб.	Кпр	Кд	Кр	Гр	Зосн
Студент	931,29	0	0	1,3	94	113803,64
Научный руководитель	1440,76	0,3	0,2	1,3	14	39332,75
Итого:						153136,388

6.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (9)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (0,12 – 0,15).

Расчет дополнительной заработной платы студента и руководителя:

$$113803,64 \cdot 0,15 = 17070,55 \text{ рублей (для студента)}$$

$$39332,75 \cdot 0,15 = 5899,91 \text{ рублей (для руководителя)}$$

Таким образом, для студента дополнительная заработная плата составит 17070,55 рублей, для научного руководителя – 5899,91 рубль.

6.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Эта статья включает обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам ФСС, ПФ и ФФОМС от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (10)$$

Расчет отчислений для студента и руководителя:

$$0,28*(113803,64 + 17070,55) = 36644,77 \text{рублей (для студента)}$$

$$0,28*(39332,75 + 5899,91) = 12665,14 \text{рублей (для руководителя)}$$

Таким образом, отчисления для студента составят 36644,77 рублей, для научного руководителя –12665,14 рублей.

6.6. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов.

Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей с 1 по 5}) * k_{\text{нр}} \quad (11)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

Расчет накладных расходов:

$$0,16*(1260+9150+32500+113803,64+39332,75+17070,55+5899,91+36262,26+13569,80) = 43015,83 \text{рублей.}$$

В итоге, величина накладных расходов составляет 43015,83 рублей.

6.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Бюджет затрат на выполняемый проект приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	1260	0,40
Затраты на специальное оборудование	41650	13,36
Затраты на основную заработную плату	153136,388	49,10
Затраты на дополнительную заработную плату	22970,46	7,37
Страховые взносы	49832,06	15,98
Накладные расходы	43015,83	13,79
Общий бюджет	311864,74	100%

7. Определение потенциального эффекта исследования

Определим эффективность научного исследования на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Коэффициент научной (научно-технической) результативности определяется по формуле $E = \sum_{i=1}^k E_i K_i$, где:

k – число оцениваемых параметров;

E_i – коэффициент значимости фактора (влияние i -го параметра на научную (научно-техническую) результативность);

K_i – коэффициент достигнутого уровня i -го параметра.

Воспользуемся характеристиками факторов из таблицы 10 для оценки коэффициента научно-технической результативности.

Таблица 10 – Характеристики факторов и признаков научно-технической результативности прикладной НИР

Фактор научно-технической результативности	Коэффициент значимости фактора	Качество фактора	Характеристика фактора	Коэффициент достигнутого уровня
Перспективность использования результатов	0,5	Первостепенная	Результаты могут найти применение во многих научных направлениях	1,0
		Важная	Результаты будут использованы при разработке новых технических решений	0,8
		Полезная	Результаты будут использованы при последующих НИР и разработках	0,5
Масштаб реализации результатов	0,3	Национальная экономика	Время реализации: до 3 лет до 5 лет до 10 лет свыше 10 лет	1,0 0,8 0,6 0,4
		Отрасль	Время реализации: до 3 лет до 5 лет до 10 лет свыше 10 лет	0,8 0,7 0,5 0,3
		Отдельные фирмы и предприятия	Время реализации: до 3 лет до 5 лет до 10 лет свыше 10 лет	0,4 0,3 0,2 0,1

Завершенность результатов	0,2	Высокая	Техническое задание на опытно-конструкторские работы	1
		Средняя	Рекомендации, развернутый анализ, предложения	0,6
		Недостаточная	Обзор, информация	0,4

Проведем необходимые расчеты исходя из оценок экспертов, непосредственно участвовавших в процессе проведения исследования:

$$E = E_1K_1 + E_2K_2 + E_3K_3 = 0.5 \cdot 1 + 0.3 \cdot 0.4 + 0.2 \cdot 0.6 = 0.74$$

Показатель научно технической результативности $E = 0.74$, что говорит о довольно высокой качественной характеристике проведенного исследования.

