



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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки 12.03.02 Оптотехника

Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Разработка алгоритмов программного обеспечения по трассировке хода лучей в оптической системе в ППП «ОПТИКА»

УДК 004.421:535.3

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В91	Бахолдин Павел Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Агапов Н.А.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Маланина В.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина М.С			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП, Доцент ОМ ИШНПТ	Степанова С.А	к.ф.-м.н.		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально- историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У) -10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
ОПК(У)-2	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики оптических измерений
ОПК(У)-4	Способен использовать современные информационные технологии и программное обеспечение при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке текстовой, проектной и конструкторской документации в соответствии с нормативными требованиями
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность к формированию технических требований и заданий на проектирование и конструирование оптических и оптико- электронных приборов, комплексов и их составных частей
ПК(У)-2	Способность к математическому моделированию процессов и объектов оплотехники и их исследованию на базе профессиональных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов
ПК(У)-3	Способность к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов оплотехники на схемотехническом и элементном уровнях, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования
ПК(У)-4	Способность к разработке технологических процессов и технической документации на изготовление, сборку, юстировку и контроль механических, оптических, оптико- электронных блоков, узлов и деталей
ПК(У)-5	Способность к внедрению технологических процессов производства, метрологического обеспечения и контроля качества изделий оптических, оптико- электронных систем, приборов, деталей, элементов и оптических покрытий различного назначения
ПК(У)-6	Способность к проектированию оснастки и специального инструмента, предусмотренных технологией изготовления оптических и оптико- электронных приборов, комплексов и их составных частей
ПК(У)-7	Способность к организации контроля качества выпускаемой оптической продукции



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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 12.03.02 «Оптотехника»
Уровень образования бакалавриат
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

С.А. Степанов
(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
4В91	Бахолдин Павел Алексеевич

Тема работы:

Разработка алгоритмов программного обеспечения по трассировке хода лучей в оптической системе в ППП «ОПТИКА»

Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 44-25_с от 13.02.2023
---	--------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Отечественная и зарубежная литература по работе с языком программирования С# в среде разработки Visual Studio на платформе Windows Presentation Foundation (WPF), ППП «ОПТИКА».</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор литературы и программных продуктов по созданию графических объектов. Описание методики трассировки лучей. Описание полученных результатов. Обсуждение результатов выполненной работы. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность. Заключение по работе.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация в MS PowerPoint</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Маланина Вероника Анатольевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина Мария Сергеевна</p>

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Агапов Н. А.	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В91	Бахолдин П. А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 с., 28 рис., 13 табл., 54 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: ход луча, визуализация, оптическая система, оптика, программное обеспечение, трассировка, алгоритмы, программирование.

Объектом разработки является: прикладной пакет программ для оптического проектирования «Оптика».

Цель работы: разработать алгоритмы программного обеспечения для трассировки хода лучей в оптической системе для ППП «Оптика».

В ходе работы проводилось исследование алгоритмов трассировки хода луча и реализация этих алгоритмов в виде программного кода на языке программирования С# в среде программирования «Visual Studio 2022».

По результатам выпускной квалификационной работы была разработан отдельный блок программы «Оптика», отвечающий за визуализацию ОС и трассировку хода луча в ней.

Область применения: проектирование оптико-электронных приборов.

Экономическая значимость работы обусловлена применением ППП «Оптика» на российском рынке программ оптического проектирования взамен ушедших с российского рынка зарубежных аналогов.

В будущем планируется дальнейшее развитие функций визуализации и исправление уже имеющихся ошибок раного рода.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

- **ЗП** – заданная плоскость
- **ИИ** – искусственный интеллект
- **ОС** – оптическая система
- **ПГ** – плоскость Гаусса
- **ПНУ** – плоскость наилучшей установки
- **САПР** – система автоматизированного проектирования
- **ЧКХ** – частотно-контрастная характеристика

- **Непоследовательная трассировка лучей** – трассировка лучей, при которой нет заранее определенного пути для любого луча
- **Облачные технологии** – услуга, с помощью которой пользователь получает специальные вычислительные ресурсы через сеть
- **Рендер** – процесс получения изображения по модели с помощью компьютерной программы

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	12
1.1. Программы оптического проектирования.....	12
«Ansys Zemax OpticStudio»	12
«Optiwave OptiFDTD»	14
«ASAP»	15
«Synopsys CODE V Optical Design Software ».....	16
«OSLO»	17
«TracePro»	18
«OPAL-PC».....	21
«COMSOL Multiphysics».....	22
«Ansys Speos»	23
«Synopsys LightTools»	24
«Photopia Optical Design Software».....	25
«3DOptix».....	26
«Geopter».....	27
«Ray Optics Simulation»	28
ППП «Оптика»	29
Другие программы оптического проектирования	30
1.2. Программные платформы, библиотеки и технологии пользовательского интерфейса	30
Windows Forms	30
Windows Presentation Foundation (WPF)	32
2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАССИРОВКИ ХОДА ЛУЧА	34
3. РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ТРАССИРОВКИ ХОДА ЛУЧА В ПРОГРАММНОМ КОДЕ	37
3.1. Создание кнопки вызова визуализации оптической системы.....	37
3.2. Расчёт координат, необходимых для визуализации.....	39
Координаты поверхностей.....	40
Координаты лучей	42
4. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	46

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	49
Введение.....	49
5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки.....	49
Потенциальные потребители разрабатываемого решения	49
Анализ конкурентных технических решений.....	50
SWOT-анализ.....	51
5.2. Планирование работ по научно-техническому исследованию	52
Структура работ в рамках научного исследования	52
Определение трудоемкости выполнения работ	53
Разработка графика проведения научного исследования.....	54
5.3. Бюджет научно-технического исследования	55
Расчет материальных затрат НТИ.....	56
Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	56
Основная заработная плата исполнителей	57
Дополнительная заработная плата	58
Отчисления во внебюджетные фонды.....	58
Накладные расходы	59
Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	59
5.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	60
Вывод по главе	61
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	65
Введение.....	65
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	65
Правовые нормы трудового законодательства	65
Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	66
6.2. Производственная безопасность	67
Статические физические перегрузки	68
Умственное перенапряжение и перенапряжение анализаторов, монотонность труда.....	69
Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	70

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения...	71
Опасность поражения электрическим током	72
6.3. Экологическая безопасность.....	73
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
Выводы по главе.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ	77
ПРИЛОЖЕНИЕ А	84
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	98

ВВЕДЕНИЕ

В 1846 году в Германии Карлом Цейсом была открыта первая оптическая мастерская Carl Zeiss AG, которая в уже в 1847 году произвела первый микроскоп [1]. С тех пор оптико-механическая промышленность бурно развивалась, создавались новые оптические приборы с разными задачами и, как следствие, с разными параметрами. Чтобы спроектировать оптический прибор необходимо провести много расчётов, которые производились вручную. Первой программой, которая производила оптические расчёты была SIGMA, выпущенная в 1980 году [2]. Это заметно ускорило процесс разработки и оптимизации оптических приборов и с тех пор появилось множество других программ похожего назначения.

Программы оптического проектирования широко используются инженерами-оптиками, например, для проектирования и анализа систем визуализации, таких как объективы камер, а также систем освещения. Они работают путем моделирования распространения лучей через оптическую систему и могут моделировать эффект оптических элементов, таких как простые линзы и зеркала. Инструменты оптимизации таких программ для оптического проектирования могут быть использованы для улучшения первоначального дизайна объектива.

Одна из самых популярных программ оптического проектирования – «Zemax OpticStudio». Среди функций «Zemax OpticStudio» выделяют: оптимизацию оптических систем, расчет собственной дифракции, анализ аберраций, анализ контрастности, моделирование изображений и анализ допусков [3]. За свой обширный функционал «Zemax» требуют, соответственно, большие деньги. Из открытых источников известно, что лицензия на «Zemax OpticStudio» Premium стоит от 4900 до 14900 долларов за бессрочную лицензию [4].

Компания «Zemax» зарегистрирована в США [5] и для оплаты лицензии необходима работоспособность SWIFT-переводов. 15-го апреля 2022 года «Zemax» заявили о приостановке дистрибуции лицензий на территории России и Беларуси [6]. В связи с этим возникает проблема с использованием

«Zemax OpticStudio» на территории России, вследствие чего остро поднялся вопрос об импортозамещении иностранных продуктов интеллектуальной собственности [7]. Одним из решений в области программ оптического проектирования является «ОПТИКА», разрабатываемая под руководством Агапова Николая Афанасьевича в Томском Политехническом Университете [8].

На данном этапе развития проекта «ОПТИКА» уже имеет внушительный функционал, в том числе такой, который отсутствует в «Zemax OpticStudio», например, синтез оптических систем. Но в текущем состоянии в «ОПТИКЕ» отсутствует такой немаловажный компонент как визуализация оптической системы. Принципиально визуализация не требуется для корректного расчёта оптических систем, тем не менее она является важным элементом программ оптического проектирования, так как она позволяет увидеть всю оптическую и механическую систему в целом, прежде чем приступить к разработке. Это помогает заметить ошибки на ранней стадии проектирования и откорректировать их до того, как они приведут к более тяжёлым для исправления последствиям.

Исходя из необходимости такого блока программы в «ОПТИКЕ» была поставлена цель – разработать алгоритмы программного обеспечения для трассировки хода лучей в оптической системе.

Для решения поставленной цели были составлены следующие задачи:

- Рассмотреть литературу и программные продукты по созданию графических объектов;
- Описать методики трассировки лучей;
- Реализовать алгоритм в программном коде в виде независимого от остальной программы блока;
- Протестировать полученное решение на наличие ошибок для дальнейшей доработки программы.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Программы оптического проектирования

На данный момент существуют десятки программ оптического проектирования, которые пользуются разным спросом в конкретных задачах. Ниже приведено краткое описание возможностей некоторых из таких программ.

«Ansys Zemax OpticStudio»

«Zemax OpticStudio» является одной из самых известных на рынке программ оптического проектирования. Инструменты «Zemax OpticStudio» позволяют проектировать и анализировать как изображающие системы, так и системы освещения [3]. В «Zemax OpticStudio» есть возможность моделировать такие оптические элементы как:

- сферические и асферические линзы;
- градиентные линзы с изменяющимся показателем преломления в зависимости от координат;
- дифракционные элементы, используемые для устранения хроматических aberrаций;
- поляризаторы для управления поляризацией света;
- светофильтры;
- призмы для отклонения и преломления света;
- плоские, сферические и асферические отражатели, используемые для перенаправления света;
- рассеиватели света для более равномерного освещения;
- диафрагмы для управления количеством света, проходящим через оптическую систему.

Для проектирования систем освещения в «Zemax OpticStudio» есть инструменты для оптимизации равномерности и эффективности системы. Помимо этого, у «Zemax OpticStudio» есть алгоритмы оптимизации для формы линз, их толщины и кривизны [10].

В зависимости от назначений системы, есть технологические нормы допусков. Чтобы проверить свою систему на качество, в «Zemax OpticStudio» существуют анализ допусков. Это помогает достигать нужного качества в соответствии с конкретными техническими характеристиками [10].

Одна из самых полезных особенностей «Zemax OpticStudio» – это интеграция с САПР, таких как «SolidWorks», «PTC Creo Parametric», «Autodesk Inventor» и «Zemax OpticsBuilder» [11]. Это позволяет упростить проектирование механической части системы.

Визуализация оптических систем представлена в двух исполнениях – 2D (рис. 1) и 3D (рис. 2). Данные визуализации демонстрируют оптические детали системы (линзы, зеркала и т.д.) а также распространение лучей в оптической системе. Разные пучки света обозначаются различными цветами. Данная визуализация закрывает все потребности в изображении оптических систем.

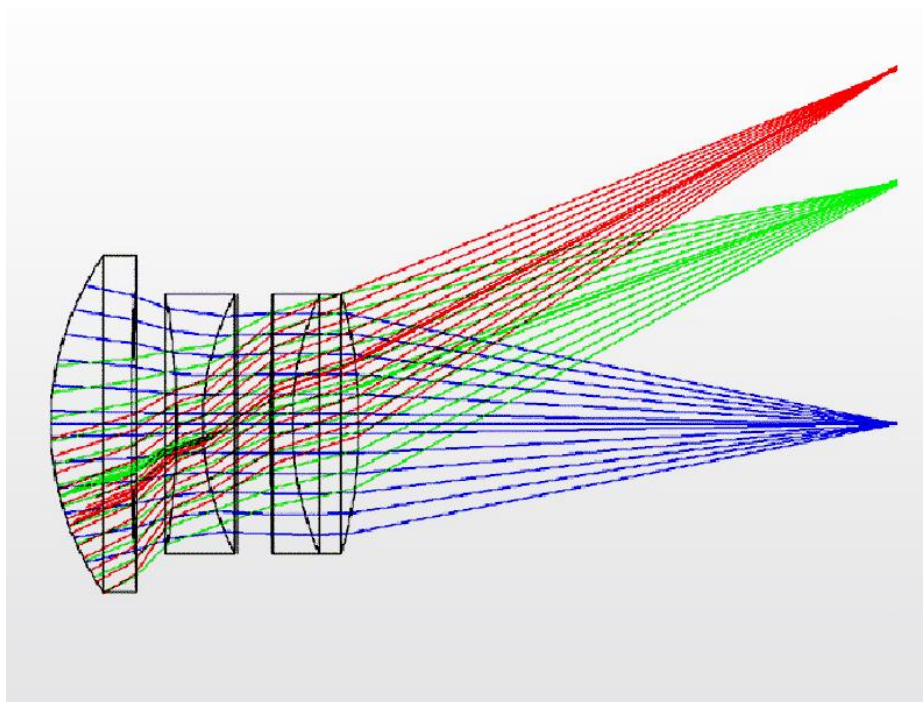


Рисунок 1 – Визуализация оптической системы в плоском сечении в программе «Zemax OpticStudio».

