

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
«Астраханский государственный университет»
(Астраханский государственный университет)

На правах рукописи



ПЛЕШКОВА ЮЛИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА НАСЕКОМЫМ

Специальность 05.13.18

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
доцент А.М. Лихтер

АСТРАХАНЬ 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1 Анализ систем передачи оптического сигнала объектам биологической природы – насекомым.....	9
1.1 Физические основы функционирования рецепторных систем насекомых.....	9
1.2 Процесс передачи оптического сигнала насекомым.....	21
Глава 2 Обоснование, разработка и исследование математической модели систем передачи оптического сигнала насекомым	30
2.1 Характеристики элементов систем передачи оптического сигнала насекомым	30
2.2 Математическое моделирование систем передачи оптического сигнала насекомым.....	50
2.3 Проверка адекватности математической модели передачи оптического сигнала насекомым.....	58
2.4 Расчет характеристик систем передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения.....	62
Глава 3 Повышение эффективности систем передачи оптического сигнала насекомым с применением метода внешней (оптической) фильтрации.....	80
3.1 Разработка математической модели систем передачи оптического сигнала насекомым с использованием метода внешней (оптической) фильтрации	80
3.2 Влияние внешней (оптической) фильтрации с применением прямоугольного фильтра и фильтров с верхней и нижней границей на эффективность систем передачи оптического сигнала насекомым	85
3.3 Влияние внешней (оптической) фильтрации с применением фильтров Лоренца и Гаусса на эффективность систем передачи оптического сигнала насекомым.....	90
Глава 4 Исследование и проектирование эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым	100
4.1 Теоретические аспекты расчета основных параметров систем передачи оптического сигнала насекомым	100

4.1.1 Механизированный комплекс для привлечения саранчи и переработки ее в кормовую массу для рыб и птиц.....	103
4.1.2 Роботизированный комплекс для борьбы с колорадским жуком	108
4.1.3 Способ биологической защиты от кровососущих насекомых и устройство для его реализации.	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	120
Приложение А Зависимости энергии излучения вольфрамовой лампы	139
Приложение Б Оптический шум естественного происхождения	142
Приложение В Программный комплекс для расчета характеристик оптического канала передачи информации	145
Приложение Г Паспортизация селективного источника оптического излучения	155
Приложение Д Проверка адекватности математической модели.....	157
Приложение Е Программный комплекс для расчета параметров оптического канала с внешней (оптической) фильтрацией	163
Приложение Ж Практическая значимость	167

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности систем управления биологическими объектами в силу сложности их структуры, наличия многочисленных внутренних механизмов управления и регулирования, локализованных на биологическом уровне, а также особенностей социального поведения невозможно без использования современных методов, базирующихся на математическом моделировании и компьютерных технологиях.

Существующие технические средства, основанные на применении физических, в частности, световых полей для воздействия на рецепторные системы объектов различной биологической природы (В.Н. Мельников, В.Р. Протасов, Г.П. Мазохин-Поршняков, N.J.Strausfeld, E. Reisenman и др.), обладают существенными недостатками, поскольку при их проектировании не учитываются такие факторы, как геометрические параметры системы, особенности ландшафта и широты местности, время года и суток, а также оптические характеристики органов зрения и других элементов экосистемы объекта управления.

Реализация подхода, основанного на анализе систем передачи оптического сигнала объектам управления биологической природы, в частности, насекомым, являющимся одним из ее элементов, невозможна без построения математической модели, позволяющей максимизировать критерий эффективности функционирования системы – ее производительность, в котором учтены все ранее перечисленные факторы.

Актуальность работы заключается в необходимости построения математической модели и разработке на ее основе эффективных устройств для передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения.

Целью работы является повышение производительности систем привлечения насекомых за счет совершенствования процесса передачи им оптического сигнала с использованием разработанной математической модели.

Объектом исследования и моделирования являются системы передачи оптического сигнала насекомым.

Предметом исследования является математическая модель систем передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения.

Для достижения поставленной цели работы необходимо было решить следующие **задачи**:

- проанализировать существующие системы передачи оптического сигнала насекомым;
- разработать математическую модель систем передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения с учетом характеристик среды их обитания;
- создать алгоритмы для расчета характеристик, а также структурной и параметрической оптимизации систем передачи оптического сигнала насекомым без- и с применением метода внешней (оптической) фильтрации;
- разработать комплексы проблемно-ориентированных программ для расчета характеристик эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым.

Методы исследования. Для построения математической модели использовались методы математического моделирования, физики, биофизики, численные методы, а также теории вероятности и математической статистики. Реализация алгоритмов выполнена на языке C# в среде программирования MS Visual Studio 2010.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- впервые обоснована, разработана и исследована математическая модель объекта, отличающаяся учетом шумов, создаваемых искусственными и естественными источниками электромагнитного излучения оптического диапазона;
- разработаны алгоритмы, отличающиеся использованием баз данных селективных источников, насекомых с различными типами зрения и

особенностей ландшафта местности для проведения вычислительного эксперимента с целью моделирования объекта исследования;

- с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента выполнено комплексное исследование объекта, в процессе которого учтены геометрические и физические параметры, особенности ландшафта и широты местности, время года и суток, а также вариативность: без- и с применением метода внешней фильтрации;
- создана теоретическая база для разработки высокопроизводительных систем передачи оптического сигнала биологическим объектам различной природы.

На защиту выносятся следующие основные положения:

- математическая модель объекта исследования;
- алгоритмы и комплексы проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента с целью исследования математической модели объекта;
- результаты исследования зависимостей характеристик объекта от геометрических и физических параметров, особенностей ландшафта и широты местности, времени года и суток;
- результаты комплексного исследования и проектирования эффективных технических систем для передачи оптического сигнала насекомым.

Практическая значимость.

1. На основании математических моделей и алгоритмов созданы комплексы проблемно-ориентированных программ:

- «Программный комплекс для расчета характеристик канала передачи оптической информации дневным летающим насекомым, № 2012612494.
- «Программный комплекс для расчета параметров канала с внешней фильтрацией при передаче оптической информации насекомым, № 2012610365.

2. Разработана и зарегистрирована полезная модель – «Устройство привлечения насекомых с использованием селективных источников электромагнитного излучения», № 93221.

3. Разработано и зарегистрировано изобретение – «Способ биологической защиты от кровососущих насекомых и устройство для его реализации», № 2417588.

Результаты диссертационной работы нашли свое применение в ряде практических разработок систем для передачи оптического сигнала насекомым и поддержаны следующими грантами:

- Программа развития инновационной инфраструктуры ВУЗа «Каспийский инновационно-технологический комплекс Астраханский государственный университет», 2010-2012г.
- УМНИК10; УМНИК11.

Отмечены дипломами конкурсов следующие работы:

- Лучший инновационный проект. Межрегиональный конкурс. Диплом за инвестиционно-привлекательный проект, 2011г.
- Диплом победителя встречи клуба инноваторов г. Астрахани, 2011г.

Апробация работы. По результатам исследования сделан ряд докладов на Международных и Всероссийских конференциях: «Инноватика – 10», г. Ульяновск; УКИ10 «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерений», г. Москва, 2010г.; «Московский международный конгресс. Биотехнология: состояние и перспективы развития», г. Москва, 2012г.; «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения УКИ12», г. Москва, 2012г.; «Проблемы математического моделирования, супервычислений и информационных технологий», г. Таганрог 2012г., а также на ежегодных научных конференциях АГУ.

Публикации. По теме диссертации опубликована 31 печатная работа, в том числе: 9 статей в журналах из списка, рекомендованного ВАК РФ, 16 в материалах Международных и Всероссийских научных конференций, 2 статьи в

зарубежных изданиях, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 1 патент на полезную модель, 1 патент на изобретение.

Диссертация соответствует пунктам 1, 4 и 5 паспорта специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Личный вклад автора и роль соавторов. Основные результаты работы, теоретические выкладки, приложения и выводы, выносимые на защиту, принадлежат лично соискателю. Роль соавторов в совместных публикациях заключается в следующем: Лихтер А.М. – постановка задачи исследования процесса передачи оптического сигнала объекту биологической природы, Джалмухамбетов А.У. – расчет распределения солнечной энергии на поверхности Земли в различное время года и суток, Рогожина Ю.Н. и Шагаутдинова И.Т. – расчет энергетических характеристик по математическим моделям, предложенным автором и интерпретация разработанных алгоритмов в программный код языков высокого уровня. Полученные ими результаты опубликованы в совместных статьях. Все соавторы принимали участие в обсуждении полученных патентов и свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы 148 наименований и 7 приложений. Общий объем диссертационной работы 172 страницы, 69 рисунков и 12 таблиц. К диссертации прилагаются акты о внедрении результатов исследований в производственный и учебный процесс, копии свидетельств патентов и свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Глава 1 Анализ систем передачи оптического сигнала объектам биологической природы – насекомым

1.1 Физические основы функционирования рецепторных систем насекомых

Жизнедеятельность насекомых сопровождается обработкой звуковой, обонятельной, зрительной и другой сенсорной информации, также одной из особенностей является их умение с помощью собственных рецепторов точно оценивать ситуацию. Благодаря своим рецепторам насекомые улавливают все разнообразие факторов внешней среды – различные вибрации (диапазон звуков), энергию излучения в форме света и тепла, механическое давление и другие. Все насекомые понимают показания своих дистанционных органов чувств (восприятие раздражения на расстоянии), такие как органы зрения, слуха и обоняния. Другие, такие, как органы вкуса и осязания, являются контактными и реагируют на воздействие при непосредственном соприкосновении.

Представление о многообразии видов чувствительности насекомых описано в следующей классификации сенсорных систем насекомых [51, 131]:

1. Механорецепция, восприятие насекомыми любых внешних и внутренних механических стимулов, например, прикосновение, движение воздуха или воды, звуковые и ультразвуковые колебания. Механорецепторная клетка улавливает колебания субстрата, амплитуда которого менее диаметра атома водорода. Механорецепторы насекомых различаются по своему уровню функциональной специализации:

- тактильная чувствительность (осязание),
- интеро- и проприорецепторная чувствительность (оценка механических состояний внутри тела и взаимное положения его частей),
- статическое чувство (равновесие в пространстве),
- сейсмическая чувствительность (восприятие сотрясений),

- слух (восприятие звуковых волн в воздушной, водной и твердых средах, а также звукового давления, градиента давления и смещение частиц среды. Звук обнаруживается посредством использования энергии движения частиц молекулярного уровня).

2. Терморцепция – способность воспринимать температуру окружающей среды и ориентироваться по температурному градиенту. Температурные рецепторы насекомых реагируют на конвекционное и лучистое тепло, т.е. энергию молекул нагретого воздуха, а свойство гигрорецепторов заключается в восприятии парообразной и капельножидкой влаги.

3. Хеморецепция – это восприятие химических стимулов поступающих из внешней среды, т.е вкус и запах (обоняние) насекомых. Для возбуждения обонятельной клетки достаточно контакта с одной молекулой вещества, у некоторых насекомых восприятие запахов происходит при присутствии в воздухе концентрации молекул (100-1000 на 1см^3). Вкус и запах улавливается путем утилизации потенциальной энергии, заложенной во взаимном притягивании и отталкивании частиц, образующих атом.

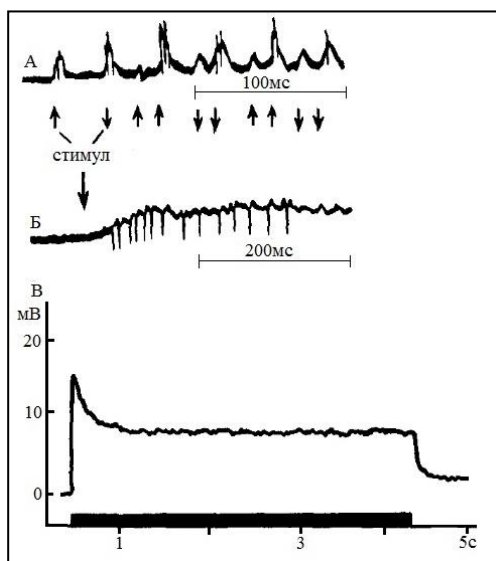
4. Зрительные клетки поглощают фотоны определенной энергии, отраженные окружающими предметами или исходящие непосредственно от источника, а также воспринимают лучистую энергию в определенном диапазоне длин волн и отличают свет от теплового воздействия лучей. Зрительную клетку фасеточного глаза может возбудить единичный фотон, кроме того, она обладает свойством анализа поляризации света и восприятия невидимых человеком лучей.

5. Реакция рецепторов на электрическое и магнитное поля:

- электрические факторы (восприятие электростатического заряда поверхности окружающих предметов, переменного низкочастотного электрического поля, ионизации и электропроводности воздуха),
- магнитные факторы (восприятие постоянного и переменного низкочастотного магнитного поля),
- электромагнитные колебания (изменение электрического и магнитного полей).

Осязание является одним из наиболее важных органов чувств для безопасности полета летающих насекомых, чтобы ощущать воздушные потоки, также у многих из них хорошо развито чувство гравитации. В роли основных факторов выступают освещенность и температура, например, в дневные часы активность комаров подавляет яркий свет освещенностью до $40 \cdot 10^3$ лк и температура выше 27°C . Причем тепло становится одним из стимулов, по которому кровососущие насекомые – комары осуществляют ориентацию на хозяина-прокормителя. Известно, что температурный градиент над поверхностью кожи человека изменяется от 32°C до 34°C на расстоянии более 40см, а конвекционные потоки теплого воздуха, идущие от человека, могут иметь локальные температурные различия на 1°C – 2°C , что используется комарами на небольших расстояниях. При соприкосновении тела насекомого с твердым субстратом или при перемещении в среде возбуждаются механорецепторы, но наиболее важную роль играют расположенные по поверхности всего тела трихоидные сенсиллы, они чаще всего соприкасаются с окружающими предметами и интенсивнее обдуваются во время полета [97, 117, 141].

Исследование трихоидных сенсилл у двукрылых и прямокрылых показало, что сгибание волоска вызывает появление отрицательного рецепторного



потенциала, амплитуда которого достигает несколько милливольт (Рисунок 1.1 А, Б). По характеру реакции сенсиллы разделяются на два вида: фазовые – потенциал которых возникает только при движении волоска (Рисунок 1.1 А) и тонические – потенциал которых регистрируется в течении всего периода стимуляции, т.е. при отклонении волоска от положения равновесия (Рисунок 1.1 Б) [51].

Рисунок 1.1 – Ответы трихоидных сенсилл на механические стимулы: А – расположенных на крыльях мухи; Б – расположенных на антеннах саранчовых; В – ветрочувствительных сенсилл саранчи (изменение рецепторного потенциала). По оси абсцисс – время, с; по оси ординат – амплитуда рецепторного потенциала, мВ

При достижении пороговой чувствительности рецепторным потенциалом, нейрон начинает генерировать импульсы, при этом частота импульсации увеличивается с ростом амплитуды, однако прямая зависимость между ними сохраняется только в определенных пределах.

Насекомые обладают очень разнообразными и совершенными рецепторами для восприятия механических стимулов, с помощью которых они воспринимают почти любые внешние и внутренние раздражения: прикосновение, движение воздуха или воды, силу гравитации, угловые ускорения, вибрации субстрата, звуковые и ультразвуковые колебания, смещения различных частей тела и внутренних органов и др. Без тактильной рецепции невозможны ни простые двигательные акты, ни сложные формы поведения, т.к. их функционирование обеспечивает координацию всех подвижных органов и тканей насекомого в состоянии покоя и во время любых двигательных актов.

При полете пчелы в магнитном поле Земли действуют закон электромагнитной индукции, открытый Майклом Фарадеем еще в XIX в., и сила Лоренца, отклоняющая любую движущуюся в магнитном поле заряженную частицу. Всякий электрический заряд при движении в магнитном поле создает вокруг себя изменяющееся и движущееся вместе с зарядом вихревое магнитное поле. Насекомое, взаимодействуя своими вихревыми полями с магнитными силовыми линиями Земли, подобно стрелке компаса ощущает направление своего полета за счет силы Лоренца, действующей на ее заряженное тело [65, 66, 127].

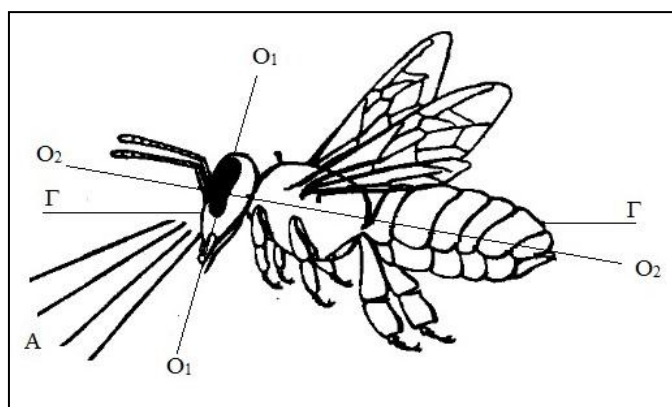


Рисунок 1.2 – Ориентация тела медоносной пчелы, летящей над горизонтальной поверхностью: А – зона глаза, которой пчела смотрит на близлежащие горизонтальные предметы; $O_1 - O_1$ – медиальная ось тела; $O_2 - O_2$ – продольная ось головы; $\Gamma - \Gamma$ – линия горизонта

Во время полета над горизонтальной поверхностью пчела удерживает медиальную ось тела примерно на 10° выше линии горизонта. Благодаря этому, а также постоянному наклону головы ротовыми частями несколько вперед она смотрит вниз вентральной третью поля зрения (Рисунок 1.2) [31] как раз приспособленной для опознавания предметов по форме, размеру и цвету.