Заключение

Данный проект потребует финансовых затрат в сумме 311864,74 рублей и займет 120 календарный дней на выполнение.

Сам проект изначально имеет узкий круг потребителей, но способен выделиться из-за отсутствия конкурентов в данной области. Если же результаты окажутся положительными, то имеются весомые шансы увеличения спроса на данный программный продукт, и, как следствие, продолжится развитие проекта в новых направлениях.

В результате использования данный проект позволит ускорить процесс создания трехмерных сцен компьютерной графики, а так же повысить качество сцен за счет отсутствия необходимости ручной настройки и анализа множества параметров в отдельности.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Б61	Козлову Анатолию Евгеньевичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОИТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02 Прикладная математика и информатика

Тема ВКР:

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКИ КОРРЕКТНОГО ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Программное обеспечение, предназначенное для использования на персональных компьютерах для построения математической модели отражения света. Рабочим местом выступает письменный стол, ПК и соответствующее оборудование;
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Рабочее место при выполнении работ сидя регулируется ГОСТом 12.2.032 –78 – Организация рабочих мест с электронно-вычислительными машинами регулируется СанПиНом 2.2.2/2.4.1340 –03 – Рациональная организация труда в течение рабочего времени предусмотрена Трудовым Кодексом РФ ФЗ-19
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – Повышенный уровень электромагнитных излучений – Отклонение показателей микроклимата – Недостаточная освещенность рабочей зоны – Повышенный уровень шума на рабочем месте – Монотонность труда – Эмоциональные перегрузки – Электробезопасность

3. Экологическая безопасность:	Загрязнение окружающей среды при утилизации ПК и его части
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возникновение пожара

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
-------------------------------------------------------------	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Матвиенко В.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Козлов А.Е.		

Введение

Данный раздел включает в себя выявление, анализ вредных и опасных факторов, связанных с разработкой (этап изготовления отсутствует в силу специфики работы) и эксплуатацией программного обеспечения. Рассмотрены вопросы организации безопасных условий труда, охраны окружающей среды.

Объектом исследования в данном разделе выступает разрабатываемое программное обеспечение, предназначенное для использования на персональном компьютере для облегчения моделирования физически корректного отражения света в трехмерных сценах компьютерной графики.

Социальная направленность данной темы заключается в снижении вредного воздействия ЭВМ на пользователя. Путем ускорения процесса создания трёхмерных сцен с помощью моделирования отражения света.

Рабочие места как разработчика, так и пользователя программного обеспечения, идентичны и представляют собой стационарное место, оборудованное персональным компьютером и оргтехникой.

В качестве рабочей зоны используется учебная аудитория 103 в Кибернетическом центре ТПУ с системой отопления, кондиционером, естественным и искусственным освещением.

8. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

8.1. Специальные (характерные для практикуемой рабочей зоны)

правовые нормы трудового законодательства

Рабочее время - время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности, а также иные периоды времени, которые в соответствии с Трудовым кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации относятся к рабочему времени.

Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. Порядок исчисления нормы рабочего времени

на определенные календарные периоды (месяц, квартал, год) в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю определяется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда.

Работодатель обязан вести учет времени, фактически отработанного каждым работником.

Согласно статье 209 Трудового кодекса РФ работодатель обязан осуществлять санитарно-бытовые, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия в соответствии с требованиями охраны труда.

К нормальным условиям труда относится производственная обстановка (способ производства), в которой присутствуют:

- исправное состояние помещений, сооружений, машин, технологической оснастки, оборудования и т.п. средств (в т.ч. орудий) труда;
- своевременное обеспечение работника технической и иной необходимой для работы документацией и т.п.;
- своевременное обеспечение надлежащего качества материалами, инструментами, иными средствами и предметами, необходимыми для выполнения работы, их своевременное предоставление работнику;
- принятие работодателем мер, обеспечивающих охрану труда и безопасность производства.

8.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Для организации комфортного и безопасного рабочего места используются требования ГОСТ 12.2.032-078 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам».