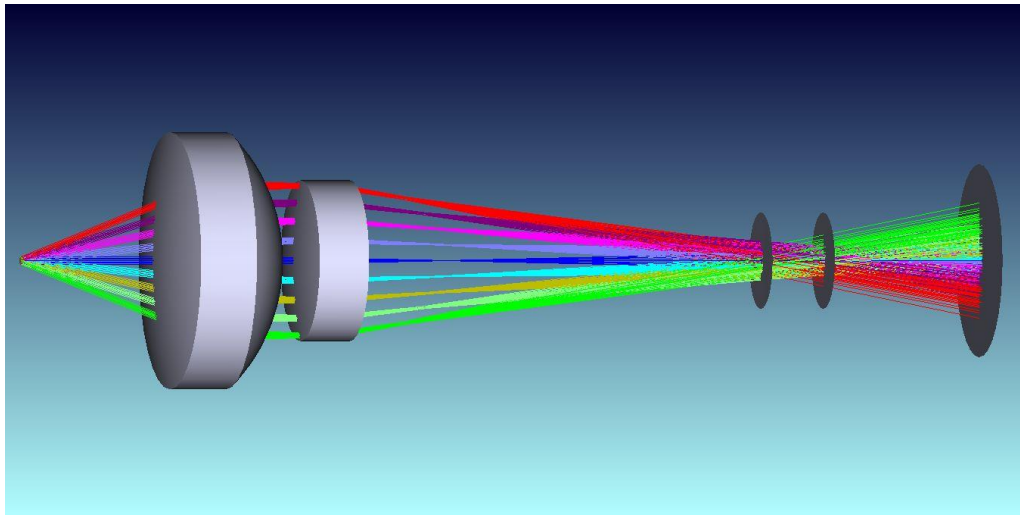


Рисунок 2 – Визуализация оптической системы в 3D в программе «Zemax OpticStudio».

«Optiwave OptiFDTD»

«OptiFDTD» – это программа, которая позволяет производить проектирование и моделирование фотонных компонентов в трёхмерном пространстве. В основе программы лежит метод конечных разностей во временной области (Finite Difference Time Domain, *FDTD*), который представляет из себя численный алгоритм решения уравнений Максвелла с точностью второго порядка [12]. «OptiFDTD» имеет широкий функционал, среди которого:

- моделирование поверхностного поляритона;
- моделирование распространения, рассеяния, отражения и дифракции волн;
- моделирование нелинейных оптических явлений, таких как генерация второй гармоники, самофокусировка и оптические солитоны;
- моделирование источников света, таких как гауссовы пучки, плоские волны и точечные источники;
- моделирование различных материалов, включая диэлектрики и металлы;
- моделирование оптических элементов – зеркала, линзы и поляризаторы;
- моделирование распределенных элементов – волоконные оптические усилители и дисперсионно-компенсирующие элементы;

- анализ дисперсии для оценки дисперсионных характеристик оптических волокон и других устройств;
- моделирование эффектов, связанных с поляризацией света, таких как деполяризация, дихроизм и другие;
- анализ спектра света.

Это лишь немногие из возможностей, которые позволяет использование «OptiFDTD». Программа является мощнейшим инструментом для исследования пассивных устройств интегральной и дифракционной оптики. «OptiFDTD» имеет бесплатную 32-битную версию в открытом доступе.

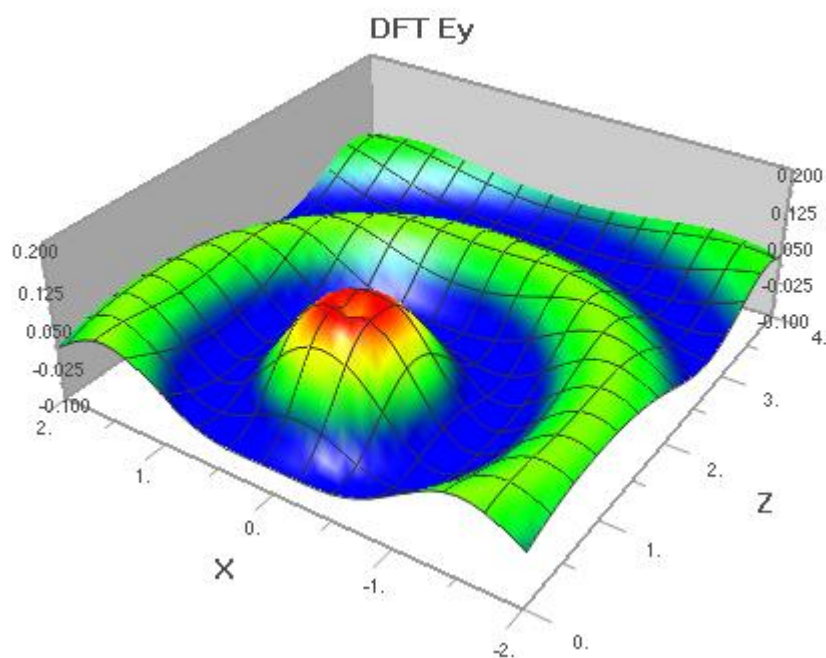


Рисунок 3 – Визуализация напряжённости магнитного поля в программе «OptiFDTD».

«ASAP»

«Advanced Systems Analysis Program» (ASAP) – это программа для моделирования поведения света в сложных оптических системах. «ASAP» существует на рынке программ оптического проектирования более 20-ти лет и хорошо зарекомендовала себя среди профессионалов. «ASAP» имеет широкий спектр возможностей [13], среди которых:

- моделирование взаимодействия света с поверхностями – отражение, пропускание, рассеяние;

- непоследовательная трассировка хода луча в ОС (рис. 4));
- оптимизация ОС в соответствии с конкретными критериями качества;
- интеграция с программами САПР, таких как «SolidWorks».

«ASAP» используется во многих отраслях промышленности – от систем автомобильного освещения до светотехнических устройств. Она имеет понятный интерфейс (рис. 4), а разрабатываемая «ASAP NextGen» выводит программу на новый уровень скорости расчётов и удобства использования.

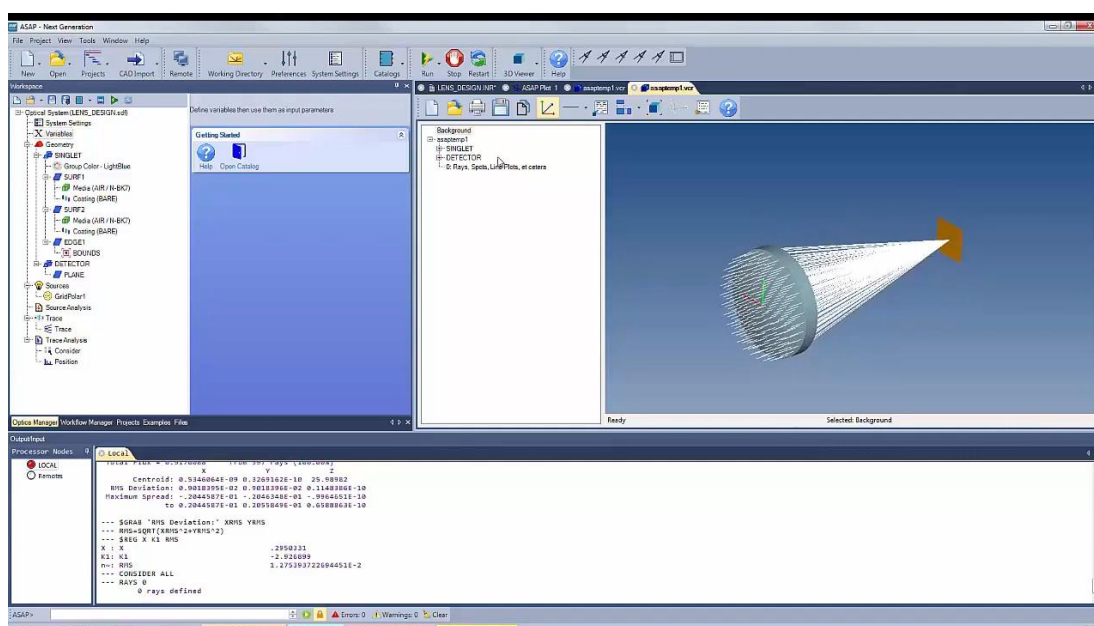


Рисунок 4 – Интерфейс программы «ASAP NextGen» с визуализацией хода лучей собирающей линзы.

«Synopsys CODE V Optical Design Software»

«CODE V» – ПО для проектирования оптических систем. По заявлению создателей «CODE V» – самый мощный инструмент проектирования ОС на планете [14]. Главным преимуществом «CODE V» является наличие ИИ, с помощью которого можно автоматически доработать систему под нужные параметры [15]. Помимо этого «CODE V» используется для:

- моделирования и анализа поляризационных эффектов;
- оптимизации ОС;
- расчёта допусков;
- проектирования ОС с градиентной оптикой;

- трассировки хода луча (в 2D и 3D), в том числе и для поляризации (рис. 5);
- создания матриц линз в фотонных системах и многом другом.

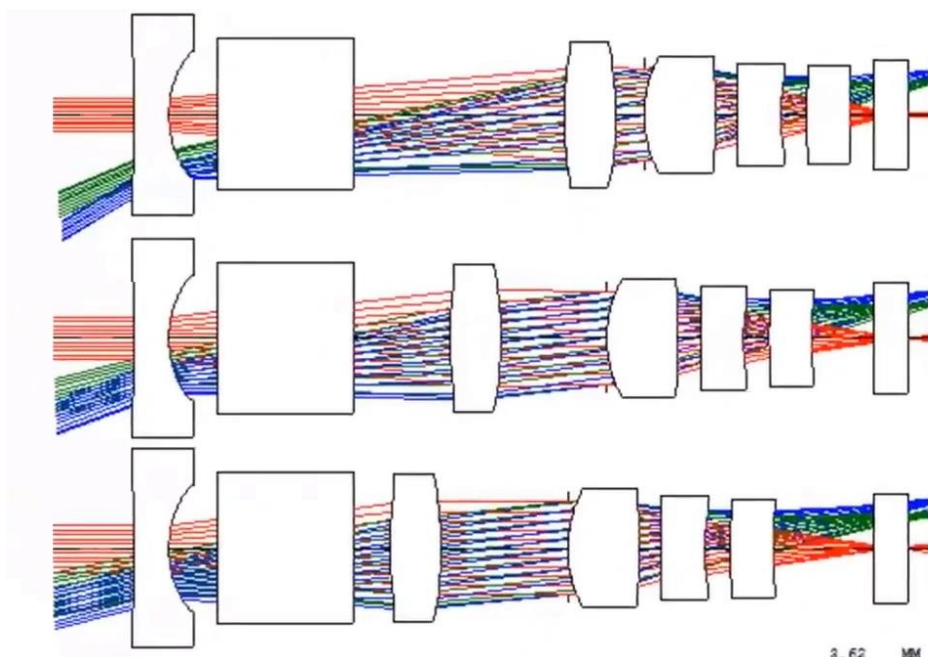


Рисунок 5 – Визуализация ОС в программе «CODE V».

Разработка «CODE V» была начата ещё в 1960-ых годах и за свою долгую историю стала лидером на рынке программ оптического проектирования [16]. В лидерстве программы не позволяет усомниться и тот факт, что она использовалась «NASA» для создания космического телескопа «Hubble» [17].

«OSLO»

«Optics Software for Layout and Optimization» (OSLO) – программа оптического проектирования, имеющая гибкую настройку и дружелюбный пользовательский интерфейс [18]. Среди функционала «OSLO» следующее:

- моделирование отражающих, преломляющих и дифрагирующих элементов;
- определение оптимальных размеров оптических элементов;
- трассировка хода луча (рис. 5);
- расчёт и анализ допусков;
- моделирование поляризации и тонких плёнок;
- моделирование дифракции и частичной когерентности;

- оптимизация ОС;
- моделирование оптических волокон (одномодовых и многомодовых), лазеров и Гауссовых пучков;
- анализ освещённости;
- моделирование идеальных линз и эйканалов.

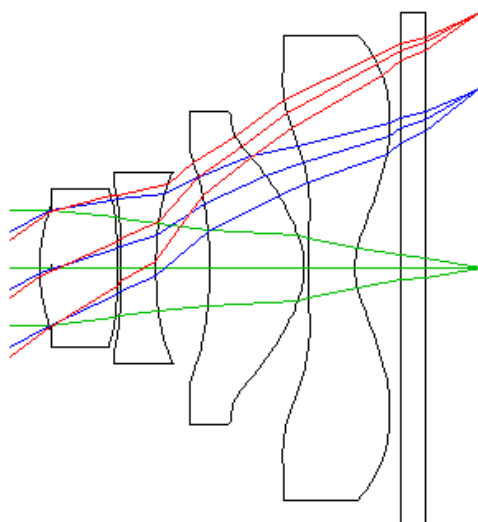


Рисунок 6 – Визуализация ОС в программе «OSLO».

В «OSLO» есть большая база данных линз и материалов. Помимо перечисленных выше возможностей программы есть множество других, в числе которых двулучепреломление и многослойные диэлектрические и металлические покрытия. «OSLO» имеет широкий спектр возможностей и за свою долгую историю разработки хорошо зарекомендовала себя на рынке.

«TracePro»

«TracePro» – программа от той же компании, что и «OSLO» – Lambda Research Corporation. В отличие от «OSLO» у неё имеется возможность моделирования твердотельных систем прямо в программе, а также возможность импортировать САПР-файлы [19]. «TracePro» используется для проектирования ОС и систем освещения и обладает рядом особенностей:

- непоследовательная трассировка лучей методом Монте-Карло (рис. 7);

- импорт и экспорт САПР, твердотельное моделирование (рис. 8);
- заранее рассчитанные свойства поверхностей, материалов, объёмное рассеяние и флуоресценция;
- расчёт освещённости с анализом углового распределения света, однородности, яркости и спектральных характеристик (рис. 9);
- фотореалистичный рендер;
- анализ рассеянного света, эффектов поляризации и теплового нагружения;
- эмуляция солнца и его движения по небосводу для анализа эффективности солнечных коллекторов (рис. 10).

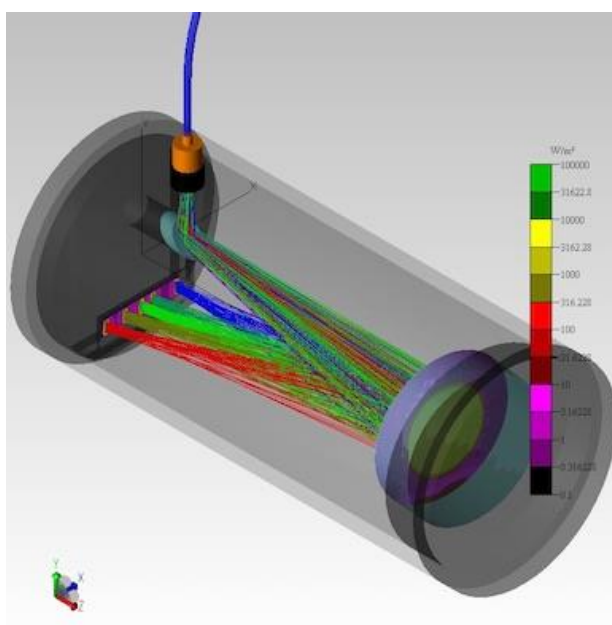


Рисунок 7 – Визуализация ОС в программе «TracePro».

