В настоящее время проблема экологии становится насущной не только в отношении биосферы и экосферы Земли, но и околоземного космического пространства. Всё большую актуальность приобретает вопрос разработки системы очистки термосферы от объектов техногенного происхождения.

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке программной системы распознавания удалённых объектов на основе математических алгоритмов и фотометрических методов. Основой для ВКР послужила диссертационная работа Бодровой И.В., посвящённая разработке математических методов анализа световых потоков.

В первой главе ВКР рассматриваются существующие математические модели задач фотометрии. К таким задачам в рамках данной работы относятся следующие:

1. прямая задача фотометрии – представляет собой измерение оптических характеристик изучаемого объекта;
2. обратная задача фотометрии – по результатам измерения оптических параметров определяются геометрические параметры тела.

С использованием исходных данных изучаемого тела и средствами математического моделирования для измерения доступны следующие параметры:

1. параметры положения в пространстве (ось вращения, ориентация),
2. геометрические параметры (габаритные размеры, форма),
3. параметры структуры (компоненты тела и их взаимное расположение),
4. физические параметры поверхности (оптические характеристики, состояние поверхности).

Стоит отметить, что зачастую методы фотометрии для анализа удалённых объектов являются единственными из доступных.

Для реализации задачи была создана система, симулирующая анализ поверхности объекта оптическими методами. В координатном пространстве данная система может быть представлена следующим образом (ссылка на слайд).

Здесь начало координат соответствует поверхности космического объекта, расположенного в плоскости XOY. Ось OZ соответствует нормали к плоскости XOY, то есть к поверхности объекта. Угол  соответствует углу между вектором «объект-излучатель»  и проекцией этого вектора на плоскость XOY (коллинеарно направлению оси OX). Угол  соответствует углу между проекцией вектора «объект-приёмник»  на плоскость XOY и осью OX. Углы  и  соответствуют углам между нормалью OZ и векторами  и  соответственно.  – угол между векторами  и .

Известно, что модель светового пучка в некоторой среде можно представить в виде электромагнитного поля, обладающего параметром напряжённости, при этом характер колебаний вектора напряжённости определяет поляризацию светового поля.

Можно представить вектор напряжённости через проекции  и  на орты  и  (ссылка на слайд). Здесь P – плоскость поляризации, Q – плоскость референции, вектор  соответствует направлению световой волны.

Вектор напряжённости по ходу распространения светового потока описывает фигуру, называемую эллипсом поляризации (ссылка на слайд). Данный эллипс обладает коэффициентом эллиптичности *e = b / a*, азимутальным углом , амплитудой колебаний (параметры амплитуд  равны описанным вокруг эллипса сторонам прямоугольника) и разностью фаз составляющих  в точке отсчёта: .

Главным инструментом расчётов послужил так называемый вектор Стокса, представляемый следующим образом (ссылка на слайд). Параметр U выражает плоскость поляризации, V – эллиптичность светового потока.

Другим инструментом для расчётов послужила матрица Мюллера, служащая оператором, преобразующим вектор Стокса падающей волны в вектор отражённой (ссылка на слайд).

Таким образом, параметры вектора Стокса используются в задачах расчёта компонент вектор-функции Стокса и расчёта матриц оператора рассеяния. Для металлических поверхностей матрица рассеяния может быть описана следующим образом (ссылка на слайд), аналогично для диэлектрических (ссылка на слайд).

Для моделирования отраженного излучения используется установка, которая представляет собой реализацию схемы, представленной в координатном пространстве: модель, излучатель и приёмник. Модель может симулировать вращение объекта вокруг двух осей с различной скоростью (функциональная блок-схема на слайде). Данная установка послужила основой вычисления параметров поляризации отражённого излучения. В качестве дополнительных параметров поляризации рассеянного светового потока выступали параметры разности начальных фаз компонент , азимутального угла и угла эллиптичности.

Далее рассматриваются современные методы и алгоритмы определения типа покрытий удалённых объектов.

Алгоритм определения типа покрытия состоит в следующем:

1. генерация и селекция характеризующих признаков,
2. отбор классификатора,
3. оценка ошибки классификатора,
4. построение разделяющей поверхности решения и определение типа поверхности.

Исследуемая поверхность может быть классифицирована как диэлектрическое или металлическое покрытие.

Для каждого из классов описан свой алгоритм вычисления показателя преломления. Каждому значению параметра преломления, в зависимости от класса исследуемой поверхности, соответствует свой материал.

После изучения всех математических алгоритмов и методов разрабатывается программная система, вычисляющая показатели преломления и определяющая с помощью них материал покрытия.

Программа была написана на объектно-ориентированном высокоуровневом интерпретируемом языке программирования Python. В качестве среды разработки выступал редактор Visual Studio Code. Для работы с базами данных использовалась библиотека SQLite. Также была задействована система контроля версий *Git* для обеспечения возможности откатов.

Архитектура программной системы выглядит следующим образом (слайд). Программный пакет состоит из:

1. программы расчета параметров Стокса и коэффициента поляризации отраженного светового потока;
2. программы для вычисления азимутального угла, угла эллиптичности и комплексного показателя поляризации светового потока;
3. программы для расчета показателя преломления и определения материала покрытия;
4. управляющей программы.

Структура основных действий программы представлена на слайде.

База данных программы представляет собой набор несвязанных между собой таблиц (сущностей). Схема базы данных представлена на слайде.

Таким образом, программа производит расчёт параметров Стокса и коэффициента поляризации отраженного светового потока, вычисление азимутального угла, угла эллиптичности и комплексного показателя поляризации светового потока, расчёт показателя преломления и определение материала покрытия.

Для настройки программной системы необходимо выполнить следующие действия:

* открыть файл basic.ini или создать его копию с произвольным именем и расширением ini;
* в секции [*Common*] ввести значения следующих параметров для настройки работы алгоритмов:
  + Fi – угол падения;
  + Nju\_Re – действительная часть показателя преломления;
  + Nju\_Im – комплексная часть показателя преломления;
  + Gamma – угол (*угол чего?)*.
* в секции [*Intervals*] ввести значения допустимых интервалов соответствующих параметров вектора Стокса падающего и отражённого излучения.

Обращение к программной системе происходит через интерфейс командной строки (терминал) Следует перейти в папку /stokes запуск осуществляется командой “python main.py [опции] ”.

Программе могут быть переданы следующие параметры:

* '-c', '--config':
  + назначение: конфигурационный файл;
  + значение по умолчанию 'config/basic.ini',
* '-t', '--task':
  + назначение: номер задачи (1, 2 или 3)
  + значение по умолчанию '1',
* '-f', '--file':
  + назначение: файл для загрузки данных;
  + значение по умолчанию '/data/csv/calculation.csv',
* '-m', '--material':
  + назначение: файл с показателями преломления материалов;
  + значение по умолчанию '/data/csv/MaterialRefraction.csv'.

В ходе тестирования программы была проверена корректность импорта данных, работы расчётных модулей и вывода графической информации (результаты тестирования на слайде).