Работа с персональным компьютером сопровождается значимыми зрительными, нервно-психологическими нагрузками. Рабочая мебель должна иметь возможность индивидуальной регулировки для соответствия росту рабочего, организации удобного положения тела.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количественных и конструктивных особенностей, а также характера выполняемой работы. Высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 680-800мм, или же 725мм, если нет возможности регулировки.

Согласно требований СанПиН 2.2.2/2.4.1340 –03 при организации работы на ПЭВМ должны выполняться следующие условия:

- персональный компьютер (ПК), и, соответственно, рабочее место должно располагаться так, чтобы свет падал сбоку, лучше слева;-расстояние от ПК до стен должно быть не менее 1 м, поэтому по возможности следует избежать расположения рабочего места в углах помещения либо лицом к стене;

- ПК лучше установить так, чтобы, подняв глаза от экрана, можно было увидеть какой-нибудь удаленный предмет в помещении или на улице. Перевод взгляда на дальнее расстояние является одним из наиболее эффективных способов разгрузки зрительного аппарата при работе на ПК;

- окна в помещениях с ПЭВМ должны быть оборудованы регулируемыми устройствами (жалюзи, занавески, внешние козырьки и т.д.);
- монитор, клавиатура и корпус компьютера должны находиться прямо перед оператором; высота рабочего стола с клавиатурой должна составлять 680 –800 мм над уровнем стола; а высота экрана (над полом) –900–1280см;

- монитор должен находиться от оператора на расстоянии 60 –70 см на 20 градусов ниже уровня глаз;

-рабочее кресло должно иметь мягкое сиденье и спинку, с регулировкой сиденья по высоте, с удобной опорой для поясницы; 71 - положение тела пользователя относительно монитора должно соответствовать направлению просмотра под прямым углом или под углом 75 градусов.

9. Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по снижению их воздействия

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации программного обеспечения.

Для их идентификации использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Их перечень представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
2.Повышенный уровень шума на рабочем месте	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности»
3.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
4.Электробезопасность	+	+	ГОСТ IЕС60950-1-2014 «Оборудование информационных технологий. Требования к безопасности. Часть 1. Общие требования»
5.Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
6.Эмоциональные перегрузки	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
7. Монотонность труда	+	+	СП 2.2.2.1327-03 «Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту»

9.1. Отклонение показателей микроклимата

Отклонение показаний микроклимата может привести к возникновению заболеваний органов дыхания, сердечно-сосудистой системы (если показатели меньше оптимальных), негативно сказаться на двигательной реакции, координации и качеству выполнения точечных операций работником. В случае превышения оптимальных показателей также снижаются работоспособность и производительность труда, возможно появление головной боли, слабости, головокружения и теплового удара.

Воздушная среда в рабочем помещении должна обеспечивать тепловой комфорт работникам в течение всего рабочего времени, не вызывать каких-либо отклонений в состоянии здоровья. Энергетические затраты человеческого организма измеряются в ккал/ч или же в Вт. Работа программиста относится к категории 1ас энергозатратами до 120 ккал/ч или же 139 Вт.

Разработчик программного обеспечения работает сидя и подвергается небольшим физическим напряжениям. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 нормы микроклимата для таких работ должны соответствовать оптимальным показателям на рабочих местах производственных помещений. Оптимальные и допустимые показатели приведены в таблице 2 и таблице 3.

Таблица 2 – Оптимальные показатели микроклимата по СанПиН

Период года	Категория работ	Температура воздуха °С	Температура поверхностей °С	Относительная влажность воздуха %	Скорость движения воздуха м/с
Холодный	1а	22-24	21-25	60-40	0.1
Теплый	1а	23-25	22-26	60-40	0.1

Таблица 3 – Допустимые показатели микроклимата по СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ	Температура воздуха °С	Температура поверхностей °С	Относительная влажность воздуха %	Скорость движения воздуха м/с
Холодный	1a	20-21.9/24.1-25.0	19-26	15-75	0.1/0.1
Теплый	1a	21.0-22.9/25.1-28.0	20-29	15-75	0.1/0.2

В таблице 3 для температуры и скорости воздуха параметры указаны в следующем формате: диапазон ниже оптимальных величин/выше оптимальных величин.