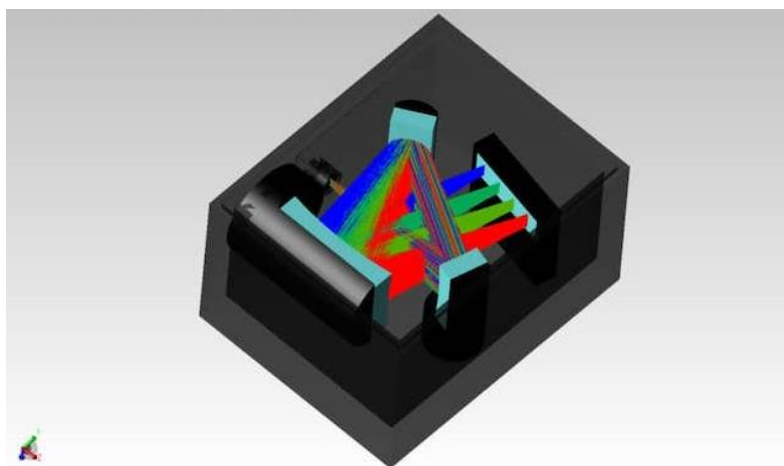


Рисунок 8 – Твердотельная модель ОС в программе «TracePro».

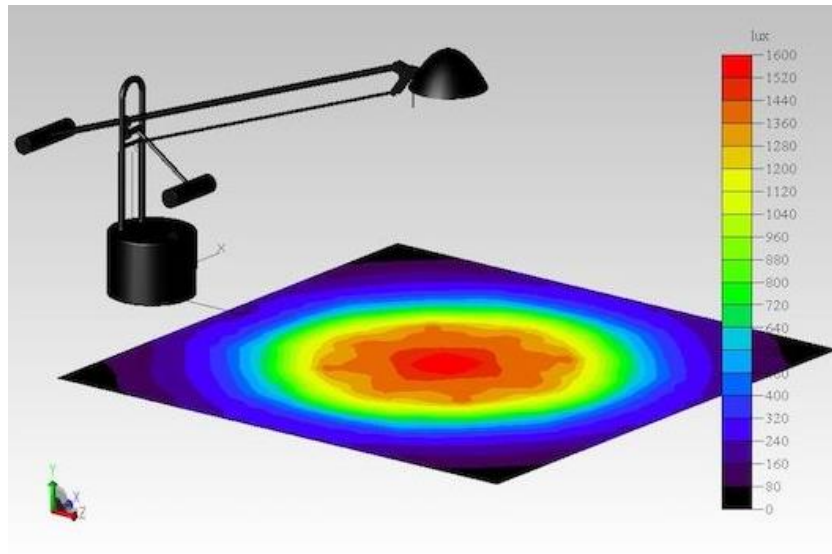


Рисунок 9 – Расчёт освещённости в фиктивных цветах в программе «TracePro».

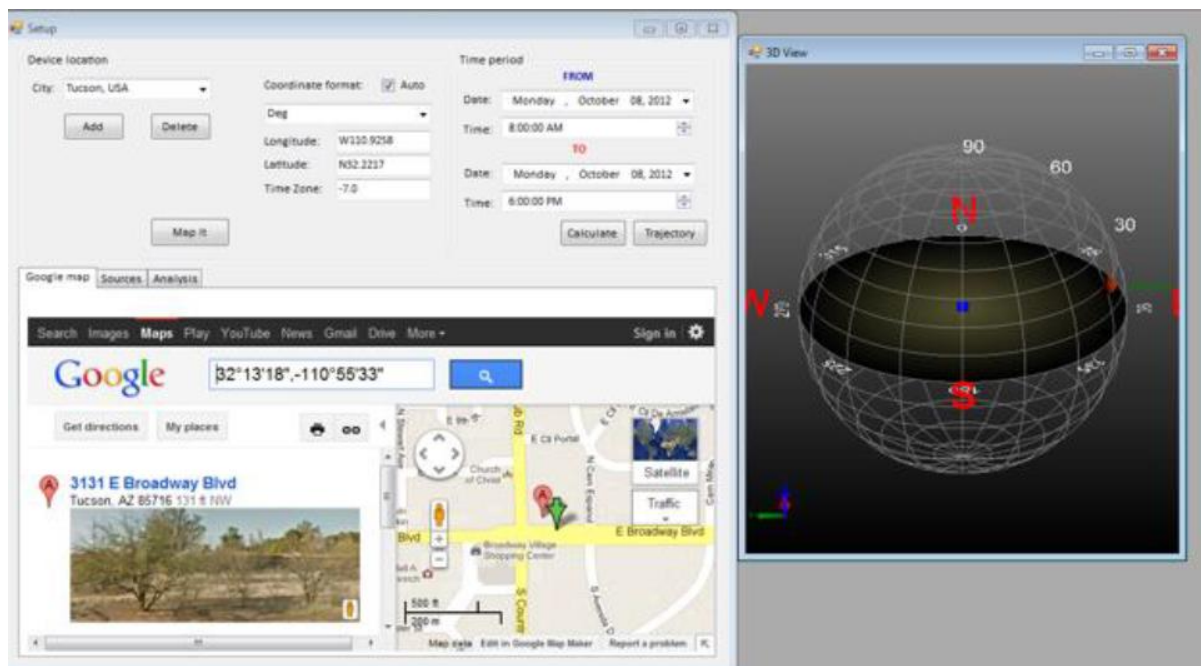


Рисунок 10 – Расчёт эффективности солнечных коллекторов в программе «TracePro».

«TracePro» позволяет использовать модели созданные в «SolidWorks» и «CREO САПР». Эта программа популярна в таких областях промышленности как аэрокосмическая и оборонная, а также широко применяется в проектировании освещения и дисплеев.

«OPAL-PC»

«OPAL-PC» или «ОПАЛ» (пакет ОПТических АЛгоритмов) – программа оптического проектирования, разработанная на кафедре Прикладной и компьютерной оптики в СПбГУ ИТМО [20]. Программа написана для операционной системы MS-DOS, является одной из самых известных российских программ подобного рода. Функционал программы включает следующие возможности:

- создание оптических элементов – линз, зеркал, призм и прочих;
- анализ aberrаций Зейделя;
- анализ волнового фронта (рис. 11);
- анализ геометрического изображения – построение точечных диаграмм и графиков функций концентрации энергии;
- анализ спектральных характеристик;
- анализ ЧКХ;
- анализ функции рассеяния точки;
- трассировка хода луча в ОС (рис. 12);
- оптимизация ОС;
- интеграция с программой «КОМПАС-3D» [21, 22].

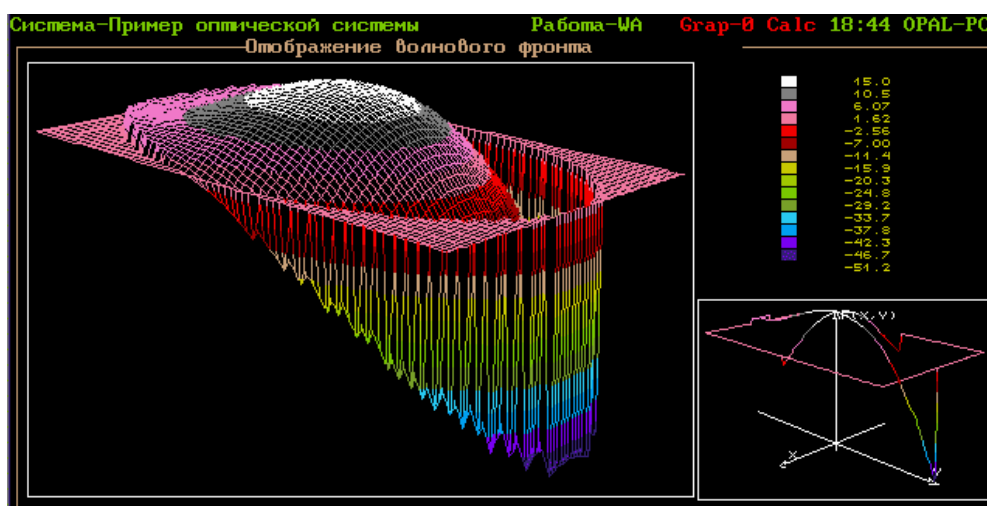


Рисунок 11 – Отображение волнового фронта в программе «OPAL-PC».

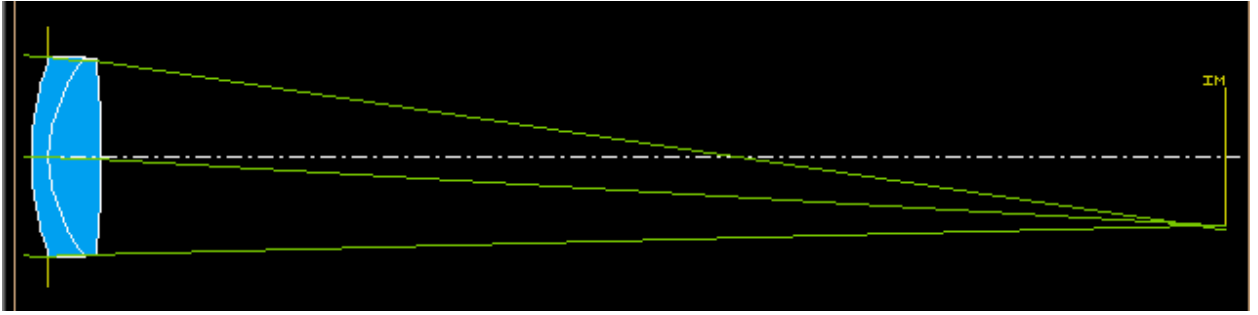


Рисунок 12 – Трассировка хода лучей в программе «OPAL-PC».

«COMSOL Multiphysics»

«COMSOL Multiphysics» – это ПО, позволяющее моделировать физические процессы во всех областях производства, науки и инженерии [23]. Для работы в сфере оптики у «COMSOL Multiphysics» есть два модуля – лучевая оптика и волновая оптика. Первый позволяет моделировать трассировку хода лучей в ОС с некоторыми упрощениями, по сравнению с модулем волновой оптики, потому что при размерах геометрии много превышающей длину волны, данные приближения уместны. Модуль лучевой оптики, в том числе в совокупности с другими модулями программы, позволяет следующее:

- моделирование хода лучей в деформированной оптике (прим. термические напряжения);
- моделирование лучевого нагрева компонентов оптической системы;
- моделирование трассировки хода луча по законам геометрической оптики (рис. 13) включая поляризацию (для расчёта используется матрица Мюллера);
- моделирование оптической и термо-оптической дисперсии;
- анализ интерференционных полос и aberrаций.

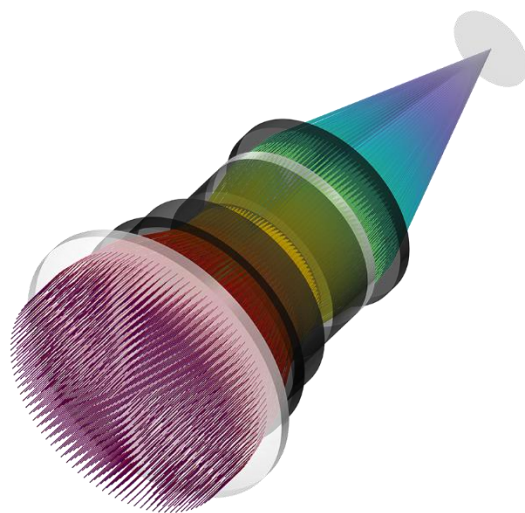


Рисунок 13 – Трассировка хода луча в ОС в программе «COMSOL Multiphysics».

«Ansys Speos»

«Speos» – высокоточный инструмент моделирования ОС, основанный на зрительном восприятии человеком. «Speos» может прогнозировать освещённость и оптические характеристики систем [24]. Помимо этого, есть и другие особенности программы:

- моделирование человеческого зрения;
- моделирование компьютерного зрения;
- интеграция с «Zemax OpticStudio»;
- моделирование погодных условий – день, ночь, туман и прочее;
- использование прямой и обратной трассировки лучей для моделирования света (рис. 14);
- возможность использовать устройства виртуальной реальности для большего погружения и более точной оценки модели человеческого зрения.

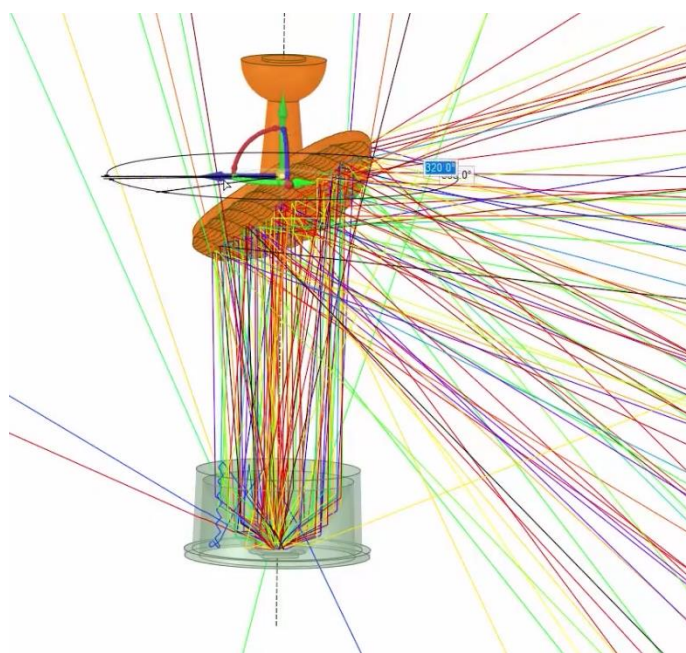


Рисунок 14 – Визуализация трассировки лучей светильника в программе «Speos».

Одна из областей промышленности, в которой «Ansys Speos» пользуется популярностью – автомобилестроение. Так, к примеру, «Ansys Speos» использовался для моделирования освещения в «Mazda 3». Среди клиентов так же есть такие компании как «Ford», «Bentley» и «Safran». Последняя представляет из себя аэрокосмическую и оборонную организацию [25, 26].