Если пчела летит вдоль силовых линий магнитного поля Земли, то есть строго на север или юг, то она в это время не ощущает никакого изменения в пересечении магнитных силовых линий, так как по закону электромагнитной индукции перераспределение внутренних зарядов будет стремиться к нулю, и на пчелу будет действовать меньшая отклоняющая сила. Если же пчела будет лететь под углом к силовым линиям магнитного поля Земли, то это взаимодействие будет ощущаться ею тем больше, чем больше будет этот угол [31].

Многие насекомые обладают более или менее специализированными органами, воспринимающими звуковые волны в воздушной, водной и твердой средах. В естественных условиях слуховые органы насекомых могут реагировать на разнообразные звуки как биотического, так и абиотического происхождения, но в подавляющем большинстве случаев их основная функция состоит в восприятии внутривидовых коммуникационных сигналов.

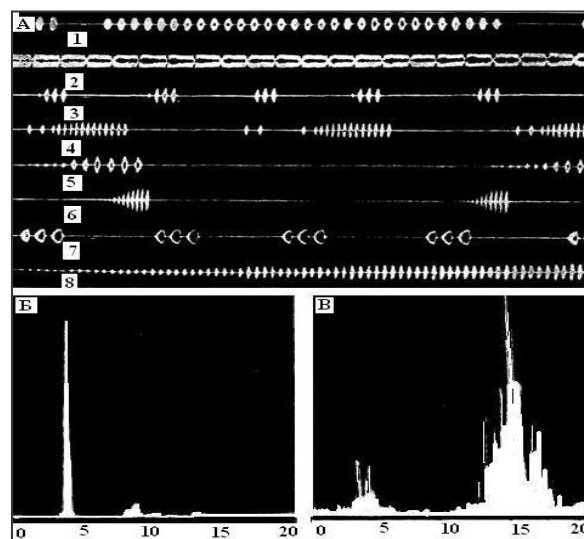


Рисунок 1.3 – Физические характеристики звуковых сигналов прямокрылых насекомых: А) осциллограммы призывных сигналов сверчков; Б-В – амплитудно-частотные спектры: Б) призывного сигнала сверчка; В) прекопуляционного сигнала сверчка. Отметка времени $t = 100\text{мс}$

Несмотря на большое разнообразие конкретных проявлений акустического поведения, насекомые чаще всего используют слуховые анализаторы для решения двух основных задач: опознавания видоспецифических или биологически важных сигналов и локализации источника звука (Рисунок 1.3) [51].

Абсолютная чувствительность большинства слуховых рецепторов насекомых невелика: пороги реакции, регистрируемые обычными методами, лежат в пределах от 30 до 40 дБ. Результаты анализа этих звуков у некоторых видов насекомых свидетельствует о том, что наиболее низкочастотные звуки издают стрекозы, бабочки и некоторые прямокрылые (5-50 Гц). В призывных сигналах сверчков и медведок основная частота лежит в диапазоне (1,5-8 кГц), а у кузнечиков она смещена в область ультразвука. Для двукрылых насекомых, к которым относятся комары, частота, по-видимому, служит единственным критерием, по которому они могут различать звуки, возникающие в полете. Хорошо известно, например, что самцов комаров привлекают тональные сигналы, если их частота приближается к частоте биения крыльев летящей самки. Звуковые сигналы, издаваемые большинством насекомых, в том числе кровососущими особями, смещены в область ультразвука, например, писк комара составляет 10кГц [111, 141].

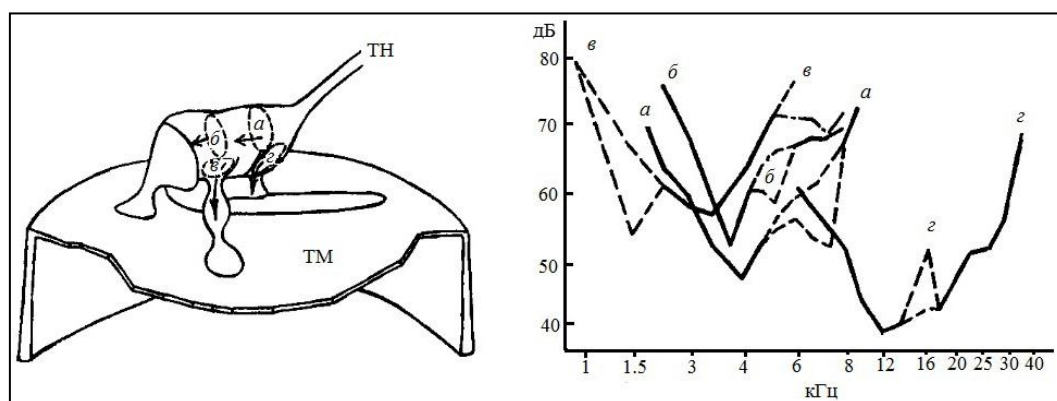


Рисунок – 1.4 Строение и функциональные характеристики тимпанального органа саранчи: А – схема строения тимпанального органа: а – г – четыре группы хордотональных сенсилл; ТН – тимпанальный нерв; ТМ – тимпанальная мембрана.

Б – частотно-пороговые характеристики четырех групп хордотональных сенсилл в изолированном тимпанальном органе. По оси абсцисс – частота звука, кГц; по оси ординат – его интенсивность, дБ

У саранчовых в тимпанальных органах выделены четыре группы сенсилл, обладающих разными функциями (Рисунок 1.4) [97]. Три из них (*a*, *b*, *c*) реагируют преимущественно на звуки низких частот – от 1 до 10кГц, а одна (*d*) воспринимает высокочувствительные колебания в диапазоне от 6 до 40кГц. При этом оптимальная чувствительность составляет 12кГц.

Рассматривая энергетические характеристики акустического поля, можно выделить следующие показатели сигнала, воздействующего на органы слуха насекомого: звуковые колебания, смещение или градиент давления, смещение частиц среды. При этом акустический сигнал можно представить в виде интеграла Фурье [133]:

$$p(t) = \int_{-\infty}^{\infty} a(f) \cos(2\pi \cdot ft + \varphi_0) df, \quad (1.1)$$

где $a(f)$ – амплитудно-частотный спектр, φ_0 – начальная фаза, t – время, f – частота.

Эксперименты, проведенные в лабораторных условиях показывают, что насекомые не только отличают видоспецифические сигналы от других звуков, предъявляемых последовательно, но и опознают их при одновременном звучании, т.е. выделяют полезный сигнал на фоне шума. Собственные шумы атмосферы создаются такими источниками звукового поля как, например, ветер, шелест листьев деревьев, раскаты грома и т.д.

Известно, что насекомые обладают очень высокой чувствительностью к запахам, например, кровососущие насекомые могут находить свою жертву по тепловому излучению тела и выдыхаемому углекислому газу, так как запах они способны уловить на расстоянии 50м от источника. Доказано экспериментально, что пороги возбуждения для большинства запахов у насекомых близки к тем, которые наблюдаются у человека и позвоночных животных. Если пороговая концентрация запаха аммиака для человека равна $1,7 \cdot 10^{-6} M/l$, то для мухи *Phormia regina* она составляет около $2,0 \cdot 10^{-6} M/l$.

Таблица 1 – Значение пороговых концентраций обонятельных стимулов, М/л

Объект	Ионон	Фенилпропиловый спирт	Скатола	Масляная кислота	Капроновая кислота
Человек	5×10^{-13}	1.1×10^{-11}	3×10^{-12}	1.1×10^{-11}	3.8×10^{-10}
Пчела	2.5×10^{-11}	3.8×10^{-12}	2.3×10^{-8}	1.7×10^{-9}	3.6×10^{-10}
Собака	5×10^{-16}	–	–	1.5×10^{-17}	6×10^{-18}
Угорь	9.7×10^{-16}	3.7×10^{-18}	–	–	–

Человек более чувствителен к запаху бензола (пороговые концентрации равны $6,8 \cdot 10^{-8} \text{ М/л}$ и $6,4 \cdot 10^{-6} \text{ М/л}$) и запаху этанола ($5,4 \cdot 10^{-6} \text{ М/л}$ и $7,2 \cdot 10^{-3} \text{ М/л}$). Ко многим сильно пахнущим соединениям чувствительность насекомых меньше, чем у других животных (Таблица 1) [51].

Исследования восприятия влажности окружающего воздуха показали, что многие насекомые хорошо различают степень увлажнения воздуха и могут ориентироваться по градиенту концентраций водяного пара. Так, комары избегают очень высокой влажности воздуха и в диапазоне 95–85% относительной влажности различают ее с точностью до 1%. В диапазоне 85–30% относительной влажности чувствительность комаров падает до 40%.

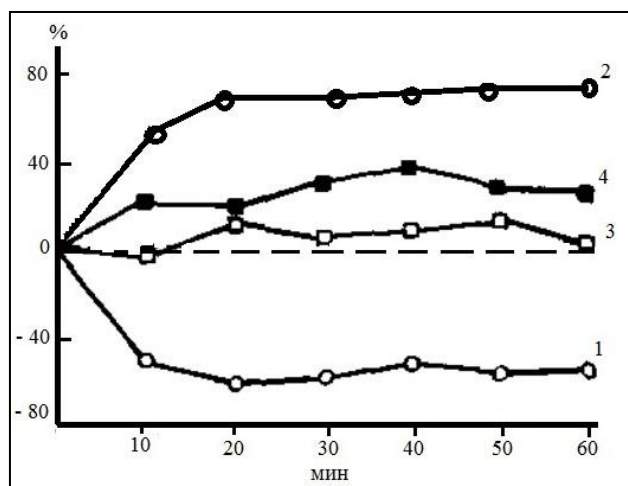


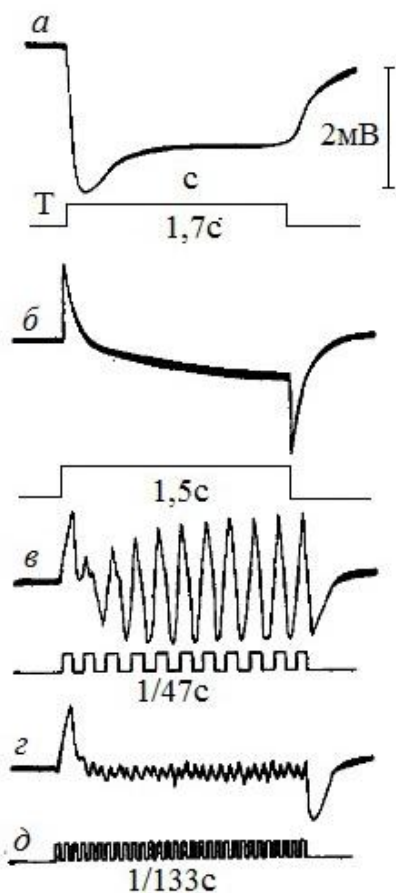
Рисунок 1.5 – Реакция мухи *Drosophila melanogaster* на влажность в альтернативной камере при перепаде влажности от 77 до 100%: 1 – нормальные особи; 2 – мухи, находящиеся в сухом воздухе; 3, 4 – мухи с удаленными антеннами. По оси абсцисс – время в минутах, мин; по оси ординат – интенсивность распределения во влажную камеру, %

Муhy *Drosophila melanogaster* альтернативной камере с относительной влажностью 100% и 77% предпочитают низкую влажность (Рисунок 1.5) [51],

если же мух подержать в сухом воздухе 5 часов при температуре 25°C , то они будут предпочитать влажный воздух.

Сейчас можно считать твердо установленным, что активность лета насекомых непосредственно зависит от зрения. При этом насекомые без разбора летят на всякий предмет или источник света, выделяющейся на фоне окружающего ландшафта и только в непосредственной близости от привлечшего их объекта включаются другие рецепторы, воспринимающие химические, термические и другие воздействия. Они подлетают к любому выделяющемуся на общем фоне предмету и, в зависимости от исходящего от него раздражителей, остаются на нем или покидают его. С наступлением полной темноты ориентирующая роль зрения полностью исключается [55, 147].

В зрительной клетке под действием света возникает рецепторный потенциал (Рисунок 1.6), совокупность которых образует основу электроретинограммы (ЭРГ), регистрируемой на роговице в виде отрицательного потенциала, сохраняющегося в течении всего периода засвета глаза (Рисунок 1.6, а). Быстрый



двухфазный компонент ЭРГ, который наблюдается у мух, бабочек, стрекоз и некоторых других насекомых, имеет ганглиозное происхождение (Рисунок 1.6, б) [51].

Рисунок 1.6 – Электроретинограммы: а – комара; б, в, г – мухи. ЭРГ на в, г получены при мелькающем освещении. Нижние кривые – отметки раздражения; частота стимуляции обозначена на рисунке; с – свет, т – темнота.

Зрение комара сдвинуто в диапазон инфракрасного излучения, а у мошек отсутствует ночное зрение, что и определяет суточный ритм этих кровососущих насекомых. Изучение функций сенсорных систем кровососущих насекомых и влияние абиотических и биологических факторов среды на их жизнедеятельность лежит в основе разработки

устройств для уничтожения комаров [56, 141].

Способность воспринимать информацию извне зависит как от остроты зрения, или разрешающей способности, характеризует способность глаза различать степень расчлененности объектов, в том числе отличать две точки от одной, более крупной, а также от пороговой чувствительности, которая является индивидуальной для каждого типа зрения [132].

Для того чтобы нормально видеть, различать многообразие окружающих предметов, орган зрения должен иметь высокую контрастную чувствительность [51]:

$$W = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

где ΔI – минимальное визуально контролируемое изменение интенсивности света, а I – исходная интенсивность света. У насекомых, она достигает 5% и даже 1%. Это значит, что, например, пчелы или мухи замечают разницу в интенсивности света на 5% и меньше. Общая же освещенность в естественных условиях изменяется в громадном диапазоне: от $100 \cdot 10^3$ лк в летний полдень до 0,2 лк при полной Луне и $50 \cdot 10^{-5}$ лк безлунной ночью. В природе насекомых окружают почти всегда несамосветящиеся объекты, которые только отражают свет, но такие объекты отличаются по интенсивности отражения не более чем в 20-30 раз, и именно такой сравнительно узкий перепад яркостей должен замечать их глаз. Последнее достигается тем, что амплитудные характеристики реакции фоторецепторов приходятся наиболее крутой частью как раз на такой узкий перепад интенсивностей света.

Электромагнитное излучение играет важную роль в процессе передачи оптического сигнала насекомым, так как их органы зрения имеют селективную восприимчивость к электромагнитным волнам различного диапазона: инфракрасные, ультрафиолетовые и т.д.

К естественным источникам электромагнитного поля относятся электрическое и магнитное поле Земли, космические источники радиоволн

(Солнце и другие звезды), процессы, происходящие в атмосфере Земли, например, разряды молнии, колебания в ионосфере [100].

Для описания характеристик электромагнитного излучения оптического диапазона, распространяющегося в атмосфере Земли с учетом процессов поглощения, рассеяния, поляризации и дисперсии используются уравнения Максвелла [42]:

$$\begin{aligned}
 \nabla B &= 0, \\
 |\nabla E| &= -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial B}{\partial t}, \\
 \nabla D &= 4\pi\rho, \\
 |\nabla H| &= \frac{4\pi}{c} j + \frac{1}{c} \cdot \frac{\partial D}{\partial t}, \\
 D &= \varepsilon E, \\
 B &= \mu H, \\
 j &= \sigma E,
 \end{aligned} \tag{1.3}$$

где D – электрическая индукция, E – вектор напряженности электрического поля, B – магнитная индукция, H – напряженность магнитного поля, j – полный ток, σ – удельная электрическая проводимость, ε и μ – относительная диэлектрическая и магнитная проницаемость среды.

При прохождении света через неподвижную границу (атмосферу) двух сред (космос – земная поверхность) к соответствующим характеристикам падающей волны относятся: амплитуда, фаза и поляризация отраженной и преломленной световой волны, которые связаны формулами Френеля [94]:

$$\begin{aligned}
 R_s &= -\frac{\sin(\varphi - \varphi'')}{\sin(\varphi + \varphi'')} A_s, \\
 R_p &= \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \varphi'')}{\operatorname{tg}(\varphi + \varphi'')} A_p, \\
 D_s &= \frac{2 \sin \varphi'' \cos \varphi}{\sin(\varphi + \varphi'')} A_s, \\
 D_p &= \frac{2 \sin \varphi'' \cos \varphi}{\sin(\varphi + \varphi'') \cos(\varphi - \varphi'')} A_p
 \end{aligned} \tag{1.4}$$

Электрический вектор падающей волны раскладывается на (Рисунок 1.7) [94] составляющую с амплитудой A_p , параллельную плоскости падения, и

составляющую с амплитудой A_s , перпендикулярную плоскости падения. Аналогично раскладываются амплитуды отраженной волны на составляющие R_p и R_s , преломленной волны – на D_p и D_s , φ и φ'' – углы падения и преломления.

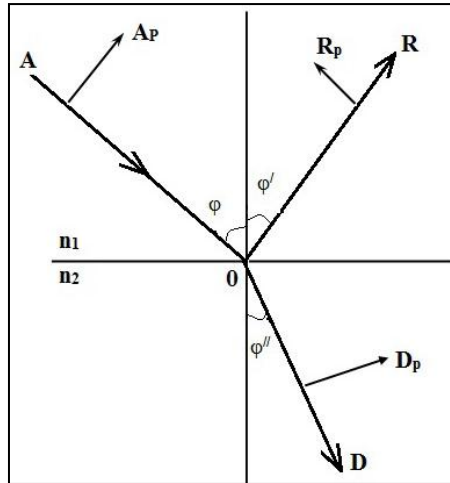


Рисунок 1.7 – Прохождение света через границу раздела двух сред

Энергетические потери оптического сигнала из-за аэрозольного и молекулярного рассеяния являются одним из главных факторов, определяющего искажение оптического сигнала, такое явление называется рэлеевским рассеянием в атмосфере. Выражение для коэффициента рассеяния в газах имеет вид [20]:

$$\sigma_p(\lambda) = \frac{8\pi^3(n-1)^2}{3N\lambda^4}, \quad (1.5)$$

где N – число молекул в единице объема, n – показатель преломления среды, λ – длина волны излучения, δ – фактор деполаризации рассеянного излучения.