Параметры микроклимата в рабочем помещении регулируются системой центрального отопления, кондиционером, естественной вентиляцией с параметрами: влажность 40%, скорость движения воздуха 0.1 м/с, температура 22-25 градусов Цельсия, что соответствует нормам.

К методам оздоровления и поддержания необходимого состояния микроклимата относятся: грамотная организация системы вентиляции помещения, отопление.

9.2.Повышенный уровень шума на рабочем месте

Воздействие шума оказывает значительную нагрузку на нервную систему работника, что может привести к нервозу или стрессу. Длительное воздействие шумов приводит к ухудшению состояния слуховых органов человека, возникновению головных болей.

Источником шума на рабочем месте в данном случае может выступать персональный компьютер, система вентиляции или иное оборудование.

Характеристикой шума выступает уровень звукового давления в децибелах в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, определяемые по формуле:

$$L=20 \times \lg(P/P_0), (12)$$

где P –среднеквадратичная величина звукового давления, Па;

$P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па –исходное значение звукового давления в воздухе. Шум от работающего компьютера создаёт $P = 0,05$ Па. Таким образом, $L = 68$ дБА, что не превышает требования ГОСТ 12.1.003-2014 в 75 дБА.

В качестве мероприятий по снижению уровня вредного воздействия шума следует применять звукоизоляцию, рациональный режим труда и отдыха, подавления шума в источниках.

9.3. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Правильное освещение рабочей зоны является важным условием для поддержания безопасных и комфортных условий труда. Недостаток света может вызвать слепоту, привести к быстрому утомлению и снизить работоспособность человека. Помимо этого, растет вероятность ошибочных действий.

Для создания равномерной освещенности рабочей зоны используются источники искусственного света, которые желательно располагать в непрерывный сплошной ряд вдоль длинной стороны помещения, а также окна для организации естественного света.

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк, освещенность поверхности экрана не должна быть больше 300 лк.

Реальная освещенность в аудитории Кибернетического центра, где выполнялась работа, соответствовали указанным требованиям.

Для поддержания необходимых показателей рекомендуется поддерживать окна и светильники в чистоте, своевременно проводить замену перегоревших ламп.

9.4. Повышенный уровень электромагнитных излучений

Используемый в работе ПК производит электромагнитное излучение, воздействие которого на организм человека зависит от напряженности

электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размеров облучаемого тела.

Нарушения в человеческом организме от действия электромагнитного поля обратимы, но при превышении показателей наносится достаточный ущерб нервной системе, сердечно-сосудистой системе и органам ЖКТ.

Согласно требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 уровни ЭМП на рабочих местах должны соответствовать уровням, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Временные допустимые уровни ЭМП

Название параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц –2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц –400 кГц	2.5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц –2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц –400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Уровень электромагнитного излучения на рабочем месте не превышает требований, следовательно, соответствует требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

В качестве методов по нейтрализации вредного воздействия ЭМП на работника используется увеличение расстояния работника от основных источников излучения (системный блок, кабели, монитор должен располагаться на расстоянии больше 50см), использование средств индивидуальной защиты, чередование работы и отдыха.

9.5. Эмоциональные перегрузки

Значительное умственное напряжение и другие нагрузки приводят к переутомлению функционального состояния центральной нервной системы, нервно-мышечного аппарата рук.

Практика организаций различных отраслей показывает, что в производственных коллективах, где внимательное отношение друг к другу,

товарищеская взаимопомощь и поддержка стали нормой поведения, добиваются хороших результатов в работе, быстрыми темпами повышается культура производства, сведено до минимума количество травм и микротравм, постоянно соблюдаются требования по охране труда. Там же, где между работающими установились нездоровые отношения, производственные результаты, положение дел с охраной труда, как правило, хуже.