«Synopsys LightTools»

«LightTools» – это программа моделирования освещения. Она используется для светодиодов, дисплеев, общего освещения, автомобильной техники, моделирования рассеянного света и проекторов. Функционал программы позволяет проводить следующее:

- фотореалистичная визуализация;
- 3D-моделирование твёрдых тел;
- интеграция с «SolidWorks» и другими САПР программами;
- моделирование распределения освещённости и интенсивности;
- моделирование эффектов поляризации и отражения;
- расчёт и анализ тонкоплёночных покрытий
- анализ яркости, цвета и бликов;

- алгоритмы оптимизации оптики;
- непоследовательная трассировка лучей и рассеяния (рис. 15).

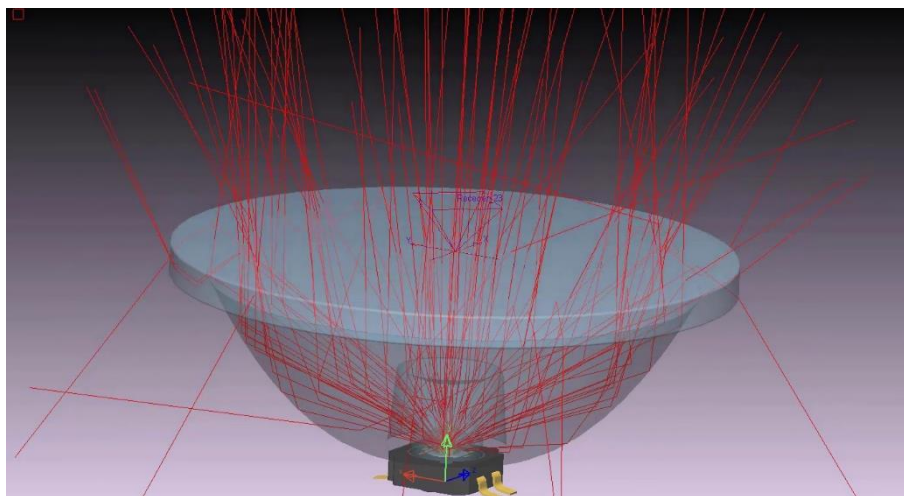


Рисунок 15 – Визуализация хода лучей в светильнике в программе «LightTools».

«Photopia Optical Design Software»

«Photopia» – это инструмент трассировки хода лучей в ОС, предназначенный для проектирования и анализа неизображающих ОС [28]. Возможности программы следующие:

- настраиваемые фотометрические отчёты;
- наличие библиотеки ламп и материалов;
- интеграция с «SolidWorks», «Rhino» и другими САПР, является дополнительным модулем для них;
- анализ однородности света;
- анализ цвета;
- проектирование геометрии отражателей и рефракторов;
- трассировка хода луча (рис. 16).

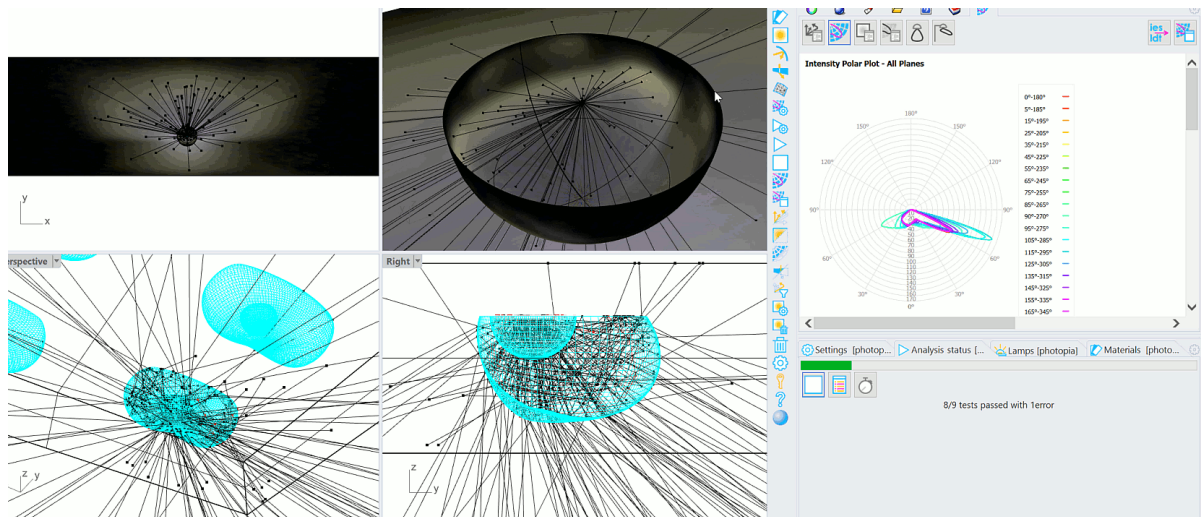


Рисунок 16 – Визуализация хода лучей в светильнике в программе «Photopia».

Основные клиенты «Photopia» – представители архитектурного освещения, автомобильная и медицинская промышленность. С помощью «Photopia» проектируются светодиодные светильники, гелиоконцентраторы, системы УФ дезинфекции [28].

«3DOptix»

«3DOptix» – это *бесплатная* программа моделирования ОС, работающая на основе облачных технологий расчёта. Программа позволяет рассчитывать миллиарды лучей в секунду, благодаря чему является самой быстрой программой оптического проектирования [29]. Возможности «3DOptix» предоставляет следующие:

- доступ к программе прямо из браузера;
- расчёт параметров линз;
- обширная библиотека оптических деталей;
- импорт файлов в формате «.STEP» (файлы 3D-моделей);
- моделирование оптических деталей, таких как линзы, призмы и зеркала;
- трассировка хода лучей (рис. 17).



Рисунок 17 – Визуализация хода луча в ОС «телескоп» в программе «3DOptix».

«Geopter»

«Geopter» – бесплатная программа оптического проектирования с открытым исходным кодом. Программа обладает далеко не самым большим функционалом и создана с целью максимальной доступности для всех [30].

«Geopter» обладает следующим функционалом:

- трассировка хода луча в ОС (рис. 18);
- расчёт в параксиальном приближении;
- точечные диаграммы пучков;
- расчёт aberrаций Зейделя;
- хроматические aberrации;
- анализ волнового фронта.

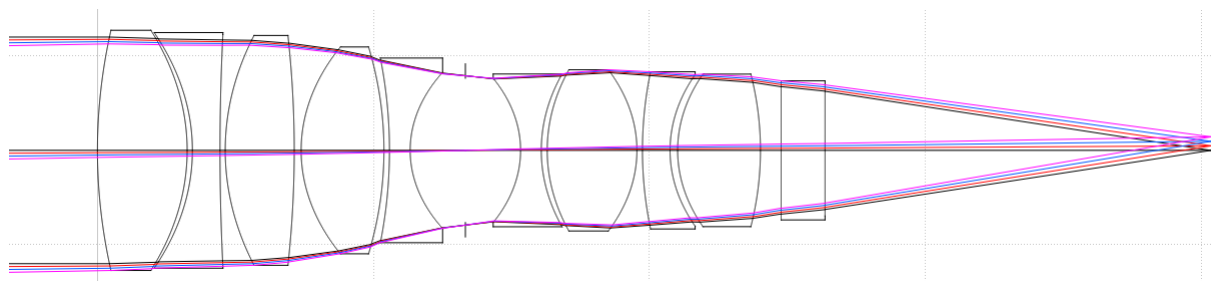


Рисунок 18 – Визуализация хода луча в ОС «микроскоп» в программе «Geopter».

«Ray Optics Simulation»

«Ray Optics Simulation» – бесплатное веб-приложение с открытым исходным кодом для моделирования ОС в 2D (рис. 19). Задумка авторов приложения в более доступном методе обучения путём наглядной демонстрации законов распространения света [31]. Программа способна моделировать такие вещи как:

- источники света – лучи, пучки лучей и точечные источники света;
- зеркала – плоские, идеальные плоские, дуговые, параболические, полупрозрачные и настраиваемые, которые задаются функцией $y = f(x)$;
- стеклянные элементы – идеальные линзы, сферические линзы, настраиваемой формы, свободной формы, круглые и полуплоскость;
- поглощающие поверхности – плоскость и окружность;
- продолжения лучей, для определения мнимых изображений;
- длина волны излучения – можно демонстрировать принципы работы дисперсии и хроматические aberrации.

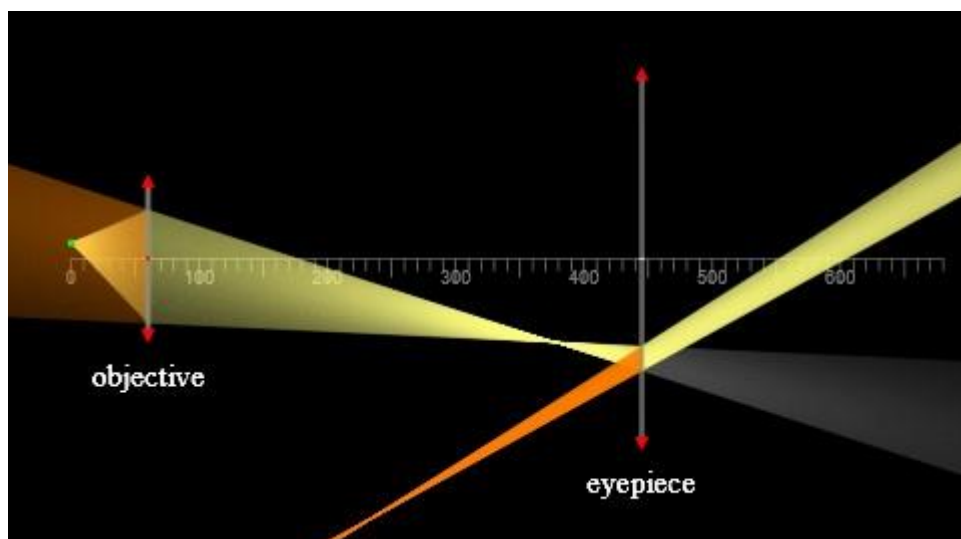


Рисунок 19 – Визуализация хода луча в ОС «микроскоп» в программе «Ray Optics Simulation».

ППП «Оптика»

Пакет прикладных программ «Оптика» представляет из себя набор алгоритмов геометрической оптики, разработанный в Томском Политехническом Университете. «Оптика» может следующее:

- рассчитывать гауссовы характеристики ОС;
- строить точечные диаграммы на поверхностях ОС (рис. 20);
- синтезировать такие оптические системы, как двухлинзовый несклеенный (а также склеенный) объектив, линзы Френеля, объектив Кассегрена;
- рассчитывать люки и зрачки ОС;
- рассчитывать кардинальные элементы;
- оптимизировать параметры ОС;
- рассчитывать aberrаций Зейделя и волновых и поперечных aberrаций;
- рассчитывать световые диаметры оптических элементов и многое другое.

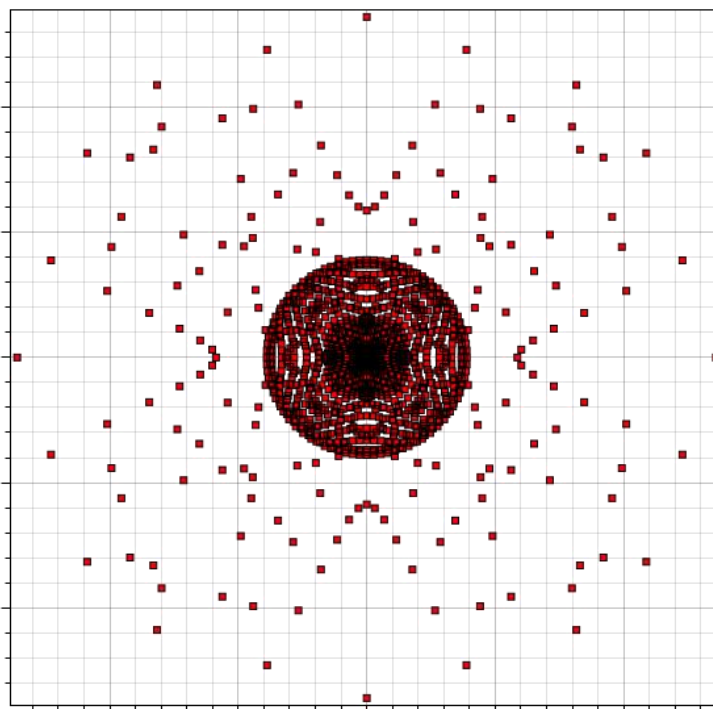


Рисунок 20 – Точечная диаграмма полного пучка в ПНУ в ППП «Оптика».

Другие программы оптического проектирования

Помимо перечисленных выше программ, существуют ещё множество других, которые занимают свою определённую нишу на рынке ПО оптического проектирования. Среди зарубежных программ, использующих последовательное описание элементов ОС есть «ADOS», «dbOptic», «OpTaliX», «WinLens» и «OSDoptics Synopsys» [32 – 36]. На российском рынке это такие программы как «DEMOS» (Design, Evaluation and Modeling of Optical Systems), «САРО» (Система Автоматизированного Расчета Оптики) и вышеупомянутый OPAL-PC [20]. Программы для непоследовательного описания ОС – «FRED» и «OptikWerks» [20, 37].

1.2. Программные платформы, библиотеки и технологии пользовательского интерфейса

Windows Forms

Для визуализации трассировки хода луча необходимы специальные инструменты. В языках программирования этими инструментами являются технологии пользовательского интерфейса. В «ОПТИКЕ 2019» такой технологией пользовательского интерфейса является Windows Forms (рис. 21) [38].