Наиболее часто встречающиеся в атмосфере аэрозоли представляют собой капли воды в жидком и твердом состояниях, объединяемые общим понятием – гидрометеоры (дождь, туман, снег и т.д.). Световая волна, распространяющаяся в земной атмосфере, кроме энергетических потерь, испытывает флуктуации амплитуды и фазы, обязанные своим происхождением случайному пространственно-временному распределению показателя преломлений воздуха. Рассеяние оптических волн на случайных неоднородностях показателя преломления воздуха приводит к значительным по мощности флуктуациям интенсивности распространяющегося в атмосфере оптического излучения [118].

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что по количеству и многообразию получаемой информации извне зрительный анализатор превосходит все остальные органы чувств, это говорит о важности оптического канала при передаче сигнала насекомым с различными типами зрения, а также о необходимости учета особенностей их среды обитания.

1.2 Процесс передачи оптического сигнала насекомым

В настоящее время существует недостаточная изученность реакции насекомых на электромагнитное излучение оптического диапазона, влияния различных геометрических и физических параметров на их привлечение, а также отсутствие методов проектирования эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым. Это, в свою очередь, побуждает многих ученых заниматься существующим вопросом, что делает данное исследование актуальным.

Как показывает анализ российской и зарубежной литературы [52, 57,114,110], несмотря на широкое использование привлекающего действия света в электрофизических устройствах, механизм, объясняющий это явление, остается до конца не выясненным. По мнению многих исследователей, теория, вскрывающая механизм прилета насекомых на свет должна объяснить следующие факты:

- почему привлекательной способностью обладают ультрафиолетовые источники света;
- почему привлекающее действие оказывают не только источники света, но и подсвеченные экраны.

Согласно теории U. Greggers (1985г.) ночной прилет насекомых на световой аттрактант рассматривается как проявление фототропической реакции, в основе которой лежит восприятие света как сигнала свободного пространства. Допускают, что прилет насекомых к свету лампы является проявлением положительного фототаксиса [127].

В теории N.J.Strausfeld (1995г.) привлечение насекомых объясняется нарушением ориентации и координации движения насекомых вследствие ослепляющего действия источника на фоне низкой окружающей яркости [129].

Выдающимся отечественным ученым В.Б. Пенчевым (1978г.) была сформулирована теория о том, что наибольшую привлекаемость для насекомых-вредителей должно иметь то излучение, которое обладает более близким к спектральному составу излучений ночного неба распределением. По его мнению, большей эффективностью будет обладать тот аттрактант, форма кривой спектральной характеристики которого будет в наименьшей степени отличаться от спектрального излучения неба [32, 106].

В одной из существующих теорий (А. Буденброк, 1972г.) объясняется прилет насекомых на основе положительного фототаксиса, который заключается в изменении ориентации главной оси тела по отношению к источнику раздражения. Согласно этой теории, насекомые механически, помимо своей «воли» оказываются у источника излучений [52].

Американским ученым R. Mencell (2001г.) была предложена гипотеза об особенностях восприятия визуальной информации насекомыми с учетом разницы в длине волны света испущенного, от источников света или отраженного от объектов. В естественных условиях общее различие спектрального состава света основано на том, что свет, идущий непосредственно от источника света, например, Солнце, Луна и небо, характеризуется относительно высоким содержанием коротких волн ($\lambda < 450\text{nm}$), а в свете, отраженном от природных поверхностей, например, листвы и почвы, доминируют волны больше 450nm [129].

И все же все эти теории не объясняют, почему насекомые летят в зону оптического излучения, где параметры электромагнитного излучения оптического диапазона резко отличаются от характеристик открытого пространства, а также особенности поведения, также, как потеря активности вблизи источника оптического излучения, более сильная реакция на коротковолновое излучение и др. [112,143]. Эти утверждения легли в основу опытов, проведенные Г.П. Мазохиным-Поршняковым, суть которых заключалась в отлавливании насекомых, привлекаемых источниками света со сменными фильтрами (Таблица 2) [53].

Таблица 2 – Привлекающее действие источника излучения с оптическими фильтрами на насекомых различных классов

Насекомые	Продолжительность лова		
	9 ночей, 19-23 и 25-28 июня		
	ПРК-4 с увиолевыми фильтрами	ПРК-4 с желтыми фильтрами	200 W лампа накаливания
Sphingidae (Бражники)	23	3	0
Noctuidae (Совки)	768	77	55
Microlepidoptera (Бабочки)	1682	500	335
Cicindela (Скакуны)	2	2	1
Heteroceridae (Пилоусы)	491	7	5
Melolonthinae (Хрущи)	7	7	4
Pentodon (Пантодоны)	28	4	0
Oryctes (Дупляки)	9	0	0
Corixidae (Гребляки)	1985	195	49
Reduviidae (Хищнецы)	31	7	6
Ophioninae (Наездники)	2	2	4
Braconidae (Бракониды)	629	538	291
Dolichopodidae (Зеленушки)	630	46	15
Tahanidae (Комары)	18	4	1
Ephemeroptera (Поденки)	89	13	11
Trichoptera (Ручейники)	692	106	46
Общее количество	7086	1511	834

Из анализов опытов Г.П. Мазохина-Поршнякова следует, что между количеством привлекаемых ловушками насекомых с тем или иным типом зрения и используемым источником электромагнитного излучения существует определенная связь. Это позволяет сделать вывод, что при оптимальном проектировании селективного источника электромагнитного излучения оптического диапазона можно существенно повысить производительность применяемых ловушек.

Современные ресурсы науки позволяют уделить особое внимание нехимическим методам борьбы с насекомыми-вредителями, то есть множеству технических систем и специальной аппаратуры по защите сельскохозяйственных и культурных растений, а также устройствам, улучшающим комфортность пребывания людей на открытой местности (Таблица 3) [7,9-11, 14, 24, 28, 63, 91, 92, 98, 119, 125]. Наиболее существенным преимуществом этих способов борьбы с насекомыми-вредителями является уменьшение остаточных количеств ядохимикатов и их метаболитов в продукции, а также отсутствия влияния на организм человека.

Таблица 3 – Технические системы передачи оптического сигнала насекомым

№ п/п	Название патента	Авторы, номер, дата регистрации патента	Реферат
1	Световая ловушка для насекомых	Быков П.А., Быков О.П., Першина Е.П.; патент на изобретение, 21.11.1991г./30.04.1994г., № 2011243, РФ.	Использование в средах для уничтожения насекомых. Световая ловушка. Насекомые, привлеченные светом источника электромагнитного излучения, засасываются вентилятором в трубопровод и попадают в емкость с водой, вследствие чего теряют способность к полету – погибают.
2	Устройство для уничтожения летающих насекомых	Меликов Э.Н. Многоотраслевая научно-производственная ассоциация «Новид»; патент на изобретение, 25.04.1991г./30.11.1994г., № 2023391, РФ.	Использование в сельском хозяйстве, в частности, дезинсекция бытовых и паразитирующих насекомых. В процессе эксплуатации насекомые, привлекаемые светом лампы летят к сеткам, подключенным к клеммам источника высокого напряжения, своими телами замыкают цепь и

			погибают под действием высокого напряжения.
3	Устройство для уничтожения летающих насекомых	Газалов В.С., Куприенко А.Г., Щербаева Л.П., Бабаева Р.Д., Волощук Н.Н. Азово-Черноморский институт механизации сельского хозяйства; патент на изобретение, 05.05.1991г./15.05.1994г., № 2012202, РФ.	Использование в сельском хозяйстве, в частности, в системах защиты садов, лесных насаждений и животных от насекомых-вредителей. Насекомое, привлекаемое источником оптического излучения в виде люминесцентной лампы, попадает в приемник с вентилятором и засасывается внутрь блока уничтожения.
4	Устройство для уничтожения вредных насекомых.	Коляскина Т.Н., Скоробогатова Ю.В., патент на изобретение; 20.10.1992г./ 15.06.1994г., № 2013954, РФ.	Использование: санитария и бытовая техника, а именно средства для ловли и истребления насекомых. Под колпаком располагается источник излучения, под источником излучения расположены в одной плоскости коаксиально друг к другу разнополярные электроды, связанные с источником сетевого напряжения. Пролетая между электродами насекомые уменьшают сопротивление между ними, происходит пробой воздушного пространства между электродами, в процессе чего насекомое уничтожается.
5	Ловушка для насекомых	Козаржевская Э.Ф., Князатова В.И., Главный ботанический сад РАН; патент на изобретение, 13.02.1998г./10.01.2000г., № 98104378.	Ловушка для насекомых, содержит плоскую основу, имеющую цветное покрытие, к которому уничтожаемые насекомые чувствительны (покрытие имеет желтый цвет с коломитрической характеристикой в диапазоне длин волн от 571нм до 586нм и коэффициентом отражения до 80% и/или синий цвет с коломитрической характеристикой в диапазоне длин волн от 440нм до 460нм и коэффициентом отражения до 75%) при этом на цветное

			покрытие нанесен энтомологический, бесцветный, прозрачный клей.
6	Световая ловушка для насекомых	Возмилов А.Г., Суринский Д.О., Ракецкий С.П., Михайлов П.М., Козлов А.В., ФГОУ ВПО «Челябинский государственный агроинженерный университет»; патент на полезную модель, 27.04.2009г./20.08.2009г., № 85799, РФ.	Световая ловушка для насекомых состоит из источников света – светодиодов (длина волны излучения составляет от 350нм до 360нм). Корпус ловушки, выполнен в форме полого цилиндра с конусными входными отверстиями, стенки которых являются направляющими к источнику света ловушки.
7	Устройство для защиты от кровососущих насекомых	Рыбкин А.П., Казаков В.П., патент на изобретение, 03.01.2001г./27.05.2003г., № 111391, РФ.	Устройство относится к области защиты человека и его окружающей среды от кровососущих насекомых, например, комаров, мошек, москитов и др. Устройство для защиты содержит импульсную лампу со световым фильтром и источник постоянного светового излучения. Насекомое, привлекаемое тепловым излучением и светом точечного источника, движется к центру ловушки. При попадании насекомого в зону действия, импульсная лампа выдает световую вспышку высокой интенсивности, тем самым вызывая временный паралич насекомого и падение его на разогретый диск, прикрывающий нагревательный элемент.
8	Ловушка для летающих насекомых	Ирка Д.А., Лепетухин М.В., Ирка Е.А., патент на изобретение, 24.03.2003г./20.09.2004г., № 2234130, РФ.	Изобретение относится к сельскохозяйственному производству, преимущественно к животноводству. В ловушке устанавливается источник света с параболическим отражателем, тем увеличивая эффективность процесса привлечения насекомых различных видов.
9	Устройство для уничтожения насекомых	Андреевский А.С., патент на полезную модель, 30.05.2007г./10.10.2008г., № 66889, РФ.	Устройство для уничтожения насекомых, включая комаров, содержит электрическую цепь, аккумуляторную батарею, лампу освещения, излучатель высокого напряжения, алюминиевые сетки, которые подключены к

			источнику высокого напряжения.
10	Способ привлечения насекомых-вредителей к ловушке и устройство для его осуществления	Богатырев Н.И., Газалов В.С., Блягоз А.М., Оськин А.С., Баракин Н.С., ФГОУ ВПО «Краснодарский государственный аграрный университет»; 11.12.2007г./27.05.2009г., № 221345, РФ.	Изобретение относится к области сельского хозяйства, в частности, для защиты садов и лесных насаждений от насекомых-вредителей и направлено на увеличение эффективности и количества привлечения насекомых различных видов. Способ привлечения насекомых при помощи устройства для привлечения включает воздействие на глаз насекомого излучением в оптическом диапазоне длин волн. Воздействие осуществляется поочередно смешиваемым спектром видимых излучений синего, зеленого, красного и желтого диапазонов.
11	Мобильная электрооптическая установка для уничтожения летающих насекомых	Богатырев Н.И., Газалов В.С., Блягоз А.М., Оськин А.С., Баракин Н.С., ФГОУ ВПО «Краснодарский государственный аграрный университет»; 25.12.2007г./10.04.2009г., № 223445, РФ.	Изобретение относится к области сельского хозяйства, в частности, для защиты садов и лесных насаждений от насекомых-вредителей. Установка содержит сборник насекомых, источник привлекающего оптического излучения (светодиодные линейки, состоящие из ультрафиолетового, синего, зеленого, желтого, красного и белого ультраярких светоизлучающих диодов), поражающее устройство – магнетрон.

В основе работы всех анализируемых устройств лежит положительный фототаксис насекомых на внешний раздражитель, в частности, электромагнитное излучение оптического диапазона, то есть реализуется принцип обратной связи в живых системах. Рассматриваемые технические системы используют процесс передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения, то есть представляют собой систему, в которой объектом управления является биологический объект, в частности, различные насекомые, а источником управления – селективный источник излучения [57, 121].

Однако рассмотренные системы обладают рядом недостатков:

- небезопасная эксплуатация, так как составляющим элементом во многих устройствах является неизолированный источник высокого напряжения;
- существующие устройства являются неселективными, что отрицательно влияет на состояние экосистемы в целом;
- отсутствует математическая модель процесса передачи оптического сигнала насекомым с разными типами зрения;
- проектирование систем осуществляется без учета не только селективных свойств органов зрения насекомых, но также особенностей ландшафта местности, времени года и суток и спектральной излучательной способности источника электромагнитного излучения оптического диапазона;
- не разработана методика расчета эффективных параметров системы, что ведет к снижению производительности установок.

Рассматривая процесс передачи оптического сигнала насекомым необходимо учитывать различные формы реакции зрения насекомого на селективные источники электромагнитного излучения оптического диапазона с учетом всех внешних мешающих факторов и, как следствие, выявлять при этом новые закономерности их поведения.

Выводы по первой главе:

1. Рассмотрены физические основы функционирования рецепторных систем насекомых; показано, что выбор рабочих параметров источников световых полей является одной из важных задач при разработке эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым.
2. Для описания процесса передачи оптического сигнала насекомым обосновано использование основных законов электромагнитного излучения, распространяющегося в атмосфере Земли, с учетом явлений поглощения, рассеяния, поляризации и дисперсии.
3. Проанализированы отечественные и зарубежные литературные источники, рассматривающие основные теории положительной реакции насекомых на электромагнитное излучение оптического диапазона. Приведен обзор

технических устройств, в основе работы которых лежит использование положительного фототаксиса.

4. Отсутствует математическая модель и методика расчета рабочих параметров эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым.

Глава 2 Обоснование, разработка и исследование математической модели систем передачи оптического сигнала насекомым

2.1 Характеристики элементов систем передачи оптического сигнала насекомым

При анализе объекта исследования – систем передачи оптического сигнала насекомым, рассмотренных в первой главе, и на основе системного подхода (Рисунок 2.1) сформулирована задача выбора эффективных параметров в виде: найти такой вектор параметров:

$$\vec{P}^* = \vec{P}(x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_m; b_1, b_2, \dots, b_k), \quad (2.1)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_m$ – соответственно регулируемые (высота над поверхностью Земли, расстояние до объекта управления, температура нити накала вольфрамовой лампы, параметры оптических фильтров, время года и суток) и нерегулируемые (чувствительность органа зрения насекомого, излучательная способность селективного источника, высота полета насекомого) переменные; $b_1, b_2, \dots, b_k$ – ослабление оптического излучения атмосферой, мощность солнечного и лунного излучения в различное время года и суток, спектральные коэффициенты отражения природных поверхностей, при котором критерий эффективности системы передачи оптического сигнала насекомым – ее производительность N – принимает максимальное значение:

$$N(\vec{P}^*) = N_{\max}. \quad (2.2)$$

Производительность установки (количество пойманных в ловушку насекомых) определяется выражением:

$$N = K \cdot \Pi \cdot \tau, \quad (2.3)$$

где K – некоторый постоянный для данной ловушки коэффициент; $\Pi = \Delta f \cdot \log_2(1 + C / \Pi)$ – пропускная способность канала передачи информации, с^{-1} ;

C – сигнал, Вт; $Ш$ – шум, Вт; $C/Ш$ – функция «отношение сигнал/шум»; Δf – полоса частот, Гц воспринимаемая органом зрения насекомого; τ – время работы установки, с [15, 134].

В этом случае решение задачи выбора эффективных параметров объекта исследования сводится к максимизации пропускной способности канала передачи информации I и значения функции «отношение сигнал/шум» $C/Ш$.

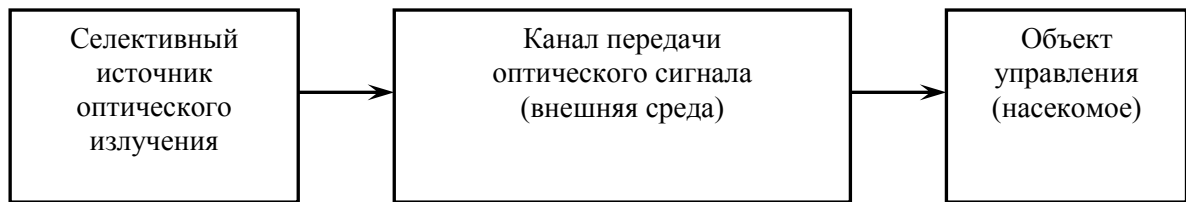


Рисунок 2.1 – Структурная схема системы для передачи оптического сигнала насекомым

Для решения существующей актуальной проблемы рассмотрены ранее разработанные теории управления биологическими объектами с высокой степенью неопределенности поведения (В.Н. Мельников, А.М. Лихтер и др.) [44, 58] в основе которых лежат методы энергетической и информационной оценки действия физических полей различной природы. В частности, при действии на объект управления сложного по составу светового сигнала необходимо учесть не только характеристики поля, но и спектральную чувствительность органа восприятия оптического сигнала самим объектом, а также селективность характеристик поглощения и отражения оптического сигнала в экосистеме насекомого [136].