Известно также, что эффективность мер предупреждения несчастных случаев во многом зависит от самих работников, от их субъективного отношения к труду, к требованиям по охране труда.

Степень напряженности анализаторских функций для зрительного анализатора зависит от размера объекта различения и расстояния объекта от глаз, различия в контрастности объекта различения и фона, для слухового анализатора – от соотношения между уровнями речи и шума.

Одной из основных мер по снижению воздействия эмоциональных перегрузок является соблюдение режима труда и отдыха работника.

9.6. Монотонность труда

При длительной работе за экраном дисплея появляется выраженное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворительность работы, головные боли, усталость и болезненное ощущение в глазах, в пояснице, в области шеи, руках.

Нерациональное расположение элементов рабочего места вызывает необходимость поддержания вынужденной рабочей позы. Длительный дискомфорт вызывает повышенное позвоночное напряжение мышц и обуславливает развитие общего утомления и снижение работоспособности.

Режим труда и отдыха работника: при вводе данных, редактировании программ, чтении информации с экрана непрерывная продолжительность работы не должна превышать 4-х часов при 8-часовом рабочем дне. Через каждый час работы необходимо делать перерыв на 5-10 минут, а через два часа на 15 минут.

Основные меры по уменьшению влияния монотонности на человека:

- делать каждую операцию более содержательности, объединять малосодержательные операции в более сложные, содержательные и разнообразные; операция должна быть продолжительностью не менее 30 секунд; состоять из элементов, позволяющих чередовать нагрузки на различные органы чувств и части тела;
- осуществлять перевод работающих с одной на другую производственную операцию;
- применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня (рабочей смены): назначать короткие дополнительные перерывы для отдыха всей смены (бригады) или отдельного работающего в удобное для него время. Целесообразны частые, но короткие перерывы;
- устанавливать переменный ритм конвейера в течение рабочего дня; наиболее предпочтителен свободный темп конвейера;
- осуществлять эстетичность производства и функциональное музыкальное оформление производственного процесса.

9.7.Электробезопасность

Полностью безопасными для человека являются помещения, в которых возможность поражения током сводится к минимуму.

Критерии безопасных помещений:

- Сухость, влажность колеблется от 40 до 45%;
- Хорошо проветриваемые;
- Хорошо отапливаемые, температура воздуха составляет 18-20°C;
- Без токопроводящей пыли;
- Где коэффициент заполнения площади предметами из металла составляет меньше, чем 0.2;
- С токонепроводящими полами (деревянные, паркетные, ламинатные).

Аудитория 103 кибернетического центра, в которой проводилась работа относится к классу безопасных помещений.

В таких условиях безопасность персонала считается наивысшей, однако стоит помнить, что только однофазное прикосновение нанесет человеку наименьший вред, а вот при соприкосновении с двумя фазами одновременно поражение током неизбежно, поэтому кроме обеспечения надлежащих условий труда стоит проводить подробный инструктаж персонала по применению электротехнических приборов и другого оборудования.

Короткое замыкание происходит чаще всего из-за нарушения изоляции токопроводящих частей в результате разного рода воздействий. При возникновении короткого замыкания резко возрастает сила тока, и, как следствие, количество выделяемого тепла, что приводит к возгоранию.

Согласно ГОСТ ИЕС 60950-1-2014 для предотвращения пробоя изоляции и недопущения короткого замыкания следует предусматривать основную изоляцию с заземлением доступных токопроводящих частей. Также возможно использование двойной или усиленной изоляции между частями, находящимися при нормальной работе под опасным напряжением и доступными токопроводящими частями.

Для предотвращения огнеопасных ситуаций, связанных с коротким замыканием, данный ГОСТ рекомендует следующие меры:

- защита от перегрузки по току

- использование материалов соответствующего класса воспламеняемости

- правильный выбор компонентов для предотвращения повышения температуры-ограничение использования горючих материалов-экранирование

- использование для корпусов оборудования соответствующих материалов.