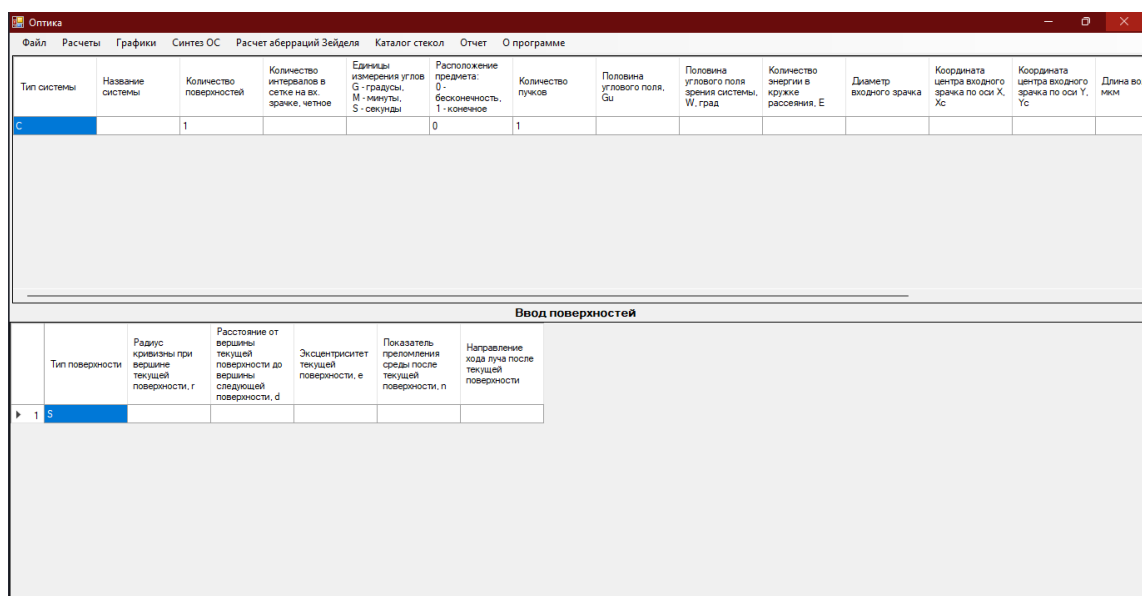


Рисунок 21 – Внешний вид программы «ОПТИКА 2019», реализованной на технологии пользовательского интерфейса Windows Forms.

Windows Forms – очень прост и удобен в использовании. В нём присутствует набор стандартных элементов вроде кнопок и текстовых полей, которые можно вынести на основное окно программы и прописать функционал к каждому такому элементу. Одним из таких элементов является Chart (рис. 22) [39].

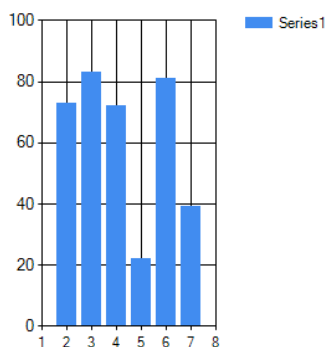


Рис. 21 – Внешний вид элемента Chart.

Chart является своего рода контейнером данных. В него можно записать необходимые значения и построить по ним диаграмму или график. Чтобы построить график необходимо передать координаты той функции, которую нужно отобразить. У элемента Chart есть так называемые члены диаграммы. Так как отрисовка графика происходит посредством последовательного соединения точек, то разные функции (оптические поверхности, лучи) стоит хранить в разных членах.

Основная проблема такого подхода к визуализации является «недружелюбный» интерфейс программы, созданный посредством Windows Forms. И дело не только в эстетическом удовольствии от пользования программой, а в том, что если интерфейс программы недостаточно «дружелюбен» к пользователю, то программой становится сложнее пользоваться. По этой и ряду других причин от Windows Forms пришлось отказаться в пользу другой технологии пользовательского интерфейса.

Windows Presentation Foundation (WPF)

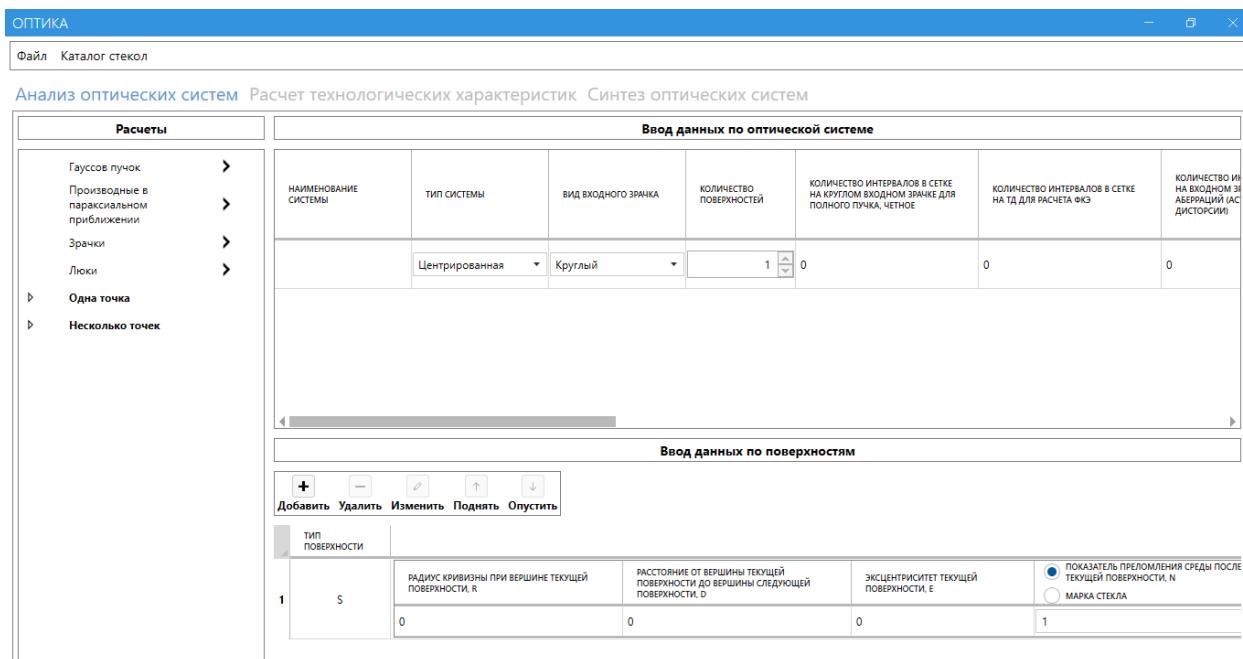


Рис. 22 – Внешний вид ППП «Оптика 2022», реализованной на технологии пользовательского интерфейса Windows Presentation Foundation (WPF).

WPF является более профессиональным инструментом создания интерфейсов, но более сложным и комплексным по сравнению с Windows Forms. Его основное преимущество заключается в использовании языка декларативной разметки интерфейса XAML, основанного на XML. Благодаря XAML открывается возможность создания конкретных шаблонов интерфейсов, которые будут работать по общим правилам на разных устройствах. В Windows Forms одной из проблем является прямолинейное отображение окон программы, в связи с чем окна больших размеров могут попросту не поместиться на экранах с маленьким разрешением. XAML позволяет избежать этого, так как в нём задаются правила, а не конкретные размеры, и значит для устройств с разными экранами окно программы будет регулироваться автоматически.

Использование XAML так же открывает нам возможность использовать аппаратное ускорение графики, то есть все элементы будут визуализироваться с помощью процессора на видеокарте, что значительно увеличит скорость работы и производительность.

Несмотря на то, что WPF и Windows Forms абсолютно разные в корне технологии, WPF поддерживает использование элементов из Windows Forms, а это значит, что можно использовать элемент Chart. Однако такое решение ресурсозатратно и неэффективно с точки зрения оптимизации работы программы, поэтому для визуализации будет использоваться библиотека OxyPlot [40].

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАССИРОВКИ ХОДА ЛУЧА

Для реализации алгоритма трассировки необходимо определить математическую модель, в соответствии с которой будет происходить расчёт. Такая модель уже определена, поэтому она и будет использоваться в дальнейшем.

Для расчёта хода луча необходимо следующее:

- $\vec{A}(x, y)$ – вектор, задающий начальную точку падающего луча (рисунок 1),
- $\vec{s}(\xi, \eta, \zeta)$ – направляющий вектор падающего луча (рис. 23),
- $F(u^*, z) = 0$ – уравнение поверхности с осевой симметрией.

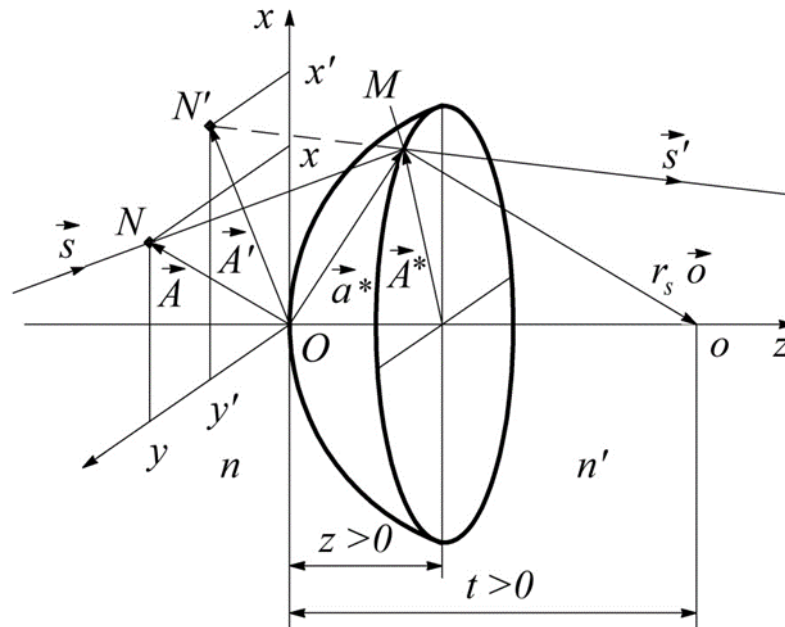


Рисунок 23 – Геометрические величины, используемые при расчете хода луча

При расчёте система координат совмещена с вершиной поверхности, на которую падает луч. Для удобства вводится вектор \vec{P} :

$$\vec{P} = \zeta \cdot \vec{A} \quad (1)$$

С помощью данного вектора находится координата точки встречи луча с поверхностью (u^*, z) путём решения системы уравнений (2):

$$\begin{cases} 2 \cdot u^* \cdot \zeta^2 = \vec{P}^2 + 2 \cdot z \cdot (\vec{P} \cdot \vec{S}) + z^2 \cdot \vec{S}^2; \\ F(u^*, z) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Дальнейший расчёт заключается в поиске координат направляющего вектора преломлённого (отражённого) луча $\vec{s}'(\xi', \eta', \zeta')$ и координат вектора $\vec{A}(x, y)$, задающего начальную точку преломлённого (отражённого) луча.

$$F_{u^*} = \frac{\partial F}{\partial u^*}, \quad F_z = \frac{\partial F}{\partial z}, \quad (3)$$

$$t - z = -\frac{F_z}{F_{u^*}}, \quad t = z - \frac{F_z}{F_{u^*}}, \quad (4)$$

$$R = (\vec{P} + z \cdot \vec{S})^2 + \zeta^2 \cdot (t - z)^2, \quad (5)$$

$$q = -(\vec{P} + z \cdot \vec{S}) \cdot \vec{S} + \zeta^2 \cdot (t - z), \quad (6)$$

$$q'^2 = (n'^2 - n^2) \cdot R + q^2, \quad (7)$$

Для преломления:

$$q' = \text{sign}(r_s) \cdot \sqrt{q'^2}, \quad (8)$$

Для отражения:

$$q' = -q, \quad (9)$$

$$\psi = \frac{q' - q}{R}, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \chi &= 1 + \psi \cdot t, & \lambda &= \psi \cdot t \cdot z, \\ \mu &= -\psi, & \nu &= 1 - \psi \cdot z, \end{aligned} \quad (11)$$

Матрица преломления (отражения):

$$Q = \begin{pmatrix} \chi & \lambda \\ \mu & \nu \end{pmatrix}, \quad |Q| = 1 + \psi \cdot (t - z), \quad (12)$$

$$\begin{pmatrix} \vec{P}' \\ \vec{S}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \chi & \lambda \\ \mu & \nu \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \vec{P} \\ \vec{S} \end{pmatrix}, \quad (13)$$

$$\zeta' = \zeta \cdot [1 + \psi \cdot (t - z)], \quad (14)$$

$$s' = -\frac{\lambda - \chi \cdot s}{\nu - \mu \cdot s} = \frac{s + \psi \cdot t \cdot (s - z)}{1 + \psi \cdot (s - z)}. \quad (15)$$

Таким образом получается направление преломлённого (отражённого) луча для одной поверхности. Так как расчёт производился в системе

координат, имеющей начало в вершине поверхности, то для дальнейшего применения полученных координат необходимо произвести преобразование лучей с помощью матрицы перемещения:

$$T_n = \begin{pmatrix} 1 & d_n \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (16)$$

где d_n – расстояние между вершиной поверхности $n - 1$ и вершиной поверхности n .

После переноса луча вектор направления преломлённого (отражённого) первой поверхностью луча s_1' становится вектором направления падающего на вторую поверхность луча s_2 . Таким образом, используя матрицы преломления (отражения) и перемещения можно рассчитать направление лучей не только для одной поверхности, но и для всей оптической системы. Произведение матриц по формуле (17) даёт матрицу преобразования лучей системой поверхностей M :

$$M = Q_k \times T_{k-1} \times Q_{k-1} \times \dots \times T_1 \times Q_1 = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Описанная выше математическая модель, предварительно реализованная в программе «MathСАПР 15» Агаповым Николаем Афанасьевичем, уже используется в ППП «ОПТИКА» и будет использоваться в дальнейшей работе.

4. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

OSGraphCommand, который был рассмотрен выше, в конце вызывает окно GraphOS.xaml, код которого представлен в приложении Б. Окно GraphOS состоит из двух элементов – кнопки сохранения графика и поля для отображения графика. В данной работе поле с графиком будет использоваться для визуализации оптической системы путём отрисовки графиков по координатам.

Для отображения графиков берётся элемент класса PlotModel, который содержит в себе графики всех линий. Процесс отрисовки происходит в файле GraphOSViewModel.cs, где есть два метода InitSurfacePlotModel и InitBeamPlotModel. Первый отвечает за графики поверхностей, а второй за графики лучей. Для отрисовки лучей был выбран метод, реализованный до этого в «MathСАПР 15» Агаповым Николаем Афанасьевичем. Суть метода заключается в последовательном соединении точек пересечения луча с поверхностями. Таким образом метод становится универсальным и подходит для любых систем, так как зависит исключительно рассчитанных координат и не зависит от конкретных поверхностей и их параметров.