Интенсивность ощущения раздражителя связана с эффективными величинами, измеренными в той или иной системе единиц. В физиологии, кроме эффективных величин F , которые характеризуют интенсивность действия сигнала на биологический объект, введен показатель, который определяет интенсивность ощущения биологическим объектом Φ . Обычно считается, что связь между F и Φ подчиняется логарифмическому закону Вебера-Фехнера [45, 105]:

$$\Phi = k_{\phi} \ln F, \quad (2.4)$$

где k_{ϕ} – коэффициент пропорциональности, связывающий интенсивность поля с интенсивностью ощущения.

Одной из основных характеристик при передаче оптического сигнала насекомым является пропускная способность канала передачи информации [15, 45]:

$$\Pi = \Delta f \cdot \log_2(1 + \eta), \quad (2.5)$$

где $\eta = C/\Pi$ – функция «отношение сигнал/шум».

При увеличении C/Π в k_{12} раз получим [45]:

$$F(k_{12}; \eta_1) = \frac{\Pi_2}{\Pi_1} = \frac{\ln(1 + k_{12}\eta_1)}{\ln(1 + \eta_1)}, \quad (2.6)$$

где $k_{12} = \eta_2/\eta_1$.

Анализ функции (Рисунок 2.2) и выражений (2.7), (2.8), и (2.9) показал, что она имеет наибольшую чувствительность к изменению C/Π в области его малых значений, а также, пропускная способность канала существенно растет даже при сравнительно небольших изменениях C/Π и при его малых начальных значениях [18, 45].

$$\begin{cases} \lim_{\eta_1 \rightarrow 0} F(k_{12}; \eta_1) = k_{12} \\ \lim_{\eta_1 \rightarrow \infty} F(k_{12}; \eta_1) = 1 \end{cases} \quad (2.7)$$

$$\bar{F}_{[a,b]}(k_{12}) = \frac{1}{b-a} \int_a^b F(k_{12}; \eta_1) d\eta_1 \quad (2.8)$$

$$\lim_{\eta_1 \rightarrow 0} F'_{\eta_1}(k_{12}; \eta_1) = -\frac{k_{12}(k_{12}-1)}{2} \quad (2.9)$$

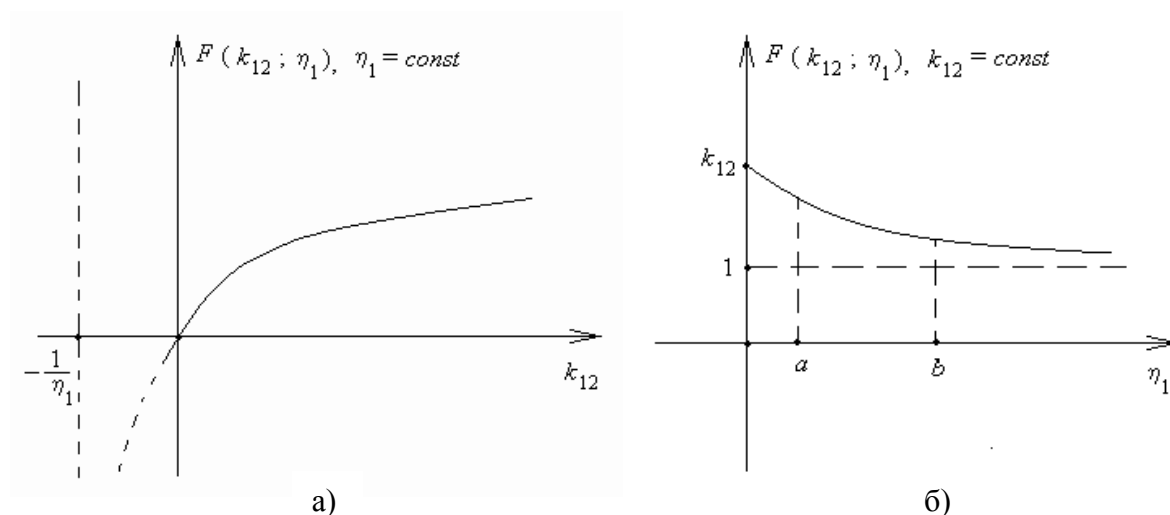


Рисунок 2.2 – Зависимость пропускной способности канала передачи оптического сигнала насекомым от изменения функции «отношение сигнал/шум»:

а) при $\eta_1 = \text{const}$; б) $k_{12} = \text{const}$

Рассмотрим характеристики элементов системы передачи оптического сигнала насекомым.

Селективный источник оптического излучения. Для расчета параметров любого источника излучения пользуются основными энергетическими характеристиками: энергией излучения, потоком излучения, энергетической яркостью, энергетической светимостью, энергетической освещенностью, а также спектральным составом и пространственной диаграммой излучения [29, 145].

Всякое излучение, источником которого является тепловая энергия излучающего тела, принято называть тепловым излучателем. Вращение молекул вокруг своей оси создает длинноволновое излучение дальней инфракрасной области (ИК), колебание ядер молекул создают ИК-А и ИК-В излучения, а электронное возбуждение – видимое и УФ излучение, связанное с очень высокой температурой тел. Таким образом, от величины температуры зависит не только величина потока излучения, но и его спектральный состав [1, 107].

Окружающие нас тела, имеющие одну и ту же температуру, могут обладать различной энергетической светимостью, если они имеют различные коэффициенты поглощения. Все тела делятся на три класса: черные, серые и

избирательные (селективные). При решении ряда задач в качестве эталонных источников излучения используют черные тела, нагретые до различных температур, измерительные лампы накаливания, специальные излучатели.

Расчет спектрального распределения излучения абсолютно черного тела (АЧТ) проводится по формуле Планка [43]:

$$\xi(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}, \quad (2.10)$$

где $\xi(\lambda, T)$ – спектральная плотность излучения, Дж/с·м³·ср; λ – длина волны, м; h – постоянная Планка, Дж·с; T – абсолютная температура, К; c – скорость света, м/с; k – постоянная Больцмана, Дж/К.

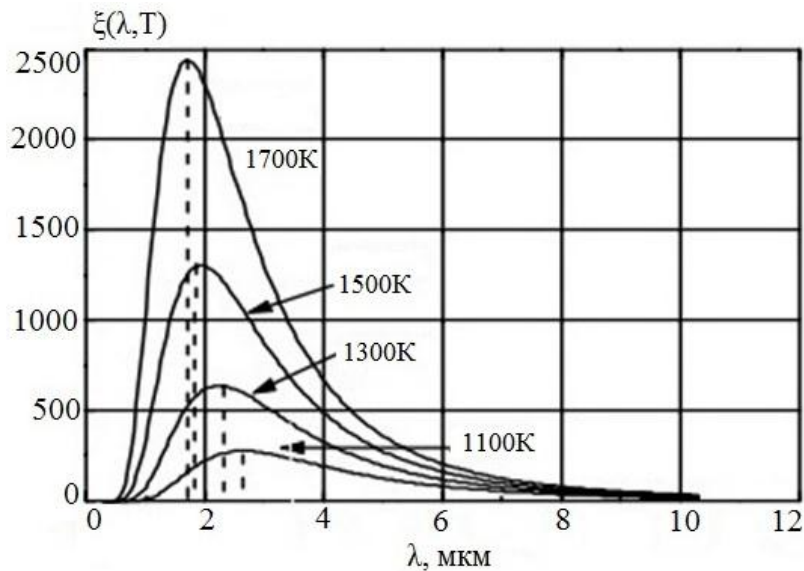


Рисунок 2.3 – Спектральная плотность излучения абсолютно черного тела при некоторых температурах

На рисунке 2.3 [43] видно, что с ростом температуры T наблюдается смещение максимума в сторону коротких длин волн. Этот факт составляет содержание важного закона теплового излучения АЧТ – закона смещения Вина, который математически выражается в виде соотношения [39]:

$$\lambda_{\max} T = b = \text{const}, \quad (2.11)$$

где $\lambda_{\max}$ – длина волны, соответствующая максимуму излучения АЧТ, $b = 2.9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – постоянная Вина.

С повышением температуры полная энергия излучения АЧТ растет пропорционально четвертой степени температуры. Этот факт составляет

содержание еще одного из основных законов излучения АЧТ – закона Стефана-Больцмана [43]:

$$\xi(T) = \sigma' \cdot T^4, \quad (2.12)$$

где $\sigma' = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$ – постоянная Стефана-Больцмана.

Многие тела при нагревании излучают непрерывный спектр, форма которого близка к спектру излучения АЧТ, к их числу в отдельных диапазонах можно отнести твердые тела с шероховатой поверхностью, которые называются серыми (неселективными излучателями). Спектральный коэффициент излучения серого тела меньше единицы и не зависит от длины волны: $\alpha(\lambda, T) = \alpha_{CT}(T) < 1$, тогда для серого тела согласно закону Кирхгофа [43]:

$$E_{CT}(\lambda, T) = \alpha_{CT}(T) \cdot \xi(\lambda, T), \quad (2.13)$$

где коэффициент поглощения $\alpha_{CT}(T) < 1$ равным правом можно считать и спектральным коэффициентом излучения (коэффициентом черноты), который показывает, какую долю излучения АЧТ составляет излучение данного тела.

Спектральная плотность энергетической светимости для любого реального тела $E_{PT}(\lambda, T)$ всегда меньше спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела $\xi(\lambda, T)$ при одинаковой температуре излучателей [44]:

$$E_{PT}(\lambda, T) = \alpha(\lambda, T) \cdot \xi(\lambda, T). \quad (2.14)$$

Энергетическую светимость реальных тел при определенной температуре можно определить через энергетическую светимость АЧТ при той же температуре, умноженной на коэффициент излучения, зависящий от материала и температуры излучателя ε [44]:

$$E_{PT}(\lambda, T) = \varepsilon \cdot \xi(\lambda, T). \quad (2.15)$$

В отличие от плавного непрерывного спектра тепловых излучателей селективные источники электромагнитного излучения могут иметь спектры с очень резко меняющейся спектральной плотностью энергетической светимости. Спектр, состоящий из большого числа отдельных линий и полос, характерен для случая испускания или поглощения излучения изолированными атомами или молекулами, например, разреженными газами. Спектры излучения возникают

главным образом в результате изменения вращательных энергетических состояний молекул и имеют вид размытых полос, состоящих из большого числа перекрывающихся линий.

В качестве теплового источника электромагнитного излучения была рассмотрена вольфрамовая лампа, которая является селективным излучателем, максимум его сдвинут по сравнению с черным телом в сторону более коротких волн при одинаковой температуре излучателей. Из Рисунка 2.4 [43, 104] видно, что спектральный коэффициент теплового излучения вольфрама увеличивается с уменьшением длины волны (Приложение А).

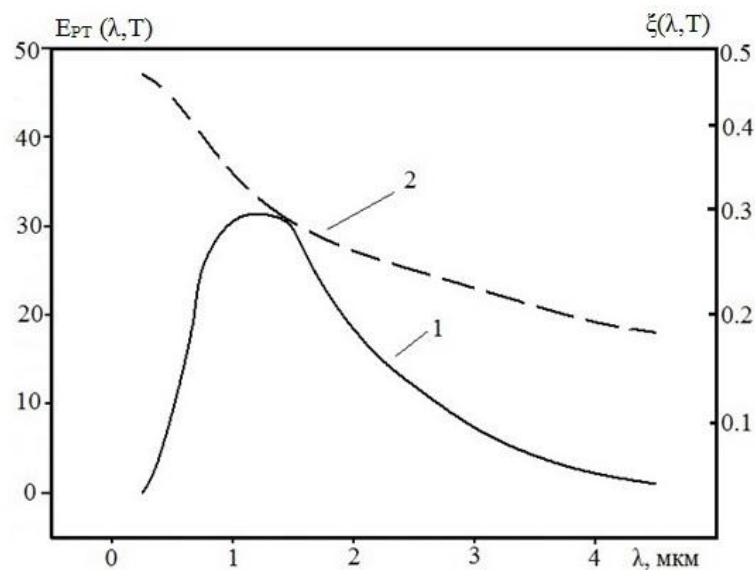


Рисунок. 2.4 – Спектральная плотность энергетической светимости вольфрама (1) при $T=2600\text{K}$ и спектральный коэффициент теплового излучения вольфрама (2) при той же температуре

Спектральный коэффициент теплового излучения вольфрама увеличивается с уменьшением длины, поэтому световой КПД излучения и световая отдача вольфрама больше, чем у черного тела при той же температуре. Вольфрам имеет высокую температуру плавления ($3650 \pm 50 \text{ K}$) и малую скорость испарения, формоустойчив при высокой рабочей температуре. Рабочая температура тела накала составляет от 2400 до 2800 K , а средний срок службы лампы накаливания составляет около 1000 часов [13, 41].

Галогенные лампы накаливания (Рисунок 2.5) [1] по сравнению с обычными лампами имеют более стабильный по времени световой поток и, следовательно,

повышенный полезный срок службы, а также значительно меньшие размеры, более высокие термостойкость и механическую прочность благодаря применению кварцевой колбы. Малые размеры и прочная оболочка позволяют наполнять лампы до высоких давлений дорогостоящим ксеноном и получать на этой основе: более высокую яркость и повышению световую отдачу (либо увеличенный срок службы). Трубчатые лампы, выпускаемые в настоящее время, имеют мощность от 500 до 10кВт [29].

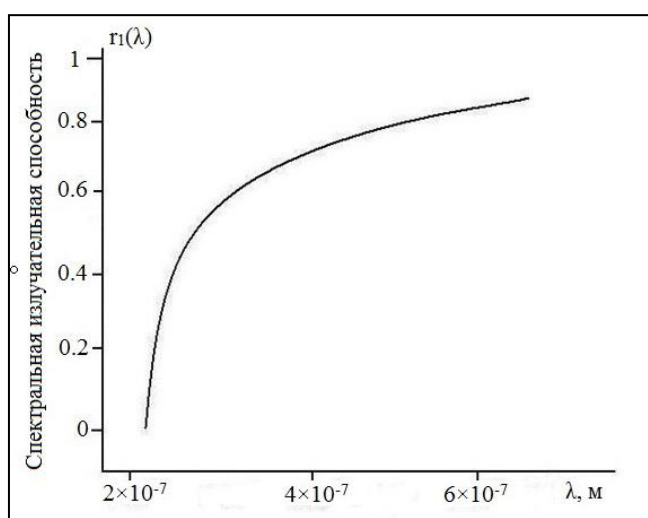


Рисунок 2.5 – График относительной спектральной излучательной способности селективного источника света – галогенная лампа

Галогенные лампы накаливания более резко реагируют на изменение напряжения в сети, чем вакуумные или газополные лампы накаливания, поэтому увеличение напряжения U на 5-6% может привести к двукратному сокращению срока службы. При этом световая отдача трубчатых ламп находится в пределах от 14лм/Вт до 25лм/Вт [29].

В ксеноновых лампах (Рисунок 2.6) [1] используется разряд в ксеноне при высоком и сверхвысоком давлении и плотности тока. Разряд этого типа имеет ряд характерных особенностей:

1) непрерывность спектра излучения в пределах от 200 нм до 1.5-3мкм; в видимой области спектра близок к солнечному с $T_{\text{цв}} = 6100 \div 6300K$ и обеспечивает высококачественную цветопередачу: $R_{\alpha} = 95 \div 98$, $x=0.33$, $y=0.33$. В

близкой ИК области ($0.8 \div 1.0 \mu\text{м}$) имеется несколько интенсивных спектральных линий;

2) возрастающая вольт-амперная характеристика в диапазоне больших токов, что дает возможность стабилизировать разряд малым балластом, а длинные трубчатые лампы включают в сеть даже без балласта;

3) отсутствие периода разгорания;

4) высокое напряжение зажигания, обусловленное тем, что в момент зажигания давление газа в лампе далеко от минимума по кривой Пашена; лампы требуют сложной схемы поджига;

5) независимость параметров ламп от рабочей температуры колбы, а также способность работать при низких температурах (до -50°C) без изменения параметров [29].

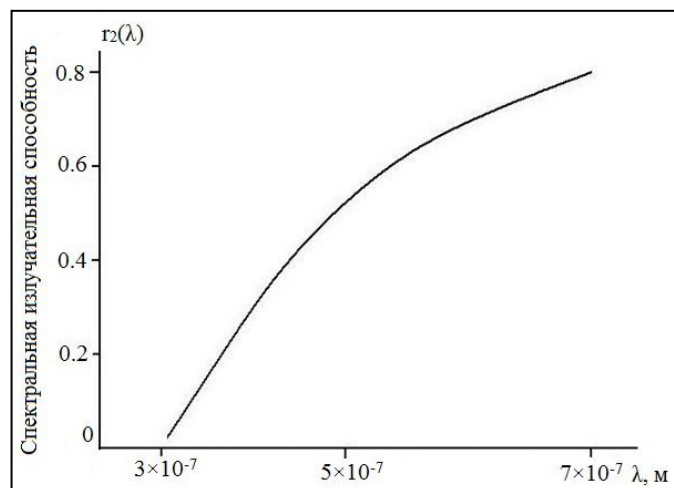


Рисунок 2.6 – График относительной спектральной излучательной способности селективного источника света – ксеноновая лампа

Включение ламп производится непосредственно в сеть 220 или 380В с частотой 50Гц. Для зажигания ксеноновых ламп применяются специальные зажигающие устройства, дающие высоковольтный, до 50кВ, импульс высокой частоты.