10. Экологическая безопасность

10.1. Анализ влияния процесса разработки программного обеспечения на окружающую среду

Разрабатываемое программное обеспечение не несет какого-либо вреда частям окружающей среды, однако его использование невозможно без персонального компьютера, поэтому наносимый разработкой вред следует рассматривать с точки зрения вреда персонального компьютера окружающей среде и люминесцентных ламп.

Согласно ГОСТ Р 56397-2015 «Техническая экспертиза работоспособности радиоэлектронной аппаратуры, оборудования информационных технологий, электрических машин и приборов. Общие требования» пункт 5.8.1, после проведения технической экспертизы, если оборудование не поддается ремонту, то оно признается неработоспособным и рекомендуется к списанию (замене); в случае отказа оборудования и нецелесообразности его ремонта и модернизации даются рекомендации о необходимости его списания и утилизации.

10.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Согласно «Методики проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники», утвержденной Государственным Комитетом РФ по телекоммуникациям от 19 октября 1999 г. В п.3.1.3. «Технология разборки универсальных ЭВМ» расписаны 4 этапа разборки и подготовки к утилизации внутренних частей ПК.

Образование рабочей группы, специализированного подразделения или бригады. Изучение технической документации списанных изделий СВТ. Обследование объекта разработки. Составление бизнес-плана.

Анализ бизнес-плана. Заключение договора на приобретение списанных изделий СВТ. Инвентаризация и списание имущества. Приемка и транспортировка оборудования. Подготовка инструмента и рабочих мест.

Разборка универсальных ЭВМ и вычислительных комплексов до заданного уровня иерархии. Разборка периферийных устройств. Разборка ПЭВМ, комплексная технология разборки.

Классификация. Сертификация. Упаковка. Заключение договора на реализацию. Транспортировка. Сдача на переработку. Получение денежных средств. Соблюдение требований безопасности при работе с вторичными драгоценными металлами.

11. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

11.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при разработке программного обеспечения

При разработке и эксплуатации рассматриваемого программного обеспечения могут возникнуть определенные чрезвычайные ситуации, связанные с персональным компьютером, используемых для разработки и эксплуатации ПО.

Использование персонального компьютера может привести возгоранию, спровоцированного различными опасными факторами. Например, источниками пожара могут стать провода, внутренние части работающего устройства, периферийные устройства.

Также при сильных заморозках, когда температура воздуха опускается ниже -40 градусов Цельсия вероятность обрыва линии электропередач повышается. В таком случае, люди находящиеся в помещении и работающие за персональными компьютерами подвержены возникновению ЧС.

11.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

В случае угрозы возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации. При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания. В качестве подручных

средств можно использовать углекислотные огнетушители ОУ-5 высокого давления с зарядом жидкой двуокиси углерода (по ГОСТ 8050-85[11]), расположение которых можно найти на плане эвакуации людей при пожаре и других ЧС из помещения Кибернетического центра ТПУ.

В качестве превентивных мер может служить проверка состояния оборудования и его частей на наличие повреждений или неисправностей, своевременное их исправление; использование систем звукового и визуального оповещения персонала об опасности, обучение персонала методам работы с ПК, наличие средств пожаротушения, информационных досок с планами эвакуации.

В случае возникновения угрозы сильных заморозков, необходимо иметь резервный генератор электричества, в случае обрыва линии электропередач. Возможны случаи обрыва электрических проводов и падения их на землю или нарушение изоляции кабеля, находящегося в земле. При этом вокруг любого проводника, оказавшегося на земле или в земле, образуется зона растекания тока. Если человек окажется в этой зоне и будет стоять на поверхности земли, имеющей различные электрические потенциалы в местах, где расположены ступни его ног, то по длине шага возникает шаговое напряжение. Напряжением шага называется напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек.