В итоге данный алгоритм и был реализован в методе InitBeamPlotModel. После выполнения двух упомянутых ранее методов элемент класса PlotModel передаётся в GraphOS.xaml и выводится окно с графиком. На рисунках 25 – 27 показаны несколько визуализаций систем.

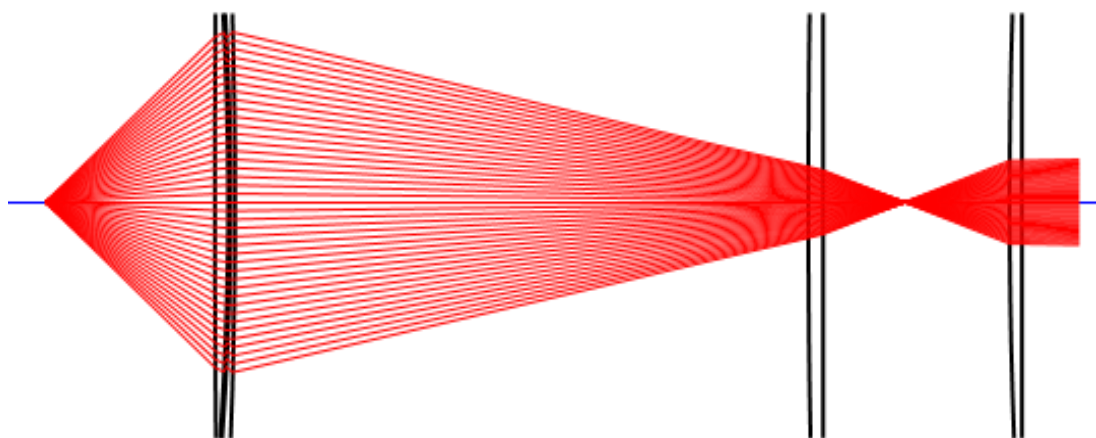


Рисунок 25 – Визуализация системы «Микроскоп».

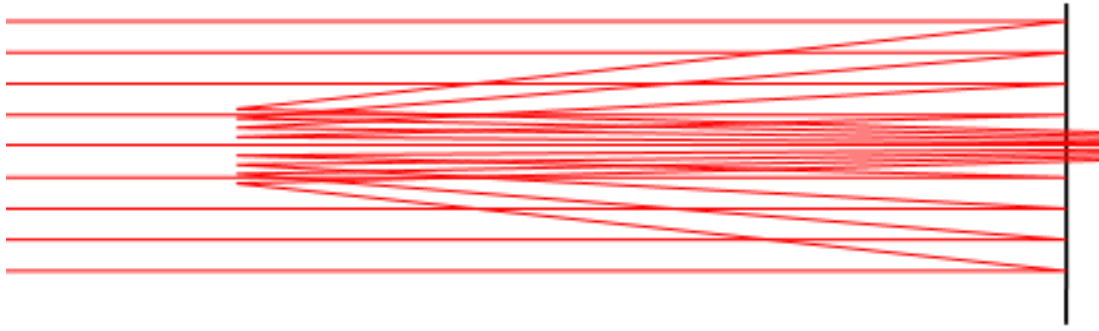


Рисунок 26 – Визуализация системы «Объектив Кассегрена».

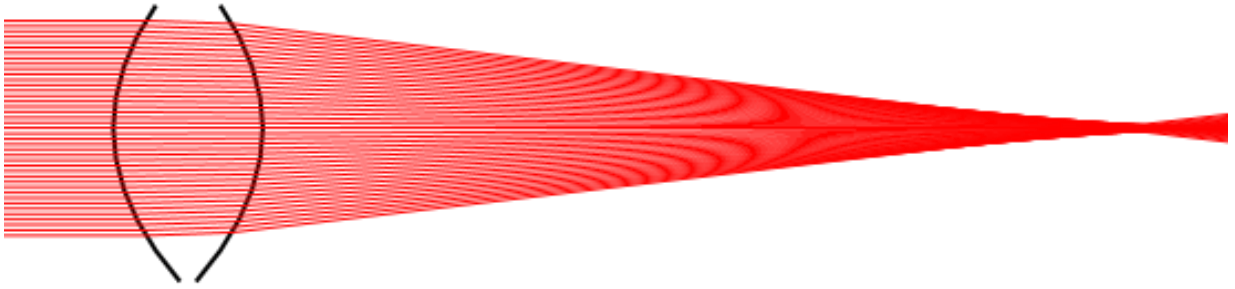


Рисунок 27 – Визуализация системы «Линза».

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСО-
СБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4В91	Бахолдину Павлу Алексеевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	12.03.02 Оптехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования. Расчет бюджетной стоимости НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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	Маланина В.А.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В91	Бахолдин Павел Алексеевич		

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Данная выпускная квалификационная работа заключается в разработке блока программного обеспечения «ОПТИКА» для визуализации оптических систем. Пользователями ПО «ОПТИКА» являются инженеры-оптики, проектирующие оптические системы.

Целью ПО «ОПТИКА» является отображение оптической системы, в соответствии с теми параметрами, которые ввёл пользователь. Визуализация оптической системы позволяет примерно оценить параметры проектируемой оптической системы. Благодаря визуализации можно обнаружить грубые ошибки ещё до того, как с введёнными параметрами будут проводиться различные расчёты.

Разрабатываемое программное обеспечение нацелено на извлечение прибыли посредством продажи его пользователям. В данной главе проводится его сравнение с конкурентными решениями, оценка коммерческого потенциала, определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.

5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки

Потенциальные потребители разрабатываемого решения

Как было упомянуто выше, потенциальными потребителями разрабатываемого программного обеспечения являются инженеры-оптики, проектирующие оптические системы.

Визуализация не является обязательной для программ проектирования оптических систем, однако для эффективного проектирования она необходима. Существующие системы оптического моделирования предоставляют два основных способа визуализации результатов оптического моделирования – во-первых, это визуализация распределения выходных световых характеристик (освещенность, яркость, интенсивность света) на приемнике излучения и, во-вторых, визуализация световых полей (траекторий лучей, например) в

оптической системе [41]. Выходные оптические характеристики – это непосредственный результат оптического моделирования, наблюдаемый на приемнике излучения. Такая форма представления результата удобна, когда нас в первую очередь интересует сам результат моделирования, а не то, каким образом он был получен, например моделирование распределения яркости на поверхности жидкокристаллического дисплея. Однако при проектировании оптических систем часто необходимо понимать, каким образом был получен выходной результат, то есть каким образом свет от источников света попал на приемник излучения. Например, при анализе рассеянного света в линзовом объективе необходимо знать, какая поверхность и какой линзы создает блик на изображении. Кроме того, визуальное представление информации о распространении световых лучей в оптической системе полезно и для разработчика программного обеспечения, как средство отладки и оптимизации алгоритмов [42].

Анализ конкурентных технических решений

В настоящий момент на рынке существуют несколько продуктов со схожим назначением и функциональностью. Для оценки конкурентоспособности разрабатываемого программного обеспечения была составлена карта сравнения конкурентных технических решений, представленная в таблице 1. Индексом «ф» обозначено разрабатываемое решение, индексом «к1» - «Zemax OpticStudio» (<https://www.zemax.com/pages/opticstudio>), индексом «к2» – «Oslo» (<https://lambdares.com/oslo>). Баллы находятся в диапазоне от 0 до 10 включительно, где 0 является наихудшим значением по критерию, а 10 – наилучшим.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Ф	Б _{К1}	Б _{К2}	К _Ф	К _{К1}	К _{К2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Понятность и удобство пользовательского интерфейса	0,1	10	5	7	1	0,5	0,7
2. Нагрузка на компьютер пользователя	0,1	9	4	8	0,9	0,4	0,8
3. 3D-представление	0,3	0	10	7	0	3	2,1
4. Ограничение на количество поверхностей	0,2	10	10	5	2	2	1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,1	8	3	5	0,8	0,3	0,5
2. Возможность приобретения в России	0,2	10	1	1	2	0,2	0,2
ИТОГО	1	47	33	33	6,7	6,4	5,3

Из данных оценочной карты следует, что разрабатываемое решение является наиболее конкурентоспособным среди представленных. Его наиболее сильными сторонами являются: понятность и удобство пользовательского интерфейса, возможность приобретения в России и цена.

SWOT-анализ

SWOT-анализ позволяет дать качественную оценку текущей ситуации, а также показывает, насколько достижима реализация имеющихся возможностей при наличии внешних угроз.

Процесс анализа можно разделить на два этапа. Начальный представляет из себя выявление сильных и слабых сторон решения, возможностей, а также

угроз, завершающий – определение того, как между собой соотносятся все факты, выявленные на предыдущем этапе.

Результаты выполненной в ходе данного этапа работы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	<p>С1. понятность и удобство пользовательского интерфейса.</p> <p>С2. возможность приобретения в России.</p>	<p>Сл1. 3D-представление.</p> <p>Сл2. Невысокая скорость развития (единственный разработчик).</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Выход на международный рынок.</p> <p>В2. Сотрудничество с ведущими институтами России</p>	<p>Инженеры-оптики перейдут на продукт, а развитие программы будет продвигаться совместными усилиями с российскими институтами.</p>	<p>Отсутствие 3D-представления будет важным недостатком, который не позволит выйти на международный рынок.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Возобновление SWIFT-переводов в России.</p> <p>У2. Консерватизм пользователей в отношении новых программ.</p>	<p>Продукт будет удовлетворять всем требованиям, но пользователи предпочтут остаться на ПО, используемом в данный момент.</p>	<p>При возобновлении SWIFT-переводов продукт может оказаться неконкурентноспособным.</p>

5.2. Планирование работ по научно-техническому исследованию

Структура работ в рамках научного исследования

Перечень этапов работы и распределение исполнителей представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Исполнители
Исследование предметной области	1	Изучение алгоритмов трассировки хода луча	Бахолдин П.А.
	2	Определение потребностей пользователей	Бахолдин П.А.
Проектирование	3	Разработка требований	Бахолдин П.А.
	4	Проектирование ПО	Бахолдин П.А.
Разработка	5	Реализация алгоритмов в программном коде	Бахолдин П.А.
Проведение тестирования	6	Проверка качества работы ПО путём моделирования всех возможных ситуаций	Бахолдин П.А.
Оформление отчета	7	Написание пояснительной записки к ВКР	Бахолдин П.А.

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (19)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

Разработка графика проведения научного исследования

Для определения календарных дней выполнения работы воспользуемся следующей формулой:

$$T_{Ki} = T_{Pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (20)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Согласно производственному календарю (для 5-дневной рабочей недели) в 2023 году 365 календарных дней, 247 рабочих дней, 118 выходных/праздничных дней. Таким образом, коэффициент календарности на 2023 год равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48 \quad (21)$$

После расчета коэффициента календарности можно составить таблицу временных показателей (Таблица 4) проведения научного исследования и диаграмму Ганта.

Таблица 4 – Временные показатели проведения научного исследования

Наименование работы	Исполнители работы	Трудоемкость работ, чел-дни			Длительность работ, дни	
		$t_{\min i}$	$t_{\max i}$	$t_{\text{ож} i}$	T_p	T_k
Изучение алгоритмов трассировки хода луча	Бахолдин П.А.	15	18	16,2	16	24
Определение потребностей пользователей	Бахолдин П.А.	10	15	12	12	18
	Агапов Н.А.					
Разработка требований	Бахолдин П.А.	3	5	3,8	4	6
	Агапов Н.А.					
Проектирование ПО	Бахолдин П.А.	25	40	31	31	46

деятельности, а также сделать прозрачными все мероприятия и расходуемые ими ресурсы, что существенно повышает эффективность работ.

Расчет материальных затрат НИИ

Так как затраты на электроэнергию, услуги связи, канцелярские принадлежности и т.д. учитываются как накладные расходы и не относятся в категорию материальных затрат, то сумма материальных затрат равняется нулю.

Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

При выполнении работы использовался ноутбук стоимостью 30 тыс. руб. и компьютерная мышь стоимостью 1 100 руб. Затраты на специальное оборудование отражены в таблице ниже.

Таблица 5 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.
Ноутбук	шт.	1	30 000
Компьютерная мышь	шт.	1	1 100
ИТОГО:			31 100

Согласно постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 18.11.2022) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» [43] срок полезного использования офисных машин (код 330.28.23.23) составляет от 2 до 3 лет. Для вычисления амортизации данный срок можно принять за 3 года.

Норма амортизации вычисляется как:

$$A_H = \frac{100\%}{3} = 33,33\% \quad (22)$$

Годовые амортизационные отчисления составляют:

$$A_G = S \cdot \frac{A_H}{100\%} = 31100 \cdot \frac{33,33\%}{100\%} = 10365 \text{ руб.} \quad (23)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления составляют:

$$A_M = \frac{A_G}{12} = \frac{10365}{12} = 864 \text{ руб.} \quad (24)$$

Итого за весь период выполнения исследовательской работы, с учётом того, что его продолжительность составляет 7 месяцев, сумма амортизации равна:

$$A = A_M \cdot 7 = 864 \cdot 7 = 6048 \text{ руб.} \quad (25)$$

Основная заработная плата исполнителей

Расчёт баланса рабочего времени приведён в таблице 6.

Таблица 6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Инженер (5-дневная рабочая неделя)	Руководитель (6-дневная рабочая неделя)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	66
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	24 10	48 5
Действительный годовой фонд рабочего времени	213	246

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D}, \quad (26)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

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

Для инженера:

$$Z_{дн} = \frac{17000 \cdot 11,2}{213} = 894 \text{ руб.}$$

Для руководителя

$$Z_{дн} = \frac{26000 \cdot 10,4}{246} = 1100 \text{ руб.}$$

В таблице 7 приведен расчет основной заработной платы.

Таблица 7 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{дн}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Бахолдин П.А.	894	0,3	0,2	1,3	144	251 035
Агапов Н.А.	1100	0,3	0,2	1,3	22	47 190
						298 225

Дополнительная заработная плата

Дополнительная зарплата назначается за совмещение работы с учёбой, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и пр. Дополнительная заработная плата рассчитывается умножением на надбавочный коэффициент ($k_{доп}$). Величина надбавочного коэффициента принята за 0,12.

Расчет дополнительной заработной платы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 298225 = 35787 \quad (26)$$

Сумма основной и дополнительной заработной платы равняется 334 012 руб.

Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (27)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) равный 30,2%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot (298225 + 35787) = 100872 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле

$$Z_{накл} = \left(\sum \text{статей} \right) \cdot k_{нр} \quad (28)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (в данной работе принимается равным 0,16).