При восприятии электромагнитного излучения оптического диапазона **внешняя среда играет роль канала передачи информации** насекомому. В любой реальной системе принятый сигнал отличается от переданного, что связано с влиянием внешних помех и фона окружающей среды, поэтому при оценке

затухания сигнала важно рассмотреть такие факторы: задержка и искажения формы сигнала, шум, перекрестные помехи, а также помехи от технических средств или природных явлений. Источники внешних помех обладают своими основными свойствами, спектральными, энергетическими и пространственными характеристиками [38].

Основным источником ультрафиолетового излучения на Земле является Солнце, а общее количество ультрафиолетовых лучей, достигающих поверхности Земли, зависит от следующих факторов [93, 8]:

- от концентрации атмосферного озона над земной поверхностью;
- от возвышения Солнца;
- от высоты над уровнем моря;
- от атмосферного рассеивания;
- от состояния облачного покрова;
- от степени отражения УФ-лучей от поверхности (воды, почвы).

У поверхности Земли солнечное излучение состоит из прямого и рассеянного компонентов, оно рассеивается на воздушных молекулах и на частицах, типа аэрозолей и капелек водяного пара.

В определенных условиях и в течение короткого времени небольшое количество облаков даже усиливает УФ-излучение, до уровня при полностью ясном небе. В условиях тумана УФ-радиация поглощается и рассеивается водным паром и аэрозолями, что приводит к уменьшению УФ-излучения, так как часть УФ-радиации, которая достигает поверхности Земли, поглощается, а часть ее – отражается. Количество отраженной радиации зависит от свойств естественных поверхностей (травы, почвы и воды) которые отражают чуть менее 10% УФ - радиации, чистый снег может отразить приблизительно около 80% УФ-радиации, сухой песок на берегу приблизительно 15%, морская пена приблизительно 25%. Около 95% УФ-радиации проникают в воду, а 50% проникают на глубину до 3 метров [6, 8, 122].

Около половины солнечной энергии излучается в инфракрасной области спектра. Например, инфракрасное излучение Луны и планет состоит из

собственного и отраженного излучения. Известно, что Луна излучает как абсолютно черное тело, нагретое до температуры $T=400\text{K}$, длина волны, соответствующая максимуму собственного излучения, составляет $\lambda = 7,2\text{мкм}$. В дневное время излучение земной поверхности состоит из отраженного и рассеянного солнечного света и собственного теплового излучения. Спектральная характеристика излучения имеет два максимума: один при длине волны $\lambda = 0,5\text{мкм}$ (солнечное излучение), а другое – при длине волны $\lambda = 10\text{мкм}$ (собственное излучение, соответствующее температуре поверхности $T = 280\text{K}$). При $\lambda < 4\text{ мкм}$ большая часть излучения обусловлена отраженной солнечной радиацией, интенсивность которой зависит от положения Солнца, облачности и коэффициента отражения земного покрова. Собственное тепловое излучение земной поверхности определяется её коэффициентом излучения и температурой [21, 124].

К основным процессам, сопровождающим распространение инфракрасного излучения в атмосфере, относятся селективное поглощение парами воды, углекислым газом, озоном, метаном, а также рассеяние мельчайшими частицами, находящимися во взвешенном состоянии в атмосфере. В диапазоне длин волн свыше 1мкм и в диапазоне высот до 12км наибольшее значение имеет селективное поглощение излучения молекулами водяных паров и углекислого газа. На Рисунке 2.7 [22] изображена кривая спектрального пропускания атмосферы Земли.

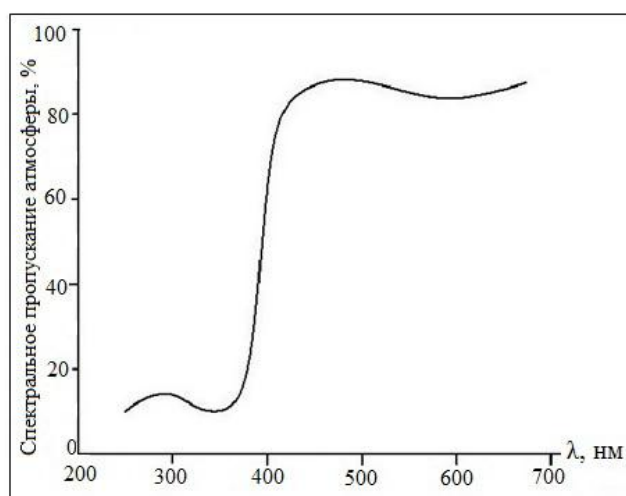


Рисунок 2.7 – График спектрального пропускания атмосферы Земли

Концентрация водяных паров в атмосфере является переменной; она зависит от географического положения местности, высоты, времени года, местных метеорологических условий и находится в пределах 0,001...4%. Главным компонентом атмосферы, поглощающим инфракрасное излучение, как уже отмечалось, является водяной пар. Для расчета поглощения излучения водяным паром введено понятие количества осажденной воды, обозначаемое ω и измеряемое толщиной слоя воды (мм), которое получится, если при заданном сечении слоя весь содержащийся в атмосфере водяной пар превратится в воду [22, 116].

Величина ω характеризует условия поглощения излучения на трассе и может быть рассчитана по формуле [99]:

$$\omega = \omega_0 L, \quad (2.16)$$

где L – толщина поглощающего слоя атмосферы; ω_0 – количество осажденной воды (мм) на длине 1 км, равное [130]:

$$\omega_0 = \frac{2.167 \cdot 10^4}{T_B} f_e, \quad (2.17)$$

здесь f_e – относительная влажность воздуха, % (отношение количества водяных паров), содержащихся в воздухе, к максимальному количеству, которое при данной температуре может содержаться в насыщенном воздухе, T_e – температура воздуха, K.

Другим важным параметром при прохождении инфракрасного излучения через атмосферу является толщина L поглощающего слоя атмосферы.

Поправку на температуру и давление вычисляют по формуле [96]:

$$L' = \frac{p_e}{1.3 \cdot 760 \cdot 10^{-6}} \left(\frac{273}{T_e} \right) L, \quad (2.18)$$

где p_e – давление воздуха, L' – эквивалентная толщина поглощающего слоя.

Кроме поглощения, лучистый поток рассеивается молекулами воздуха и различными частицами, присутствующими в атмосфере – кристаллами солей, пылинками, поднятыми ветром с поверхности Земли, остатками продуктов сгорания, каплями воды и кристаллами льда. В то время как коэффициенты

пропускания атмосферой монохроматического лучистого потока с учетом молекулярного рассеяния могут быть рассчитаны достаточно точно, расчет коэффициентов пропускания потока с учетом аэрозольного рассеяния практически невозможен, так как для этого необходимо знать количество, размеры, форму и состав вещества аэрозольных частиц, на которых происходит рассеяние излучения. Дождь, в отличие от тумана и облаков сравнительно хорошо пропускает инфракрасное излучение, например, коэффициент пропускания инфракрасного излучения на трассе длиной 1.8 км при слабом дожде равен 0.88, при среднем – 0.74, при сильном – 0.65 и при ливне – 0.38 [96, 126].

К естественным источникам оптического шума можно отнести Солнце, Луну и звезды, а также природные тела, имеющие температуру выше нуля градусов Кельвина, а все остальные можно отнести к искусственным источникам. Общее ослабление излучения естественных источников в атмосфере по физическому признаку можно разделить на два основных процесса: 1) – поглощение газовыми компонентами, которое определяется преобразованием лучистой энергии в другие ее виды; 2) – аэрозольное ослабление и рассеяние, состоящее в изменении направления распространения излучения.

Помимо рассеянного излучения Солнца в атмосфере одновременно имеет место излучение молекул газов, составляющих ее. Это собственное излучение атмосферы при температурах 200 ~ 300 К имеет спектральный максимум около 10 ~ 15 мкм и на длинах волн более 3 ~ 4 мкм равно по величине рассеянному солнечному излучению. Экспериментально установлено, что начиная с 4 мкм доминирует собственное излучение. При работе в ИК диапазоне можно зачастую пренебрегать отраженным солнечным излучением, а использовать собственное излучение нагретых тел, например, человека, атмосферы и т.п. [23, 123].

Излучение облаков для длин волн более 3 ~ 4 мкм в первом приближении можно считать подобным АЧТ, имеющему ту же, что и облака цветовую температуру $T_{цв}=7000 \sim 9000$ К. До 3 мкм яркость облаков определяется, главным образом, рассеянным излучением Солнца. Днем видно на небе рассеиваемые воздушной оболочкой лучи, и поэтому оно становится, синим или голубым, а

утром и вечером, при восходе и закате Солнца, в глаз биологического объекта попадает излучение, прошедшее через большую толщу воздуха, и небо около горизонта оказывается красного цвета [146].

В создании естественной ночной освещенности участвуют: а) звездный свет и свет галактики – межзвездные пылевые облака, освещенные звездами; б) солнечная система (зодиакальный свет, метеоритные частицы, освещенные Солнцем); в) земная атмосфера (излучение составляющих атмосферу атомов и молекул, рассеяние света атмосферой от всех названных источников). Естественное ночное свечение атмосферы представляет собой свечение разреженных газов (люминесценцию), составляющих воздух на высотах от 80 до 300 км. Спектр свечения является довольно сложным, состоит из большого числа линий и полос в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях. В высоких слоях атмосферы под влиянием коротковолнового излучения происходит расщепление молекул газов на атомы, реакции восстановления молекул в ночное время и производят свечение [120].

Естественные излучатели, как то: небесные тела, ландшафт, облака и т.п., могут быть как объектами наблюдения, так и фоновыми источниками, определяющими видимый контраст наблюдаемой картины, то есть могут как подсвечивать, так и мешать наблюдению [8, 148].

Солнце, с высокой степенью приближения, излучает как абсолютно черное тело (АЧТ) с температурой около 6000 К (Рисунок 2.8) [43]. Если предположить, что излучение Солнца равномерно рассеивается в атмосфере Земли, т.е. небо имеет одинаковую яркость, то эта яркость около 10^{-5} от яркости Солнца $\sim 1,5 \cdot 10^9 \text{ кд/м}^2$, и на длине волны излучения 0,5 мкм максимальное значение спектральной энергетической яркости неба составляет $L_{e,\lambda} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм}$, а на длине волны 4 мкм – около $L_{e,\lambda} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм}$.

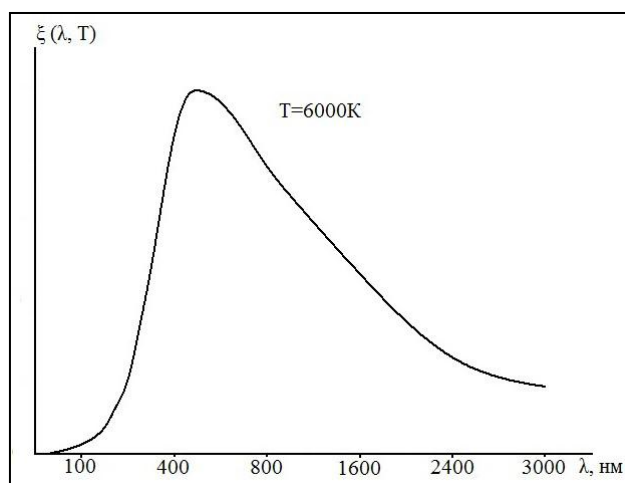


Рисунок 2.8 – График спектральной излучательной способности Солнца при температуре короны $T=6000\text{K}$

Освещенность, создаваемая Луной в зависимости от ее положения, сезона, времени наблюдения и других факторов, сильно меняется. Создаваемая Луной освещенность земной поверхности изменяется от $4.1 \cdot 10^{-2}$ лк (через ± 7 дней до и после полнолуния, при фазовом угле $\pm 85^\circ$) до $37.7 \cdot 10^{-2}$ лк (в полнолуние, при нулевом фазовом угле). Эффективная температура поверхности Луны изменяется от 400 K на освещенной стороне до 120 K на неосвещенной, то есть максимумы собственного излучения Луны приходятся на длины волн 7 и 24 мкм (Рисунок 2.9) [30, 115].

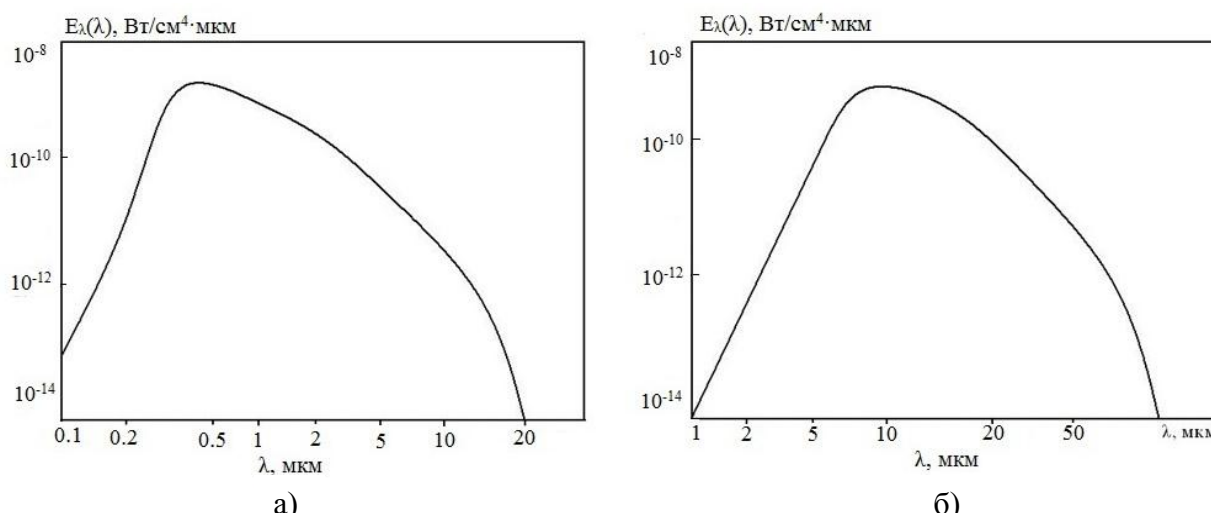


Рисунок 2.9 – Расчетные значения спектральной энергетической освещенности, создаваемой Луной в верхних слоях атмосферы: а) собственное излучение полной Луны, б) отраженное Луной солнечное излучение

Температура излучающих поверхностей лежит в пределах от 120К до 430К, в результате чего основная доля потока излучения испускается в инфракрасной области спектра на длинах волн более 5 мкм.

Для планет и спутников, имеющих очень разреженную атмосферу или не имеющие ее совсем, например, Луны, характерны значительные периодические изменения температуры поверхности, что обуславливает аналогичные перепады потока излучения. Основная доля (95%) отраженного от лунной поверхности солнечного излучения приходится на диапазон длин волн короче 2мкм поэтому, с учетом отраженной составляющей, температуру Луны, соответствующую АЧТ, можно принять $4 \cdot 10^3 \text{К}$ [144].

Значения естественной ночной освещенности, зависящие от различных факторов, в том числе от фазы и высоты Луны, а также от наличия облачности, приведены в Таблице 4 [23].

Таблица 4 – Ночная освещенность Земли в зависимости от фазы и высоты Луны

Характеристика ночи	Освещенность на Земле, лк.
Полная Луна на ясном небе	0,2
Полная Луна при облачности средней плотности	0,05–0,1
Безлунная ясная ночь	0,001–0,002
Безлунная ночь при облачности средней плотности	0,0005–0,001
Безлунная ночь при плотной облачности	0,0002

Рассеяние излучения облаками примерно одинаково в спектральном диапазоне $\lambda = 0,5 \div 1,1 \text{мкм}$, поэтому спектральный состав ночного неба мало зависит от вида облачности, в тоже время на абсолютное значение потока ночного неба вид облачности влияет сильно. Излучение в области $\lambda = 0,7 \div 1,0 \text{мкм}$ объясняется в значительной мере излучением группы ОН. Спектральный состав яркости свечения ночного неба показан в Таблице 5 [21].

Таблица 5 – Спектральный состав яркости свечения ночного неба

$\lambda, \text{мкм}$	0,32	0,36	0,4	0,48	0,52	0,56	0,6	0,68	0,72	0,8
$L_{\lambda} \cdot 10^{-6}, \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{мкм}$	2,5	1,5	4,0	0,69	0,94	4,3	1,8	0,41	6,0	10,0

Освещенность в сумеречное время создается за счет рассеянного в атмосфере света; чем глубже погружается Солнце за горизонт, тем значение освещенности меньше. На Рисунке 2.10 [96] приведена усредненная кривая изменения освещенности горизонтальной поверхности для безоблачного неба в функции глубины погружения Солнца за горизонт.

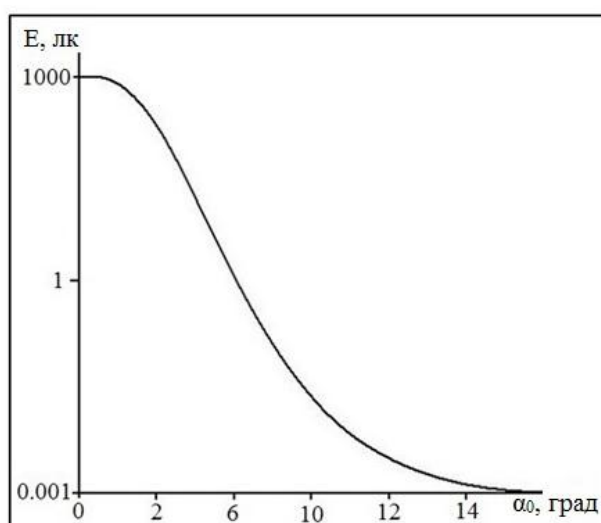


Рисунок 2.10 – Освещенность горизонтальной поверхности при безоблачном небе

Когда верхний край солнечного диска скрывается за линией горизонта, освещенность Земли от прямого солнечного света уменьшается до нуля, но яркость небесного свода при этом почти не меняется и рассеянная составляющая освещенности сохраняет свое значение. По мере погружения Солнца глубже под горизонт рассеянная составляющая убывает, приближаясь к своему ночному уровню.