При замыкании тока на конструктивные части электрооборудования (замыкание на корпус) прикоснувшийся к ним человек попадает под напряжение прикосновения – напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно может коснуться человек. Численно напряжение прикосновения равно разности потенциалов корпуса и точек земли, на которых находятся ноги человека. Напряжение прикосновения увеличивается по мере удаления от заземлителя, и за пределами зоны растекания тока оно равно напряжению на корпусе оборудования.

Для предупреждения электротравматизма во время работ в электроустановках очень важно проводить соответствующие защитные мероприятия. Применение защитных мероприятий регламентируется Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и Межотраслевыми правилами по охране труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТРМ - 016-2001; РД 153-34.0-03.150-00, введены в действие с 1.07.2001 г.).

Заключение

В данной главе были рассмотрены особенности рабочей зоны и рабочего места программиста-разработчика и пользователя разрабатываемого программного обеспечения.

Указаны опасные факторы, связанные с использованием/разработкой программного комплекса, подробно рассмотрено их опасное воздействие, а также перечислены методы для профилактики/ликвидации вреда этих факторов человеку.

Рассмотрены вопросы, касающиеся влияния разработки на экологию и возникновения определенных чрезвычайных ситуаций.

В результате анализа было установлено, что используемая аудитория Кибернетического центра ТПУ удовлетворяет всем необходимым требованиям, соответственно, ее можно использовать в качестве рабочего места.

Заключение

По результатам проделанной работы можно сделать следующее заключение.

На основании сравнительного анализа моделей имитации света показано, что наиболее перспективной и адекватной среди рассматриваемых моделей является модель физически корректного отражения света. Однако, для физически достоверной имитации света в реальном времени с помощью данной модели требуется проведение достаточно сложных и трудоемких в вычислительном аспекте операций, что приводит к необходимости упрощения модели путем аппроксимации ряда уравнений более простыми функциями.

Для выбора аппроксимирующих функций предварительно была детально рассмотрена модель физически корректного отражения света, модель PBR. На основании анализа данной модели удалось показать, что для аппроксимации уравнений Френеля можно использовать уравнение Шлика, а для аппроксимации функции плотности нормального распределения - уравнение Trowbridge-Reitz.

С учетом принятых аппроксимирующих функций была модифицирована модель физически корректного отражения света, разработан алгоритм и осуществлена программная реализация модели на языках программирования C++ и GLSL. Это позволило построить трехмерные сцены, в которых были восстановлены как простые, так и сложные объекты.

Адекватность построенной модели была проверена на основе вычисления СКО между уравнением Френеля и его аппроксимирующей функцией – уравнением Шлика, а также между функции плотности нормального распределения и функцией Trowbridge-Reitz. Полученные ошибки для различных длин волн показали, что относительная погрешность не превышает одного процента. А для функции Trowbridge-Reitz относительная погрешность не превышает трех процентов.

Литература

1. Д. Роджерс. Алгоритмические основы машинной графики. — М.: Мир, 1989. — 512 с.
2. Pharr, Matt, Humphreys, Greg, and Hanrahan, Pat. Physically Based Rendering. 2016. — 368 с.
3. Simone Melzi. Intrinsic/extrinsic embedding for functional remeshing of 3D shapes – Computers & Graphics, 2020. — 1-12 с.
4. XiaokunWang. Small-scale surface details simulation using divergence-free SPH, Journal of Visual Languages & Computing, 2018. — 91-100 с.
5. Hong G. Physically based optical parameter database obtained from real materials for real-time material rendering – Journal of Visual Languages & Computing 2018, 29-39 с.
6. Walter F. Microfacet models for refraction through rough surfaces, 2007 – с. 134 с.
7. M. Drobot. “Physically Based Area Lights”. In:GPU Pro 5. Ed. by W. Engel. CRC Press,2014, pp. 67–100.
8. J. Dupuy, E. Heitz. Linear Efficient Antialiased Displacement and Reflectance Mapping. In:ACM Transactions on Graphics – 2013, 211 с.
9. L. Gritz. The Importance of Being Linear. In:GPU Gems 3. Ed. by H. Nguyen. Addison-Wesley, – 2008, 529–542 с.
- 10.P. Green, J. Kautz, and F. Durand. Efficient Reflectance and Visibility Approximations for Environment Map Rendering. In:Computer Graphics Forum – 2007, 495–502 с.
- 11.Y. Gotanda. Real-time Physically Based Rendering. – In: CEDEC 2013. 67 с.
- 12.Y. Gotanda. Designing a Reflectance Model for New Consoles. – In:Physically Based Shad-ing in Theory and Practice, Vancouver,Canada: ACM, 2014. — 1–23 с.
- 13.Bui Tuong Phong. Illumination for Computer Generated Pictures. – Comm. ACM, 1975. — 432 с.