Величина накладных расходов составляет:

$$\begin{aligned} Z_{накл} &= (0 + 31100 + 6048 + 298225 + 35787 + 100872) \cdot 0,16 \\ &= 75525 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет бюджета затрат НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НИИ	0
Затраты на специальное оборудование для научных работ и его амортизацию	37 148
Затраты по основной заработной плате исполнителей	298 225
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	35 787
Отчисления во внебюджетные фонды	100 872
Накладные расходы	75 525

Наименование статьи	Сумма, руб.
Бюджет затрат НИИ	547 557

5.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности работы необходимо рассчитать интегральный показатель эффективности научного исследования, нахождение которого связано с определением финансовой эффективности и ресурсоэффективности. При расчёте показателей эффективности оценивались 2 варианта исполнения системы:

1. Для визуализации используется платформа .NET Framework
2. Для визуализации используется библиотека OxyPlot на платформе WPF

Стоимость разработки в этих двух вариантах является практически одинаковой, поэтому отдельный расчет для второго варианта не производился. Как следствие, интегральный финансовый показатель для обоих вариантов примем равным единице.

Главное различие двух подходов в простоте работы. Платформа .NET Framework обладает элементами визуального программирования, когда нужные объекты можно реализовать путём перетаскивания их из списка стандартных объектов. В то время как для библиотеки OxyPlot необходимо программно задавать параметры окна и взаимодействие файлов программы с этим окном.

Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности обоих вариантов исполнения приведен в таблице 9

Таблица 9 – Интегральные показатели ресурсоэффективности.

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Понятность и удобство использования		0,1	5	3

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
2. Нагрузка на компьютер пользователя		0,1	3	5
3. Необходимость дополнительных инструментов для имплементации в изначальной программе на платформе WPF		0,4	1	5
4. Гибкость настройки		0,3	3	5
5. Оптимизация работы		0,1	3	5
ИТОГО		1	2,4	4,8

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Расчет приведен в таблице ниже:

Таблица 10 – Сравнение интегральных показателей эффективности.

№	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2,4	4,8
3	Интегральный показатель эффективности	2,4	4,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,5	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация программного обеспечения во втором исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Вывод по главе

В главе исследовательской работы, посвященной финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережению, была дана оценка коммерческого потенциала разработки, спланирован график работ, сформирован бюджет затрат и определена эффективность исследования. Также проведен

SWOT-анализ, на основе возможностей, угроз, сильных и слабых сторон проекта сделаны выводы.

Кроме того, выполнено планирование научно-исследовательских работ по проекту. При планировании графика работ был составлен список задач. График работ визуализирован в виде диаграммы Ганта. Общая длительность проведения работ по проекту ориентировочно составляет 244 календарных дня. Сформированный бюджет затрат научного исследования равен 547 557 руб.

Сравнение интегральных показателей эффективности вариантов исполнения показывает, что наиболее выгодным с позиции финансовой и ресурсной эффективности является второй вариант исполнения (Для визуализации используется библиотека OxyPlot на платформе WPF), который и был реализован.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 4В91		ФИО Бахолдин Павел Алексеевич	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	12.03.02 Опотехника

Тема ВКР:

Разработка алгоритмов программного обеспечения по трассировке хода лучей в оптической системе в ППП «ОПТИКА»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> ход луча в оптической системе. <i>Область применения:</i> Оптико-механическая промышленность <i>Рабочая зона:</i> <u>комната общежития</u> <i>Размеры помещения:</i> 7*3*2,6 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> ноутбук, компьютерная мышь, источники электропитания. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> программирование алгоритмов трассировки хода луча в среде разработки Visual Studio 2022</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <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"> – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; – ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения; – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 20.04.2022) – ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения – СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата. – Превышение уровня шума. – Повышенный уровень электромагнитных излучений – Отсутствие или недостаток естественного или искусственного света <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через человеческое тело.

3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения</u>	<i>Воздействие на селитебную зону: без воздействия. Воздействие на литосферу: утилизация отходов в случае электронных компонентов и электронного оборудования. Воздействие на гидросферу: утилизация бытовых отходов. Воздействие на атмосферу: без воздействия.</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения</u>	<i>Возможные ЧС: диверсия, аварии на коммунально-энергетических сетях. Наиболее типичная ЧС: возгорание помещения – пожар.</i>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В91	Бахолдин Павел Алексеевич		

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В рамках выпускной квалификационной работы был разработан блок программного обеспечения «ОПТИКА» для визуализации оптических систем. Пользователями ПО «ОПТИКА» являются инженеры-оптики, проектирующие оптические системы.

Целью ПО «ОПТИКА» является отображение оптической системы, в соответствии с теми параметрами, которые ввёл пользователь. Визуализация оптической системы позволяет примерно оценить параметры проектируемой оптической системы. Благодаря визуализации можно обнаружить грубые ошибки ещё до того, как с введёнными параметрами будут проводиться различные расчёты.

Рабочей зоной является офисное помещение площадью 18 м². В рабочей зоне при помощи ноутбука осуществляются следующие процессы: поиск информации, её анализ; проектирование и разработка программного обеспечения.

В данной главе приведен анализ некоторых аспектов, оказывающих влияние на безопасность трудовой деятельности.

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые нормы трудового законодательства

Трудовые отношения между работодателем и работником регулируются с помощью законодательного акта «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022) [44]. В нём регламентируются права и обязанности работодателя и работника, вопросы организации труда, режим труда и отдыха, оплата и нормирование труда, компенсации работникам, защита персональных данных работника, урегулирование трудовых споров. Ниже приведены несколько наиболее важных положений:

- Нормальная продолжительность рабочего времени не должна превышать 40 часов в неделю.

- В течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Правилами внутреннего трудового распорядка или трудовым договором может быть предусмотрено, что указанный перерыв может не предоставляться работнику, если установленная для него продолжительность ежедневной работы (смены) не превышает четырех часов (в ред. Федерального закона от 18.06.2017 N 125-ФЗ).
- Всем работникам предоставляются выходные дни (еженедельный непрерывный отдых).

Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Основными элементами рабочего места программиста являются: рабочий стол, рабочий стул (кресло), дисплей, клавиатура, мышь.

Согласно ГОСТ Р 50923-96 «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения» [45], рабочее место с дисплеем должно обеспечивать оператору возможность удобного выполнения работ в положении сидя и не создавать перегрузки костно-мышечной системы.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать возможность размещения на рабочей поверхности необходимого комплекта оборудования и документов с учетом характера выполняемой работы. Регулируемая высота рабочей поверхности стола должна изменяться в пределах от 680 до 800 мм. Размеры рабочей поверхности стол: глубина – не менее 600 мм, ширина – не менее 1200 мм.

Дисплей на рабочем месте оператора должен располагаться так, чтобы изображение в любой его части было различимо без необходимости поднимать или опускать голову. Дисплей на рабочем месте должен быть установлен ниже уровня глаз оператора. Угол наблюдения экрана оператором относительно горизонтальной линии взгляда не должен превышать 60°.

Клавиатура должна иметь возможность свободного перемещения. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии от 100 до 300 мм от переднего края, обращенного к оператору, или на специальной регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

В соответствии с ГОСТ 21889-76 «Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора» [46] кресло оператора может быть с профилированными и непрофилированными элементами. Поверхность сиденья может быть плоской с наклоном 0-5°, или профилированной с углами наклона сиденья. Опорная плоскость сиденья может быть плоской или профилированной с радиусом кривизны поясничной опоры, равным 460 мм, радиусом изгиба для грудного отдела позвоночника, равным 620 мм и другими точками изгиба.

При размещении рабочих мест необходимо исключить возможность прямой засветки экрана источником естественного освещения.

При выполнении выпускной квалификационной работы правовых и организационных нарушений по указанным требованиям не было выявлено, рабочее место было оборудовано согласно всем нормам и правилам.

6.2. Производственная безопасность

В данном подразделе приведен анализ вредных и опасных факторов, которые воздействуют на разработчиков программного обеспечения, выполняющих работы на своих рабочих местах.

Все выявленные факторы приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте «офис»

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой.	ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные факторы» [47]

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
2. Умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой.	МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [48]
3. Перенапряжение анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой.	МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [48]
4. Монотонность труда, вызывающая монотонию.	МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [48]
5. Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [49]
6. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [49]
7. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.	ГОСТ Р 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [50]

Из данной таблицы следует, что на разработчиков программного обеспечения в ходе их деятельности воздействуют только физические и психологические факторы, а химические и биологические факторы отсутствуют.

Статические физические перегрузки

Работа программиста является малоподвижной деятельностью, а значит может вызывать гиподинамию. Как известно, ограничение физической активности приводит к нарушениям в работе опорно-двигательного аппарата,

сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта. Все эти нарушения оказывают значительное влияние на состояние организма работника и негативно сказываются как на его повседневной жизни, так и на качестве его работы.

Для профилактики гиподинамии следует предпринимать следующие меры:

- увеличение физической активности;
- регулярные перерывы в работе для небольшой разминки.

Умственное перенапряжение и перенапряжение анализаторов, монотонность труда

Монотонный труд является частью практически любого процесса разработки, так как каждый специалист выполняет ряд каких-либо действий, связанных с его задачами. Кроме того, программисты по роду своей деятельности проводят много времени, решая сложные и нестандартные задачи, из-за чего может возникать умственное перенапряжение (переутомление). Этот негативный фактор играет важную роль в эмоциональном состоянии. При умственном перенапряжении у сотрудника могут наблюдаться следующие негативные последствия:

- нарушение сна или сонливость;
- отсутствие или повышение аппетита; 90
- приступы тошноты, обмороки;
- головная боль;
- раздражительность, нервозность;
- усталость, апатия; • медлительность;
- снижение внимательности и работоспособности.

Для снижения уровня умственного перенапряжения разработчика программного обеспечения следует принимать следующие меры:

- во время рабочего дня делать регулярные перерывы;
- вне рабочего времени проводить время на свежем воздухе;
- нормализовать режим сна;

- регулярно и сбалансировано питаться;
- выделять время в течении дня на разминку или на полноценные тренировки;
- стараться организовывать свое рабочее время таким образом, чтобы не заниматься одной задачей на протяжении длительного времени;
- крупные задачи делить на небольшие подзадачи.

Согласно МР 2.2.9.2311-07 [48], меры профилактики стрессовых состояний предусматривают внедрение рациональных режимов труда и отдыха, комплекса оздоровительно-профилактических мероприятий для предупреждения воздействия стресс-факторов на организм работающих.

При постоянном взаимодействии с компьютером (набор текстов, ввод данных и т.п.), при исключении возможности периодического переключения на другие виды трудовой деятельности, не связанные с ПЭВМ, рекомендуется организация перерывов по 10-15 мин. через каждые 45-60 мин. работы.

Для повышения работоспособности, снижения зрительного утомления рекомендуется использовать очки защитные со спектральными фильтрами ЛС и НСФ, разрешенные Минздравом России для работы с ПЭВМ.

Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения

Нехватка естественного освещения или его полное отсутствие в течение рабочего дня может повлечь болезни психологического характера, невротические расстройства, снизить работоспособность и концентрацию сотрудника.

Источником естественного освещения является солнечный свет, основными причинами его недостатка являются географическое положение здания, а также планировка его внутренних помещений, расположение рабочих мест. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток. При этом столы следует располагать так, чтобы свет от окон падал на рабочую поверхность стола слева.

Разработка программного обеспечения относится к работам высокой точности (наименьший или эквивалентный объект различения 0,3-0,5 мм),

разряд Б, подразряд 1, относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность не менее 70%. Требования к естественному освещению рабочего помещения согласно СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [49] представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Требования к естественному освещению рабочего помещения.

Коэффициент естественной освещенности, %, при	
верхнем или комбинированном освещении	боковом освещении
3,0	1,0

При недостаточной освещенности помещения может помочь расширение оконных проемов и установка качественных источников искусственного освещения.

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Недостаточная освещенность рабочей зоны является вредным производственным фактором, приводящим к быстрому утомлению и снижению работоспособности человека на предприятии. При недостаточной освещенности помещения человек быстрее устает, снижается внимание и концентрация. Продолжительная работа в условиях низкой освещенности приводит к ухудшению зрения.

Нормы естественного, искусственного и совместного освещения регламентируются СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [49]. Разработка программного обеспечения относится к работам высокой точности (наименьший или эквивалентный объект различения 0,3–0,50 мм), разряд Б, подразряд 1, относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность не менее 70%.

В таблице 13 представлены требования к искусственному освещению рабочего помещения.

Таблица 13 – Требования к искусственному освещению рабочего помещения

Искусственное освещение			
Освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Цилиндрическая освещенность, лк	Объединенный показатель UGR, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более
400	100	19	15

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПК должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения).

Яркий свет в зоне периферийного зрения заметно увеличивает напряжение глаз. Для снижения влияния вредного фактора недостаточной освещенности необходимо, чтобы уровень освещения рабочего пространства приблизительно совпадал с яркостью дисплея. Проблему недостаточной освещенности помещения можно решить при помощи установки дополнительных осветительных приборов.

Опасность поражения электрическим током

Работа программиста происходит в непосредственной близости от электрических сетей и приборов, поэтому работник должен с осторожностью обращаться с электропроводкой и компьютером, а также помнить об опасности поражения электрическим током.

Покрытие полов следует делать из однослойного линолеума, что снизит величины зарядов статического электричества. Несмотря на то, что эти величины безопасны для здоровья человека, вычислительная техника подвергается опасности при воздействии зарядов такого рода.

Поражение электрическим током является опасным производственным фактором. Вероятность поражения повышается при:

- повышенной влажности воздуха в помещении (более 75%);

- высокой температуре воздуха и поверхностей (более 35 °С);
- наличии токопроводящей пыли;
- неверной проектировке рабочего места;
- отсутствии защитных конструкций для проводов;
- наличии посторонних предметов на электроприборах.

Мерами защиты от воздействия электрического тока при неисправности изоляции являются защитное заземление, зануление [50] и использование устройств защитного отключения (УЗО).

6.3. Экологическая безопасность

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы использовался ноутбук.

Утилизация компьютерной и организационной техники ограничена законодательно, так как в производстве такой техники используются материалы, способные нанести вред окружающей среде (класс опасности IV). Утилизация компьютерного оборудования происходит через обязательное извлечение компонентов, их сортировку и последующую отправку для повторного использования. Такая утилизация обязательно производится на оборудованных полигонах с привлечением квалифицированного персонала [51].