Характер излучения ландшафта зависит от его коэффициентов излучения и отражения, от его температуры, а также от свойств среды (атмосферы, воды, тумана и т.п.), находящейся между естественным излучателем и приемником (органом зрения объекта управления). Коэффициенты отражения в видимой области большинства земных покровов равны 0,15~0,2. Лишь в диапазоне

0,7 ÷ 1,0 мкм эта величина может достигать 0,7~0,8. Остальная часть излучения ландшафта обусловлена собственным излучением покрова [96, 115].

Часто принимают, что сама почва излучает как серое тело с коэффициентом излучения 0,35. Отраженное излучение земного покрова определяется излучением Солнца и превышает собственное излучение для длин волн 3-4 мкм.

Спектральные свойства природных подстилающих поверхностей делятся на три класса. Такими классами являются почва, растительные образования, водные поверхности, водоемы и снеговой покров. Согласно этой классификации к каждому классу относятся отдельные типы поверхностей с однотипным ходом кривых спектральных коэффициентов яркости [20, 148].

Класс I. Почвы: 1) черноземные и супесчаные; 2) грунтовые и шоссейные дороги, некоторые типы строений; 3) пески; 4) глина.

Класс II. Растительность: 1) хвойные породы лесных насаждений; 2) суходольные луга; 3) травяные покровы, лесные насаждения в период осенней раскраски и 4) созревшие (пожелтевшие) полевые культуры.

Класс III. Водные поверхности, водоемы и снежный покров: 1) снег, покрытый ледяной коркой; 2) свежеснеговываливающий снег; 3) водная поверхность под некоторым, достаточно большим углом к нормали, т.е. отражающая небо.

На Рисунке 2.11 [20] представлены характерные зависимости спектрального коэффициента отражения от длины волны указанных классов природных поверхностей.

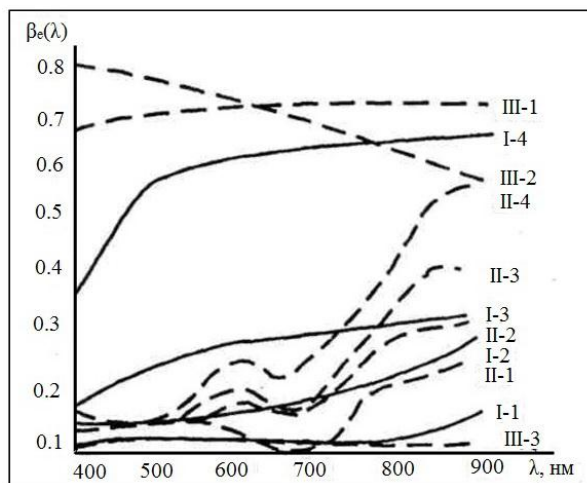


Рисунок 2.11 – Спектральные коэффициенты отражения природных поверхностей

Известно, что *восприятие глазом насекомого электромагнитного излучения оптического диапазона* определяется не только мощностью воспринимаемого оптического излучения, но также зависит от его спектрального состава (т.к. глаз – селективный приемник излучения). Световые характеристики описывают, как энергия излучения воспринимает зрительная система глаза насекомого с учетом спектрального состава света [53].

Основным парным органом зрения насекомых являются фасеточные глаза. Они образованы особыми структурными единицами – омматидиями, роговичная линза которых имеет вид выпуклого шестигранника – фасетки (франц. *facette* – грань). Фасеточные глаза насекомых неподвижные, расположены по бокам головы и могут занимать почти все ее поверхность (у стрекоз, мух, пчел и т.д.) [54].

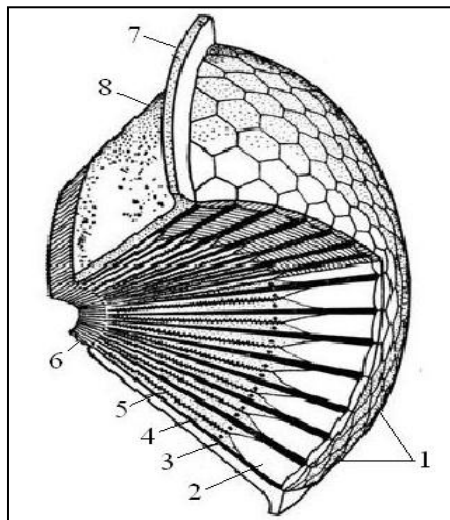


Рисунок 2.12 – Схема строения аппозиционного фасеточного глаза: 1 – роговичные фасетки; 2 – светопреломляющий аппарат, 3 – пигментные клетки; 4 – зрительные клетки; 5 – светочувствительные элемент омматидия; 6 – аксоны зрительных клеток, идущие в оптические ганглии; 7 – покровы головы; 8 – глазная капсула

Наиболее изучены фасеточные глаза взрослых насекомых и их личинок с неполным превращением, у которых они сложены сотнями и даже тысячами омматидиев. В зависимости от анатомических особенностей омматидиев и их оптических свойств различают три типа фасеточных глаз: аппозиционные, оптикосуперпозиционные и нейросуперпозиционные (Рисунок 2.12) [51, 95].

В аппозиционных фасеточных глазах, свойственных обычно дневным насекомым, смежные омматидии постоянно изолированы друг от друга непрозрачным пигментом, и рецепторы воспринимают только свет, направление которого совпадает с осью данного омматидия.

В оптикосуперпозиционных фасеточных глазах, характерных для ночных и сумеречных насекомых и многих ракообразных, изоляция омматидиев переменная (вследствие способности пигмента перемещается), и при недостатке света происходит наложение (суперпозиция) падающих под косым углом лучей, прошедших сквозь не одну, а несколько фасеток [135, 140].

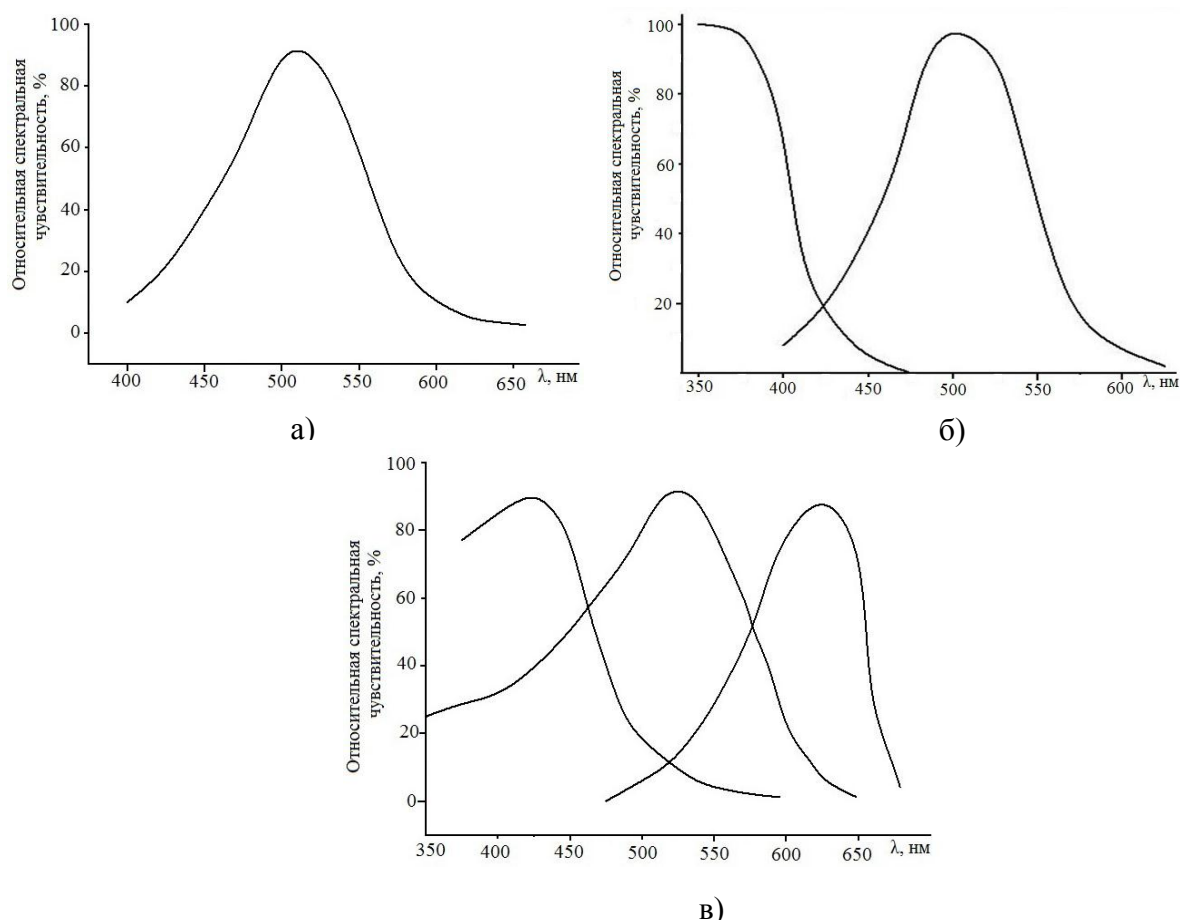


Рисунок 2.13 – Графики относительной спектральной чувствительности для различных типов зрения насекомых: а) монохромного, б) дихромного, в) трихромного

При слабом освещении чувствительность глаза увеличивается, например, у некоторых насекомых (богомолы, поденки и др.) одна часть глаза может быть построена по аппозиционному типу, а другая – по суперпозиционному (Рисунок 2.13) [97].

В фасеточных глазах всех типов собственно светочувствительным элементом служат рабдомеры зрительных клеток, содержащие фотопигмент (обычно подобный родопсину). Поглощение фотопигментом квантов света – первое звено в цепи процессов, в результате которых зрительная клетка генерирует нервный сигнал.

Нервная проекция сетчатки на оптические ганглии мозга и, отчасти, особенности оптики фасеточных глазах таковы, что они обеспечивают анализ внешнего мира с точностью до раstra омматидиев, а не отдельных зрительных клеток. Низкая угловая плотность омматидиев (их оптические оси расходятся под углами 1^0 – 6^0) препятствуют различению мелких деталей, однако малая инерционность в сочетании с высокой контрастной чувствительностью (1%–5%) глаз позволяет насекомым различать мелькание (мигание) света с различной частотой: монохромное зрение $\Delta f[50 – 75]$ Гц, дихромное зрение $\Delta f[150 – 200]$ Гц, трихромное зрение $\Delta f[250 – 300]$ Гц. Фасеточные глаза обеспечивают многим беспозвоночным цветное зрение с восприятием ультрафиолетовых лучей, а также направления плоскости линейнополяризованного света [103].

2.2 Математическое моделирование систем передачи оптического сигнала насекомым

В связи с наличием в любой реальной системе помех от естественных и искусственных источников электромагнитного излучения при моделировании объекта исследования необходимо учитывать шумы, возникающие при прохождении сигнала от источника селективного электромагнитного излучения по каналу передачи информации к объекту управления [137].

Основными источниками внешних естественных помех при передаче оптического сигнала насекомым являются излучение Солнца, Луны, Земли и ее покровов, атмосферы (Рисунок 2.14). Мощность солнечного и лунного излучения, отраженного от какой-либо поверхности и воспринимаемая глазом насекомого, зависит не только от параметров и особенностей строения зрительного органа, но и от характеристик отражающих поверхностей, которыми в данном случае являются облака и подстилающая поверхность (вода, растительность и почва) [68,69,90].

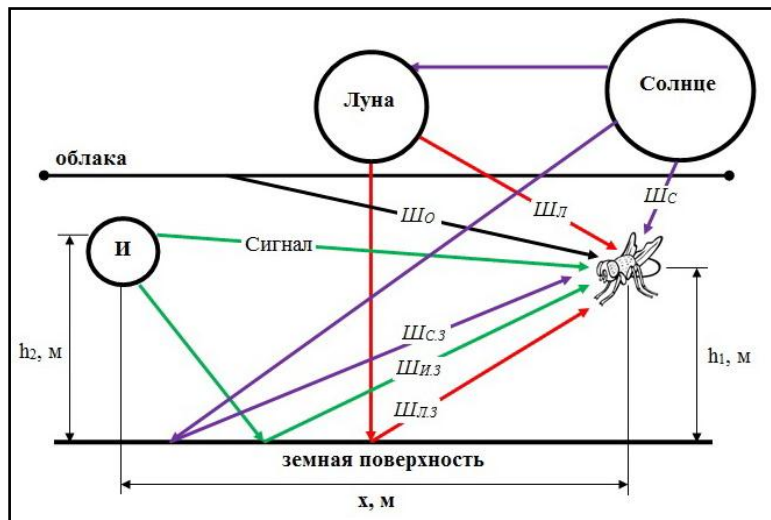


Рисунок 2.14 – Схема распространения электромагнитного излучения в системе передачи оптического сигнала насекомым, где И – источник селективного электромагнитного излучения; ОУ – объект управления; h_1 – расстояние от земной поверхности до объекта управления; h_2 – расстояние от земной поверхности до источника излучения; x – расстояние между И и ОУ по горизонтали

Считая, что шумы от естественных и искусственных источников излучения аддитивно складываются, выражение для оптического шума можно записать в следующем виде:

$$Ш = Ш_С + Ш_{С.З} + Ш_Л + Ш_{Л.З} + Ш_{И.З} + Ш_О + Ш_Р \quad (2.19)$$

где $Ш_О, Ш_{С.З}, Ш_{И.З}, Ш_{Л.З}$ – шумы, обусловленные отражением соответственно солнечного, лунного и искусственного излучения от облаков и земной поверхности, $Ш_С, Ш_Л$ – шумы, обусловленные излучением Солнца и Луны, $Ш_Р$ – шум, вызванный рэлеевским рассеянием. При построении математической модели в первом приближении можно пренебречь шумами при отражении излучения Солнца и Луны от облаков $Ш_О$ вследствие их относительной малой величины по

сравнению с другими источниками шумов, а также шумом $Ш_p$, вызванным рэлеевским рассеянием, поскольку он носит слабоселективный характер [47,70].

При проектировании элементов объекта исследования необходимо учитывать шумы при прохождении полезного сигнала через канал передачи информации, которые связаны с оптическими характеристиками различных поверхностей, зависящими от их физико-химических свойств, высоты Солнца и состояния атмосферы (Рисунок 2.14).

Оптический сигнал, воспринимаемый органом зрения насекомого C , и общий шум $Ш$ можно представить в следующем виде [19, 46,67]:

$$C = S_{o.з} \cdot \frac{m}{l^2} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \exp(-q(\lambda) \cdot l) d\lambda, \quad (2.20)$$

$$Ш = Ш_C + Ш_{л} + Ш_{с.з} + Ш_{л.з} + Ш_{и.з} \quad (2.21)$$

где $l = \sqrt{x^2 + (h_2 - h_1)^2}$, x – расстояние между селективным источником излучения и объектом управления по горизонтали, h_1 – расстояние от земной поверхности до объекта управления, h_2 – высота источника над поверхностью Земли, λ – длина волны, $r(\lambda)$ – функция спектральной излучательной способности селективного источника света, $\tau(\lambda)$ – функция относительной спектральной чувствительности глаза насекомого, m – коэффициент, учитывающий различие между функциями видности глаза человека и насекомого, $S_{o.з}$ – площадь органа зрения насекомого, $q(\lambda) = k(\lambda) + \sigma(\lambda)$, $k(\lambda)$ – спектральный коэффициент ослабления оптического излучения атмосферой в УФ и видимой части спектра, $\sigma(\lambda) = 0.83NA^3 \cdot \lambda^{-4}$ – спектральный коэффициент рэлеевского рассеяния, $N_{чм}$ – число молекул в 1 м^3 , A – эффективное сечение рассеяния флуктуации плотности в атмосфере, м^2 [42, 61].

Шумы, обусловленные прямой солнечной и лунной подсветкой, соответственно имеют следующий вид:

$$Ш_C = S_{o.з} \cdot \frac{m}{\pi} \cdot \left(\frac{R_C}{R_{с.о}} \right)^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \xi(\lambda, T) \cdot k(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda, \quad (2.22)$$

$$Ш_{Л} = S_{o.з} \cdot \frac{m}{\pi} \cdot \left(\frac{R_c}{R_{л.о}} \right)^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \xi(\lambda, T) \cdot k(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda, \quad (2.23)$$

где T – абсолютная температура, K ; $R_c, R_{з.о}, R_{л.о}$ – радиусы Солнца, земной и лунной орбиты соответственно, м [17, 48].