14. Bui Tuong Phong. Illumination of Computer-Generated Images. – Department of Computer Science, 1973. – 204 c.
15. James F. Blinn. Models of light reflection for computer synthesized pictures. – Proc. 4th annual conference on computer graphics and interactive, 1977 – 506 c.
16. Greenberg, Donald P. A framework for realistic image synthesis // Communications of the ACM, 1999. 44—53 c.
17. Kajiya, James T. The rendering equation, Siggraph, 1986: – c. 143–150
18. Thermal insulation — Heat transfer by radiation — Physical quantities and definitions. 1989.
19. Kajiya, James T, The rendering equation, Siggraph 1986: 143–150 c.
20. Schlick, C. An Inexpensive BRDF Model for Physically-based Rendering, 1994. – 305 c.
21. Smith, W.R. and Missen, R.W. On the two-derivative method of optimization. 1967, 346-348 c.

Приложение

Приложение А. Листинг основной программы

```
void main()
{
    vec3 N = Normal;
    vec3 V = normalize(camPos - WorldPos);
    vec3 R = reflect(-V, N);

    vec3 F0 = vec3(0.04);
    F0 = mix(F0, albedo, metallic);

    vec3 Lo = vec3(0.0);
    for(int i = 0; i < 4; ++i)
    {
        vec3 L = normalize(lightPositions[i] - WorldPos);
        vec3 H = normalize(V + L);
        float distance = length(lightPositions[i] - WorldPos);
        float attenuation = 1.0 / (distance * distance);
        vec3 radiance = lightColors[i] * attenuation;

        // Cook-Torrance BRDF
        float NDF = DistributionGGX(N, H, roughness);
        float G = GeometrySmith(N, V, L, roughness);
        vec3 F = fresnelSchlick(max(dot(H, V), 0.0), F0);

        vec3 nominator = NDF * G * F;
        float denominator = 4 * max(dot(N, V), 0.0) * max(dot(N, L), 0.0) + 0.001;
        vec3 specular = nominator / denominator;

        // ks is equal to Fresnel
        vec3 kS = F;
        vec3 kD = vec3(1.0) - kS;
        kD *= 1.0 - metallic;
        float NdotL = max(dot(N, L), 0.0);
        Lo += (kD * albedo / PI + specular) * radiance * NdotL;
    }
    FragColor = vec4(Lo , 1.0);
}
```

Приложение В. Листинг программы расчета функции Trowbridge-Reitz

```
float DistributionGGX(vec3 N, vec3 H, float roughness)
{
    float a = roughness*roughness;
    float a2 = a*a;
    float NdotH = max(dot(N, H), 0.0);
    float NdotH2 = NdotH*NdotH;

    float nom = a2;
    float denom = (NdotH2 * (a2 - 1.0) + 1.0);
    denom = PI * denom * denom;

    return nom / denom;
}
```

Приложение С. Листинг программы расчета функции Шлика

```
float GeometrySmith(vec3 N, vec3 V, vec3 L, float roughness)
{
    float NdotV = max(dot(N, V), 0.0);
    float NdotL = max(dot(N, L), 0.0);
    float ggx2 = GeometrySchlickGGX(NdotV, roughness);
    float ggx1 = GeometrySchlickGGX(NdotL, roughness);

    return ggx1 * ggx2;
}
```