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможные ЧС:

- Техногенные (взрывы, пожары, обрушение помещений);
- Природные (наводнения, ураганы, бури, природные пожары);
- Биологические (эпидемии, пандемии);
- Антропогенные (война, терроризм).

При работе с вычислительной техникой наиболее типичной чрезвычайной ситуацией является пожар, так как в современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. К причинам электрического характера можно отнести короткое замыкание, искрение, статическое электричество.

Для предотвращения возникновения пожара необходимо:

- Регулярно проводить инструктажи по пожарной безопасности;
- Разместить в помещении план эвакуации и плакаты с краткой информацией о действиях, предпринимаемых при возникновении пожара;
- Соблюдать правила и нормы при монтаже электрических приборов и электрической проводки;
- Оборудовать помещение пожарной сигнализацией, а также средствами тушения пожара.

В случае возникновения пожара каждый сотрудник должен:

- незамедлительно сообщить об этом в пожарную охрану;
- принять меры по эвакуации людей, материальных ценностей согласно плану эвакуации;
- отключить электроэнергию, приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения.

Возможный пожар на рабочем месте относится к классам А1, А2, Е [52].

Первичные средства пожаротушения являются: огнетушители порошковые переносные с порошками типа АВСЕ, огнетушители углекислотные.

Выводы по главе

В результате работы по главе «Социальная ответственность» были выявлены основные нормативные акты для обеспечения безопасности жизнедеятельности на рабочем месте, рассмотрены наиболее значимые опасные и вредные факторы, возникающие при разработке блока программного обеспечения «ОПТИКА» для визуализации оптических систем, описано влияние процесса разработки программного обеспечения на окружающую среду и меры, необходимые для уменьшения влияния вредных и опасных факторов на организм человека и для сокращения негативного влияния процесса разработки программного обеспечения на окружающую среду.

Согласно пункту 1.1.13 ПУЭ-7 рабочая зона является помещением без повышенной опасности. Согласно «Правилам по охране труда при

эксплуатации электроустановок» [53] персонал должен иметь первую группу по электробезопасности.

Работа в офисе относится к категории тяжести труда Ia [54] – работы выполняются при оптимальных условиях внешней производственной среды и при оптимальной величине физической, умственной и нервно-эмоциональной нагрузки.

Рабочая зона относится к категории В по взрывопожарной и пожарной опасности.

В заключении можно отметить, что нарушений по организации рабочего процесса при выполнении ВКР выявлено не было, а все необходимые требования и нормы безопасности были соблюдены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом работы стал функционирующий блок программы для визуализации хода луча. Написанный программный код можно скопировать в виде отдельных файлов и поместить в папку программы, чтобы получить доступ к написанному функционалу. Таким образом дальнейшая разработка может происходить независимо от вектора разработки основной программы, так как визуализация оптической системы является дополнением, работающем на базе основной структуры программы, а не является самостоятельным решением.

Сама визуализация показала достаточно неплохие результаты, позволяющие уже сейчас смоделировать такие оптические системы как микроскоп и объектив Кассегрена. Однако результат далеко не идеален и требует дальнейших доработок:

- Пучки лучей отдельных точек предмета должны отображаться разными цветами
- Должны визуализироваться не просто оптические поверхности, а полноценные оптические детали, такие как линзы и зеркала. У пользователя должна быть возможность задавать размеры для каждой оптической детали.
- В визуализации должны отсутствовать такие ошибки, как невидимые поверхности (рисунок 26)

Тем не менее, получившееся решение способно удовлетворить минимальные потребности в визуализации хода луча в оптической системе.

ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. History / [Электронный ресурс] // ZEISS Group : [сайт]. – URL: <https://www.zeiss.com/corporate/en/about-us/past/history.html> (дата обращения: 03.06.2023).
2. SIGMA – An Optical Design Legacy / [Электронный ресурс] // Kidger Optics Associates: Optical Design Consultants : [сайт]. – URL: <https://www.kidger.com/sigma.html> (дата обращения: 03.06.2023).
3. OpticStudio – Zemax / [Электронный ресурс] // Zemax : [сайт]. – URL: <https://www.zemax.com/pages/opticstudio> (дата обращения: 04.06.2023).
4. How to Purchase Optical Design Software Without Breaking the Bank / [Электронный ресурс] // Global Lighting Technologies, Inc. : [сайт]. – URL: <https://www.glthome.com/purchase-optical-design-software-without-breaking-bank/> (дата обращения: 03.06.2023).
5. ZEMAX Development Corporation – Quotes, Address, Contact / [Электронный ресурс] // AZoOptics : [сайт]. – URL: <https://www.azooptics.com/Suppliers.aspx?SupplierID=4422> (дата обращения: 04.06.2023).
6. Announcing a temporary ban on users from Russian and Belarusian accounts / [Электронный ресурс] // Zemax Community : [сайт]. – URL: <https://community.zemax.com/user-news-alerts-5/announcing-a-temporary-ban-on-users-from-russian-and-belarusian-accounts-2409> (дата обращения: 04.06.2023).
7. President Putin SPIEF 2022 Speech: Russia’s New Business & Investment Policies / [Электронный ресурс] // Russia Briefing News : [сайт]. – URL: <https://www.russia-briefing.com/news/president-putin-spief-2022-speech-russia-s-new-business-investment-policies.html/> (дата обращения: 04.06.2023).
8. Агапов, Н. А. Пакет прикладных программ «Оптика» : учебно-методическое пособие / Н. А. Агапов, Е. В. Тюлькин, Н. Е. Россомахина. – Томск : ТПУ, 2020. – 130 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/246014> (дата обращения: 03.06.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. Агапов, Н. А. Прикладная оптика : учебное пособие / Н. А. Агапов. – Томск : ТПУ, 2017. – 286 с. – ISBN 978-5-4387-0791-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106743> (дата обращения: 04.06.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- 10.Zemax / [Электронный ресурс] // Laser Focus World : [сайт]. – URL: <https://www.laserfocusworld.com/directory/services-software/software-optical/company/16572153/zemax> (дата обращения: 09.06.2023).
- 11.Using the OpticStudio Dynamic САПР link / [Электронный ресурс] // Zemax Knowledgebase : [сайт]. – URL: <https://support.zemax.com/hc/en-us/articles/10018185894291-Using-the-OpticStudio-Dynamic-САПР-link> (дата обращения: 09.06.2023).
- 12.FDTD Basics / [Электронный ресурс] // Optiwave : [сайт]. – URL: <https://optiwave.com/optifdtd-manuals/fdtd-fdtd-basics/> (дата обращения: 09.06.2023).
- 13.ASAP / [Электронный ресурс] // Breault Research Organization : [сайт]. – URL: <https://breault.com/asap/> (дата обращения: 10.06.2023).
- 14.Optical Design Software – Code V / [Электронный ресурс] // Synopsys : [сайт]. – URL: <https://www.synopsys.com/optical-solutions/codev.html> (дата обращения: 10.06.2023).
- 15.CODE V Global Synthesis – A Powerful Tool in Expert Optical Design Workflows / [Электронный ресурс] // Optical and Photonic Solutions Blog –Synopsys : [сайт]. – URL: <https://blogs.synopsys.com/optical-solutions/2020/09/01/code-v-global-synthesis/> (дата обращения: 10.06.2023).
- 16.Irving B.R. A Technical Overview Of Code V Version 7 / Irving B.R. [Текст] // Recent Trends in Optical Systems Design and Computer Lens Design Workshop. – Los Angeles:Society of Photo Optical, 1987. – С. 285-293.
- 17.Reflections on the 45th Anniversary of CODE V as a Commercial Software Product / [Электронный ресурс] // Optical and Photonic Solutions Blog –

- Synopsys : [сайт]. – URL: <https://blogs.synopsys.com/optical-solutions/2020/07/31/code-v-45th-anniversary/> (дата обращения: 10.06.2023).
- 18.OSLO / [Электронный ресурс] // Lambda Research Corporation : [сайт]. – URL: <https://lambdaresearch.com/oslo> (дата обращения: 10.06.2023).
- 19.Optical and Illumination Simulation, Design & Analysis Tool. TracePro / [Электронный ресурс] // Lambda Research Corporation : [сайт]. – URL: <https://lambdaresearch.com/tracepro> (дата обращения: 10.06.2023).
- 20.Шехонин А.А. Методология проектирования оптических приборов: учеб. пособие / А.А. Шехонин, В.М. Домненко, О.А. Гаврилина. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 91 с.
- 21.Колпаков А. Библиотека проектирования оптики [Текст] / Колпаков А. // САПР и графика. – 2011. – № 6. – С. 79-80.
- 22.Описание работы с программой OPAL-PC / [Электронный ресурс] // Университет ИТМО – Прикладная Оптика : [сайт]. – URL: http://aco.ifmo.ru/el_books/basics_optics/lab_app_opal/lab_app_opal.html (дата обращения: 11.06.2023).
- 23.COMSOL Multiphysics® Simulation Software - Understand, Predict, and Optimize / [Электронный ресурс] // COMSOL : [сайт]. – URL: <https://www.comsol.com/comsol-multiphysics> (дата обращения: 11.06.2023).
- 24.Ansys Speos | Optical Simulation and Design Software / [Электронный ресурс] // Ansys : [сайт]. – URL: <https://www.ansys.com/products/optics-vr/ansys-speos> (дата обращения: 11.06.2023).
- 25.List of ANSYS SPEOS Customers / [Электронный ресурс] // APPS RUN THE WORLD Apps Purchases : [сайт]. – URL: <https://www.appsruntheworld.com/customers-database/products/view/ansys-speos> (дата обращения: 11.06.2023).
- 26.Companies Using Ansys SPEOS, Market Share, Customers and Competitors / [Электронный ресурс] // Competitive Intelligence for Lead Generation & Qualification : [сайт]. – URL: <https://discovery.hgdata.com/product/ansys-speos> (дата обращения: 11.06.2023).

27. Illumination Design Software - LightTools / [Электронный ресурс] // Synopsys : [сайт]. – URL: <https://www.synopsys.com/optical-solutions/lighttools.html> (дата обращения: 11.06.2023).
28. Photoria Optical Design Software / [Электронный ресурс] // LTI Optics : [сайт]. – URL: <https://www.ltioptics.com/en/index.html> (дата обращения: 11.06.2023).
29. 3DOptix: Cloud Based, Optical System Simulation Software / [Электронный ресурс] // 3DOptix : [сайт]. – URL: <https://3doptix.com/> (дата обращения: 11.06.2023).
30. heterophyllus/Geopter: Optical Design Software / [Электронный ресурс] // GitHub : [сайт]. – URL: <https://github.com/heterophyllus/Geopter/tree/master> (дата обращения: 11.06.2023).
31. Ray Optics Simulation / [Электронный ресурс] // PhyDemo | Open-source Physics Demos & Apps : [сайт]. – URL: <https://phydemo.app/ray-optics/> (дата обращения: 11.06.2023).
32. Diginaut Ltd - Shareware - ADOS / [Электронный ресурс] // Diginaut Ltd : [сайт]. – URL: <http://www.diginaut.com/shareware/ados/> (дата обращения: 11.06.2023).
33. dbOptic: Optical Design Software for Personal Computers / [Электронный ресурс] // Sky Scientific : [сайт]. – URL: <https://www.skyscientific.com/> (дата обращения: 11.06.2023).
34. OpTaliX® Software for Optical Design, Thin-Films and Illumination / [Электронный ресурс] // Optenso : [сайт]. – URL: <https://www.op-tenso.com/index.html> (дата обращения: 11.06.2023).
35. Winlens Optical Design Software / [Электронный ресурс] // Qioptiq Q-Shop : [сайт]. – URL: <https://www.qioptiq-shop.com/en/Optics-Software/Winlens-Optical-Design-Software/> (дата обращения: 11.06.2023).
36. SYNOPSIS™ / [Электронный ресурс] // OSD Optics : [сайт]. – URL: <https://osdoptics.com/> (дата обращения: 11.06.2023).

37. FRED Software / [Электронный ресурс] // Photon Engineering | Optical Software & Services : [сайт]. – URL: <http://www.photonengr.com/software.html> (дата обращения: 11.06.2023).
38. Язык программирования C# и платформа .NET / [Электронный ресурс] // METANIT.COM – Сайт о программировании : [сайт]. – URL: <https://metanit.com/> (дата обращения: 11.06.2023).
39. Документация по C#. Начало работы, руководства, справочные материалы. / [Электронный ресурс] // Microsoft Learn: приобретение навыков, которые открывают путь к карьерному росту : [сайт]. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/> (дата обращения: 11.06.2023).
40. Getting started / [Электронный ресурс] // OxyPlot 2015.1 documentation : [сайт]. – URL: <https://oxyplot.readthedocs.io/en/latest/getting-started/index.html> (дата обращения: 11.06.2023).
41. Копылов Е. А., Dmitriev К. А. Light propagation visualization as a tool for 3D scene analysis in lighting design // Computers & Graphics. – 2000. – Т. 24. – №. 1. – С. 31-39.
42. Wernert E. A unified environment for presenting, developing and analyzing graphics algorithms // ACM SIGGRAPH Computer Graphics. – 1997. – Т. 31. – №. 3. – С. 26-28.
43. Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 18.11.2022) "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы" [Электронный ресурс] // – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34710/ (дата обращения: 25.05.2023).
44. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022) [Электронный ресурс] // – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 24.05.2023).
45. ГОСТ Р 50923-96 «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы

- измерения» [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200025975> (дата обращения: 24.05.2023).
- 46.ГОСТ 21889-76 «Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора» [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012832> (дата обращения: 24.05.2023).
- 47.ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные факторы» [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 24.05.2023).
- 48.МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200072234> (дата обращения: 24.05.2023).
- 49.СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 24.05.2023).
- 50.ГОСТ Р 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200161238> (дата обращения: 24.05.2023).
- 51.ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов» [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200081740> (дата обращения: 24.05.2023).
- 52.Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 24.05.2023).
- 53.Приказ Минтруда России от 15 декабря 2020 года N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»

[Электронный ресурс] // – Режим доступа:
<https://docs.cntd.ru/document/573264184> (дата обращения: 24.05.2023).

54. Приказ Минтруда России от 24.01.2014 N 33н (ред. от 27.04.2020) «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению» [Электронный ресурс] // – Режим доступа:
http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158398/ (дата обращения: 24.05.2023).