Выражения для шумов $Ш_{C.з}$ и $Ш_{Л.з}$ с учетом таких основных природных факторов, как особенности спектральных отражательных способностей почвы, водной поверхности и растительности, поглощение излучения атмосферой Земли, колебание мощности лунного излучения на поверхности Земли в зависимости от фазы Луны, изменяющейся в течении месяца, имеют вид:

$$Ш_{C.з} = S_{o.з} \cdot \frac{m}{\pi} \cdot \left(\frac{R_c}{R_{з.о}} \right)^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \xi(\lambda, T) \cdot k(\lambda) \cdot \tau(\lambda) Noise(\lambda) \exp(-q(\lambda)) d\lambda, \quad (2.24)$$

$$Ш_{Л.з} = S_{o.з} \cdot \frac{m}{\pi} \cdot \left(\frac{R_c}{R_{л.о}} \right)^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \xi(\lambda, T) \cdot k(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \eta(\lambda) S(n) Noise(\lambda) \exp(-q(\lambda)) d\lambda, \quad (2.25)$$

где $S(n)$ – функция распределения мощности лунного излучения на земной поверхности, в зависимости от фазы Луны, меняющейся в течении месяца, $\eta(\lambda)$ – функция спектральной энергетической освещенности Луны, $Noise(\lambda) = (\mu(\lambda)S_1 + \nu(\lambda)S_2 + \psi(\lambda)S_3)$, $\mu(\lambda), \nu(\lambda), \psi(\lambda)$ – спектральные характеристики отражения соответственно почвы, воды и растительности, S_1, S_2, S_3 – весовые коэффициенты, показывающие относительную долю площади, занимаемой соответствующими поверхностями в 1м^2 .

Шум, обусловленный отражением излучения селективного источника от подстилающей поверхности, определяется выражением:

$$Ш_{и.з} = S_{o.з} \cdot \frac{m}{h_2^2 \cdot \pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) \cdot \tau(\lambda) Noise(\lambda) \exp(-q(\lambda) \cdot h_2) d\lambda, \quad (2.26)$$

С учетом формул (2.19) – (2.26) запишем получившееся выражение функции «отношение сигнал/шум» в общем виде:

$$\frac{C}{Ш} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \exp(-q(\lambda) \cdot l) d\lambda}{l^2 (Ш_C + Ш_{Л} + Ш_{C.з} + Ш_{Л.з} + Ш_{и.з})}. \quad (2.27)$$

Для исследования математической модели объекта исследования необходимо получить аналитические выражения всех функций, входящих в выражение (2.27).

По данным приведенным в параграфе 2.1 [20] (Рисунок 2.7), и при помощи пакета программ OriginPro8 для численного анализа данных [25,86] была получена функция, описывающая относительную прозрачность атмосферы в УФ и видимой частях спектра:

$$k(\lambda) = -0.02 + \exp\left[-2\left(\frac{\lambda - 493}{162}\right)\right]. \quad (2.28)$$

С учетом закона Бугера [43] и выражения (2.28) спектральный коэффициент поглощения слоя атмосферы толщиной 1 м выражается формулой:

$$q(\lambda) = -\frac{\ln(k(\lambda))}{H}, \quad (2.29)$$

где $H = 2 \cdot 10^3$ м – толщина слоя тропосферы.

Для описания экспериментальных кривых (Рисунок 2.13) относительной спектральной чувствительности глаз насекомых различных типов зрения в среде OriginPro8 были подобраны функции, дающие наилучшее приближение экспериментальных данных, и методом наименьших квадратов рассчитаны их параметры:

монохромное зрение:

$$\tau_1(\lambda) = 0.044 + \frac{2.6}{1 + e^{\frac{\lambda - 550}{60}}} \left(1 - \frac{1}{1 + e^{\frac{\lambda + 550}{9.94}}} \right), \quad \lambda \in [360 \cdot 10^{-9}, 600 \cdot 10^{-9}] \text{ м}; \quad (2.30)$$

дихромное зрение:

$$\begin{aligned} \beta_1(\lambda) &= 0.02 + \frac{0.98}{1 + e^{\frac{\lambda - 400}{10}}}, \quad \lambda \in [340 \cdot 10^{-9}, 475 \cdot 10^{-9}] \text{ м}; \\ \beta_2(\lambda) &= e^{-2\left(\frac{\lambda - 498}{83}\right)^2}, \quad \lambda \in [390 \cdot 10^{-9}, 675 \cdot 10^{-9}] \text{ м}; \end{aligned} \quad (2.31)$$

трихромное зрение:

$$\kappa_1(\lambda) = 0.2 + 0.96e^{-2\left(\frac{\lambda - 415}{73}\right)^2}, \quad \lambda \in [340 \cdot 10^{-9}, 600 \cdot 10^{-9}] \text{ м};$$

$$\kappa_2(\lambda) = \frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{\lambda-569}{18}\right)}} \left(1 - \frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{\lambda-647}{12}\right)}} \right), \quad \lambda \in [340 \cdot 10^{-9}, 600 \cdot 10^{-9}] \text{ м};$$

$$\kappa_3(\lambda) = 0.4 + 0.8e^{-0.5\left(\frac{\lambda-480}{67}\right)\left(1 - \frac{\lambda-480}{268}\right)\left(1 - \frac{\lambda-480}{67}\right)^{-3}}, \quad \lambda \in [340 \cdot 10^{-9}, 650 \cdot 10^{-9}] \text{ м.}, \quad (2.32)$$

где λ , нм – длина волны.

По данным [1] были получены функции (2.33) и (2.34):

$$r_1(\lambda) = 0.9 - 17 \cdot 0.98^\lambda - \text{ксеноновая лампа}, \quad (2.33)$$

$$r_2(\lambda) = 0.9 - 11.05 \cdot e^{-0.007\lambda} - \text{галогенная лампа}, \quad (2.34)$$

описывающие спектральные излучательные способности некоторых селективных источников электромагнитного излучения оптического диапазона (ксеноновой и галогенной ламп), графики которых приведены на Рисунках 2.5, 2.6.

При построении математической модели объекта исследования в качестве селективного источника электромагнитного излучения оптического диапазона была рассмотрена лампа с вольфрамовой нитью накала. При этом ее спектральная излучательная способность была задана в виде [44]:

$$E_{CT}(\lambda, T) = r_0(\lambda, T) \cdot \xi(\lambda, T), \quad (2.35)$$

где $r_0(\lambda, T)$ – излучательная способность вольфрама.

На основании экспериментальных данных [75, 104] (Приложение А) получены температурные зависимости коэффициентов $a_1(T)$, $a_2(T)$, $p(T)$, $x_0(T)$ входящих в выражение (2.36), в температурном диапазоне 600÷3000К и интервале длин волн от 0,35 до 0,76 мкм.

$$r_0(\lambda, T) = a_1(T) + \frac{a_2(T)}{1 + \left(\frac{\lambda^{p(T)}}{x_0(T)}\right)}, \quad (2.36)$$

где:

$$a_1(T) = -0.0289 + 1.35738 \cdot 10^{-4}T - 7.82472 \cdot 10^{-8}T^2 + 3.05777 \cdot 10^{-11}T^3 - 4.90057 \cdot 10^{-5}T^4 \quad (2.37)$$

$$a_2(T) = -0.55516 - 2.09496 \cdot 10^{-4}T + 1.37868 \cdot 10^{-7}T^2 - 5.53591 \cdot 10^{-11}T^3 + 9.15601 \cdot 10^{-5}T^4 \quad (2.38)$$

$$x_0(T) = 1.43817 \cdot 10^{-6} + 1.54922 \cdot 10^{-10}T - 1.60624 \cdot 10^{-13}T^2 + 6.13155 \cdot 10^{-17}T^3 - 8.8009 \cdot 10^{-5}T^4 \quad (2.39)$$

$$p(T) = 3.61428 - 4.21681 \cdot 10^{-4}T - 1.1253 \cdot 10^{-7}T^2 + 7.38364 \cdot 10^{-23}T^3 - 9.33811 \cdot 10^{-27}T^4 \quad (2.40)$$

По данным [20] получены функции (2.41-2.43) описывающие спектральные зависимости отражательных характеристик ряда природных поверхностей (вода, почва, растительность):

водная поверхность:

$$\nu(\lambda) = 0.01 + \frac{0.67}{1 + \left(\frac{\lambda}{137}\right)^3}, \quad (2.41)$$

почва:

$$\mu(\lambda) = 0.41 - \frac{0.51}{1 + \left(\frac{\lambda}{440}\right)^5}, \quad (2.42)$$

растительность:

$$\varphi(\lambda) = 0.25e^{\frac{\lambda}{310} + 0.32 - 0.003\lambda}. \quad (2.43)$$

Для расчета мощности лунного излучения, приходящегося на 1 м^2 Земли, в результате аппроксимации имеющихся данных [30] (Рисунок 2.15) были получены функции спектральной энергетической освещенности Луны (2.44) и зависимости площади лунного диска от меняющейся фазы Луны в течении месяца (2.45) (Приложение Б).

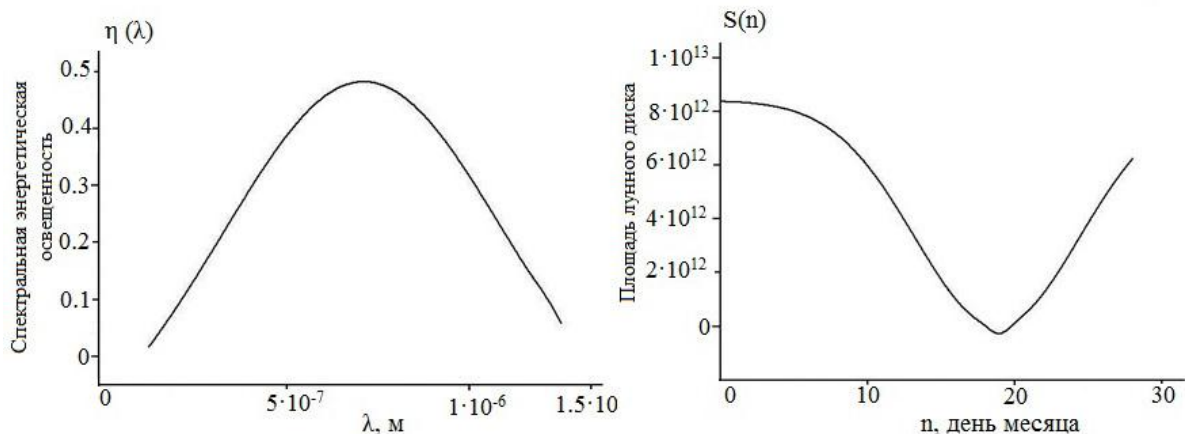


Рисунок 2.15 – Функции зависимости спектральной энергетической освещенности Луны (а) и площади лунного диска, меняющегося в течении месяца (б)

$$\eta(\lambda) = -0.179 + 0.67 \exp \left[-0.5 \left(\frac{\lambda - 6.83 \cdot 10^{-7}}{3.52 \cdot 10^{-7}} \right)^2 \right], \quad (2.44)$$

$$S(n) = 8.4 \cdot 10^{12} - 8.45 \cdot 10^{12} e^{-0.5 \left(\frac{n-18.82}{5.56} \right)^2}. \quad (2.45)$$

На основании математической модели объекта исследования был разработан алгоритм (Рисунок 2.16) [76, 138] и программное обеспечение для его реализации (Приложение В) [27,40, 82].

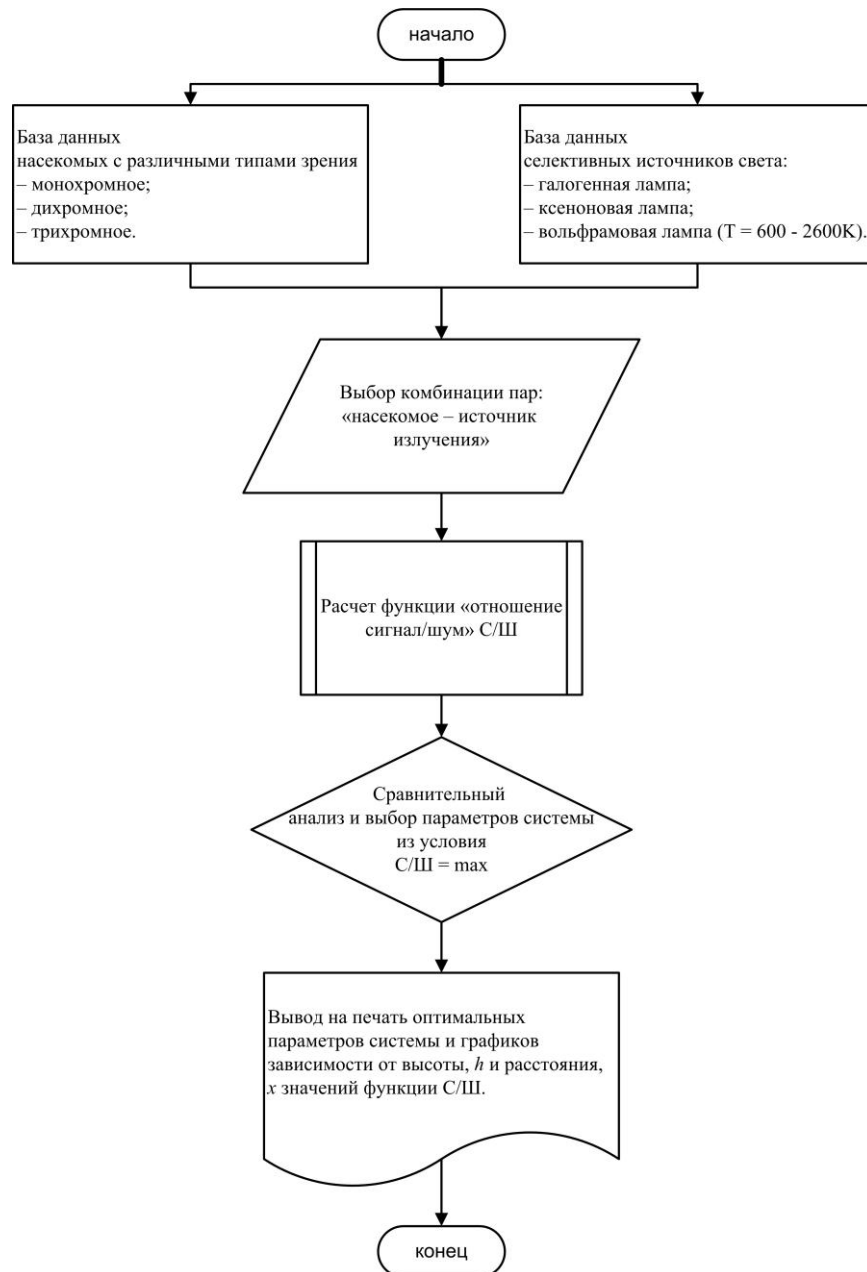


Рисунок 2.16 – Алгоритм для расчета эффективных характеристик объекта исследования

Алгоритм содержит следующие операции:

1. формирование базы данных: насекомых с различными типами зрения (монохромное, дихромное, трихромное), источников электромагнитного излучения (галогенная, ксеноновая, вольфрамовая лампа (при температуре $T=600\div 3000\text{K}$));
2. выбор комбинаций пар «насекомое – источник излучения»;
3. расчет основной информационной характеристики – функция «отношение сигнал/шум», C/Π .
4. структурная оптимизация системы из условия максимального значения C/Π ;
5. вывод на печать полученных результатов: оптимальных параметров системы и графиков зависимостей от ее основных параметров значения функции C/Π .

Полученные в результате вычислений данные могут быть использованы для оценки производительности технических систем передачи оптического сигнала насекомым.

2.3 Проверка адекватности математической модели передачи оптического сигнала насекомым

Для проверки адекватности разработанной математической модели эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым были проведены натурные эксперименты, в которых использовались две ловушки с регулятором температуры нити накала вольфрамовой лампы (Рисунок 2.17).

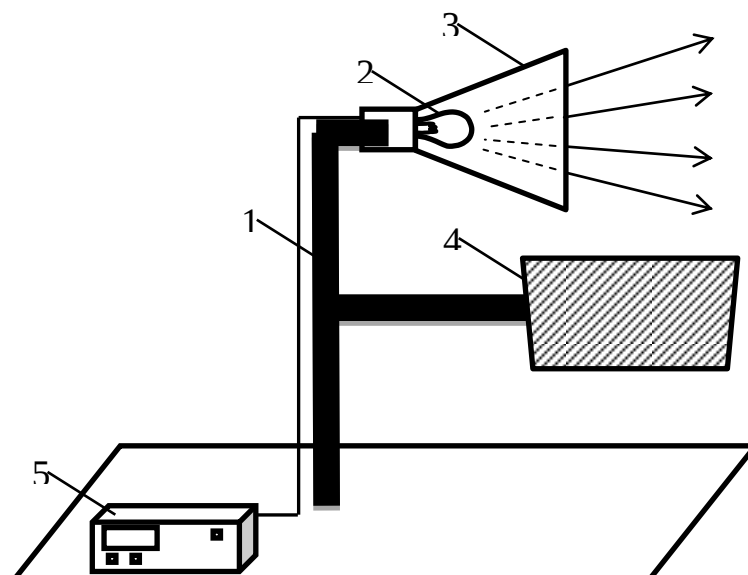


Рисунок 2.17 – Схема ловушки для насекомых с трихромным типом зрения:

- 1) – кронштейн, 2) – лампа с вольфрамовой нитью накала, 3) воронкообразный раструб, 4) – сборник насекомых, 5) – регулятор температуры лампы накаливания ($T = 600 \div 2600\text{K}$, питание от электрической сети 220В)

В ходе эксперимента был разработан блок управления оптико-электронной частью и проведена паспортизация источника по температуре, диаграмме направленности и зависимости освещенности от расстояния (Приложение Г) (Рисунок 2.18).

Паспортизация источника оптического излучения выполнялась в лаборатории кафедры общей и экспериментальной физики РГПУ им. А.И. Герцена (г. С-Петербург) с помощью пирометра с исчезающей нитью накала (Приложение Г).



Рисунок 2.18 – Регулятор температуры нити накала вольфрамовой лампы

Отличие между ловушками состояло в том, что в одной из них температура накала нити вольфрамовой лампы оставалась постоянной, порядка 2600K, а в другой – изменялась в диапазоне от 600 до 2600K (Рисунок 2.19).

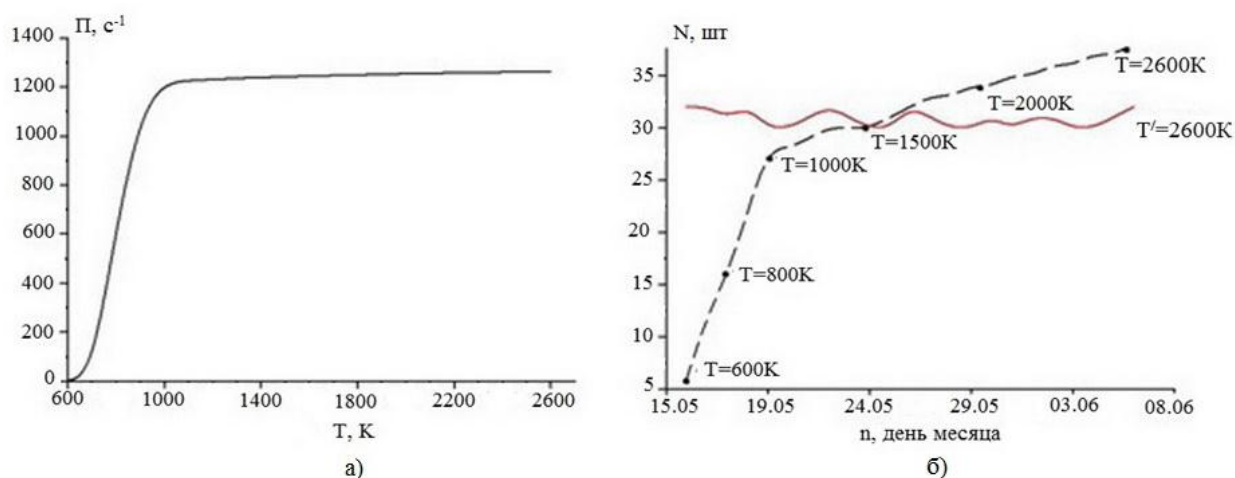


Рисунок 2.19 – Графики зависимости: а) расчетной пропускной способности канала передачи информации от температуры накала вольфрамовой лампы; б) производительности установки в различные дни месяца при постоянной (—) и меняющейся (— —) температурах нити накала вольфрамовой лампы для насекомых с трихромным типом зрения

Для подтверждения адекватности разработанной математической модели объекта исследования производилось сравнение двух дисперсий нормальных генеральных совокупностей (выявление распределения ошибки) методом F – критериев Фишера [16, 36].

При составлении таблиц результатов параметру производительности N сопоставляется параметр Π – пропускная способность канала передачи информации при заданных параметрах системы.

После проведения эксперимента определялась средняя линия, зависимости $N(\Pi)$. На основании данной зависимости вычислялись значения коэффициента K . В дальнейшем при известном значении Π и K , определялась значение $N_{теор.}$, для последующих дней измерений. В завершении по методу Фишера проверялась адекватность полученных результатов при помощи сравнения $N_{теор.}$ и $N_{эксп.}$.

Результаты расчета параметра Π и замеров количества пойманных в ловушку насекомых представлены в Таблица Д.1 и Таблица Д.2.

После формирования рядов экспериментальных данных (Таблица Д.3) производится расчет выборочных дисперсий для каждой даты экспериментов.

$$s_U^2 = \frac{\sum u^2 - (\sum u)^2 / n_1}{n_1 - 1} \quad (2.46)$$

$$s_v^2 = \frac{\sum v^2 - (\sum v)^2 / n_2}{n_2 - 1} \quad (2.47)$$

$$F_{НАБЛ} = s_U^2 / s_v^2 \quad (2.48)$$

Модель признается адекватной при выполнении условия:

$$F_{кр} > F_{НАБЛ} \quad (2.49)$$

Результаты расчета по формулам (2.46 – 2.49), а также значение $F_{кр}$ и заключение об адекватности теоретических расчетов (отсутствие основания об отвержении нулевой гипотезы) приведены в Таблица Д.5.

Значение $F_{набл}$ (отношение большей исправленной дисперсии к меньшей) находилось в интервале от 1,05 до 1,55, учитывая, что при числе степеней свободы 17 и 16 и уровне значимости $F_{кр} = 2.4$, отсутствуют основания нулевой гипотезы адекватности модели [16].

Таблица 6 – Проверка адекватности математической модели эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым

	05.06	06.06	07.06	08.06	09.06	10.06	11.06	12.06	13.06	14.06	15.06
S_{Π}	147,99	129,13	134,96	135,92	121,93	121,93	109,06	98,86	103,26	100,19	90,295
S_T	161,99	161,99	160,44	158,83	160,67	160,67	160,31	160,31	159,70	158,54	157,19
$F_{набл}$	1,094	1,2544	1,188	1,1685	1,3177	1,3177	1,4698	1,6215	1,546	1,5823	1,7409
$F_{кр}$	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
	Математическая модель адекватна										

Результаты эксперимента, представленные на Рисунке 2.19, свидетельствуют о достаточно удовлетворительном совпадении эксперимента и расчетных данных. Следовательно, разработанную математическую модель эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым можно считать адекватной.

2.4 Расчет характеристик систем передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения

На основе разработанной математической модели объекта исследования произведены расчеты его эффективных характеристик и получены значения сигнала, оптического шума естественного и искусственного происхождения, функции «отношение сигнал/шум», пропускной способности канала передачи информации, а также производительности установки в зависимости от геометрических параметров системы, таких как расстояние между источником электромагнитного излучения и объектом управления (насекомым), расстояние от земной поверхности до источника излучения.

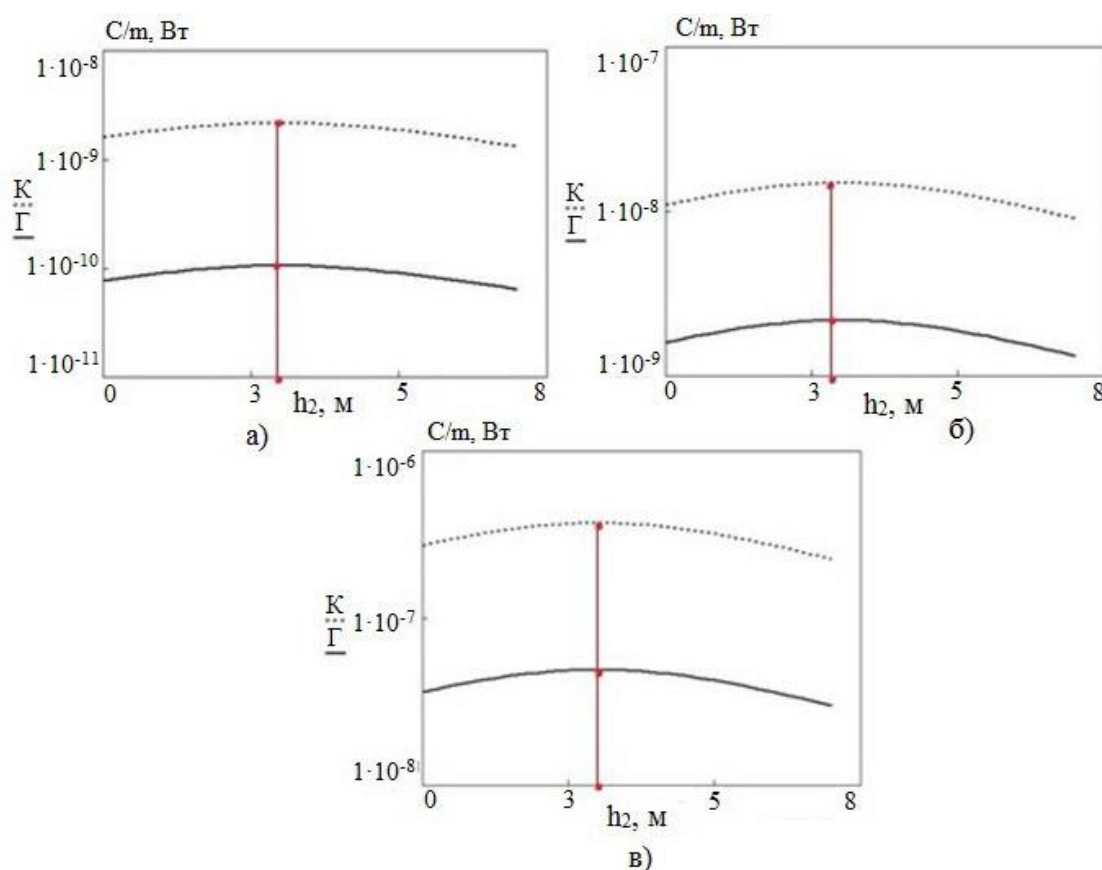


Рисунок 2.20 – Графики зависимости от высоты h_2 оптического сигнала, создаваемого селективными источниками электромагнитного излучения (Γ – галогенная лампа,

K – ксеноновая лампа, $x=5$ м) для насекомых с различными типами зрения:

а) монохромное; б) дихромное; в) трихромное.

Из анализа графиков на Рисунке 2.20 видно, что зависимости полезного сигнала от высоты h_2 расположения селективных источников электромагнитного излучения оптического диапазона (галогенной и ксеноновой ламп) над поверхностью Земли имеют одинаковый характер, достигают максимального значения на высоте в пределах 3-4м, а затем монотонно убывают. Значение оптического сигнала с использованием галогенной лампы больше на порядок во всех случаях и максимально для насекомых с трихромным типом зрения, вероятно, вследствие сложного строения зрительного анализатора.

Определив по графикам на Рисунке 2.20, что максимальное значение оптического сигнала в среднем соответствует высоте $h_2=3,5$ м от поверхности Земли до источника излучения, рассмотрим изменение оптического сигнала с расстоянием x (Рисунок 2.21).

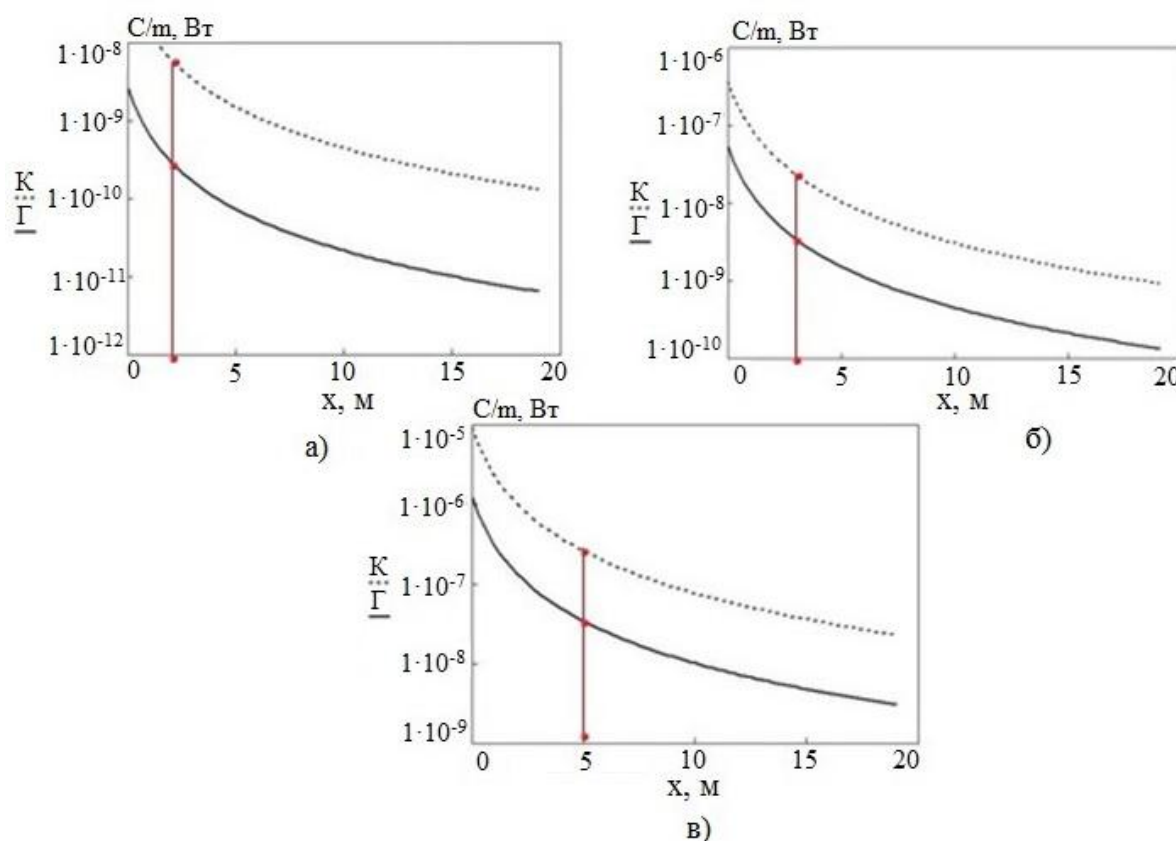


Рисунок 2.21 – Графики зависимости от расстояния x оптического сигнала, создаваемого селективными источниками электромагнитного излучения (Γ – галогенная лампа, K – ксеноновая лампа, $h_2=4$ м) в зрительном органе насекомого с различными видами зрения: а) монохромное, б) дихромное, в) трихромное

Исследование зависимостей на Рисунке 2.21 позволяет сделать вывод, что мощность оптического сигнала с увеличением расстояния от селективного

источника излучения ослабевает, а также для насекомых с разными типами зрения принимает различное значение, что связано с особенностями строения органа зрения насекомого.

Произведен расчет оптического сигнала, воспринимаемого насекомыми с различными типами зрения, от лампы с изменяющейся температурой вольфрамовой нити накала (Рисунок 2.22).

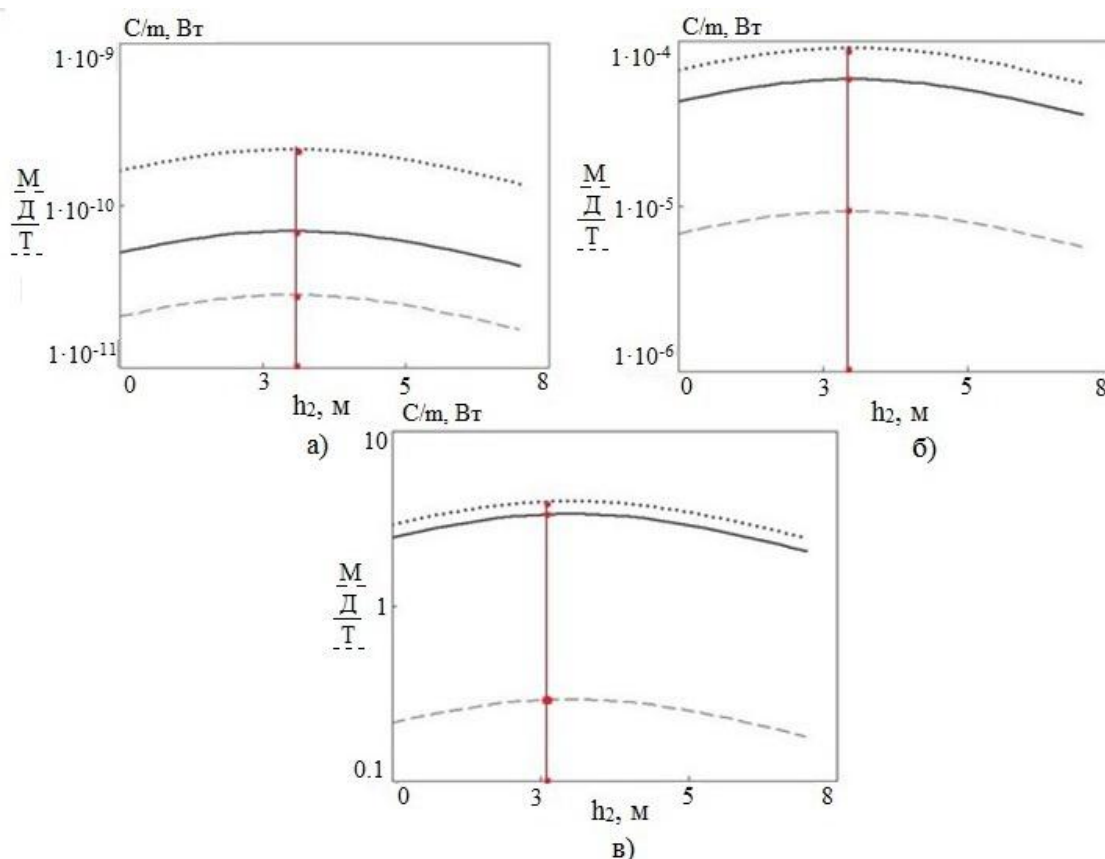


Рисунок 2.22 – Графики зависимости от высоты h_2 полезного сигнала ($x=5m$), создаваемого вольфрамовой лампой при различной температуре нити накала: а) $T=600K$; б) $T=1000K$; в) $T=1500K$, в зрительном органе насекомого с различными видами зрения (M – монохромное, D – дихромное, T – трихромное)

Анализ графиков на Рисунке 2.22 показал, что с увеличением температуры нити накала вольфрамовой лампы оптический сигнал возрастает на несколько порядков для всех типов зрения. В температурном диапазоне до $1000K$ зависимости полезного сигнала от высоты источника излучения над поверхностью Земли имеют сходный характер, достигая своего максимума при значении $h_2=3,2-3,5m$. При увеличении температуры нити накала вольфрамовой лампы мощности оптических сигналов для насекомых с дихромным и

трихромным типами зрения близки по значениям и на 2 порядка выше мощности оптического сигнала для насекомых с монохромным типом зрения.

В результате расчетов получены зависимости значения оптического сигнала от расстояния x до биологического объекта – насекомого, с различным типом зрения и меняющейся температурой нити накала вольфрамовой лампы.

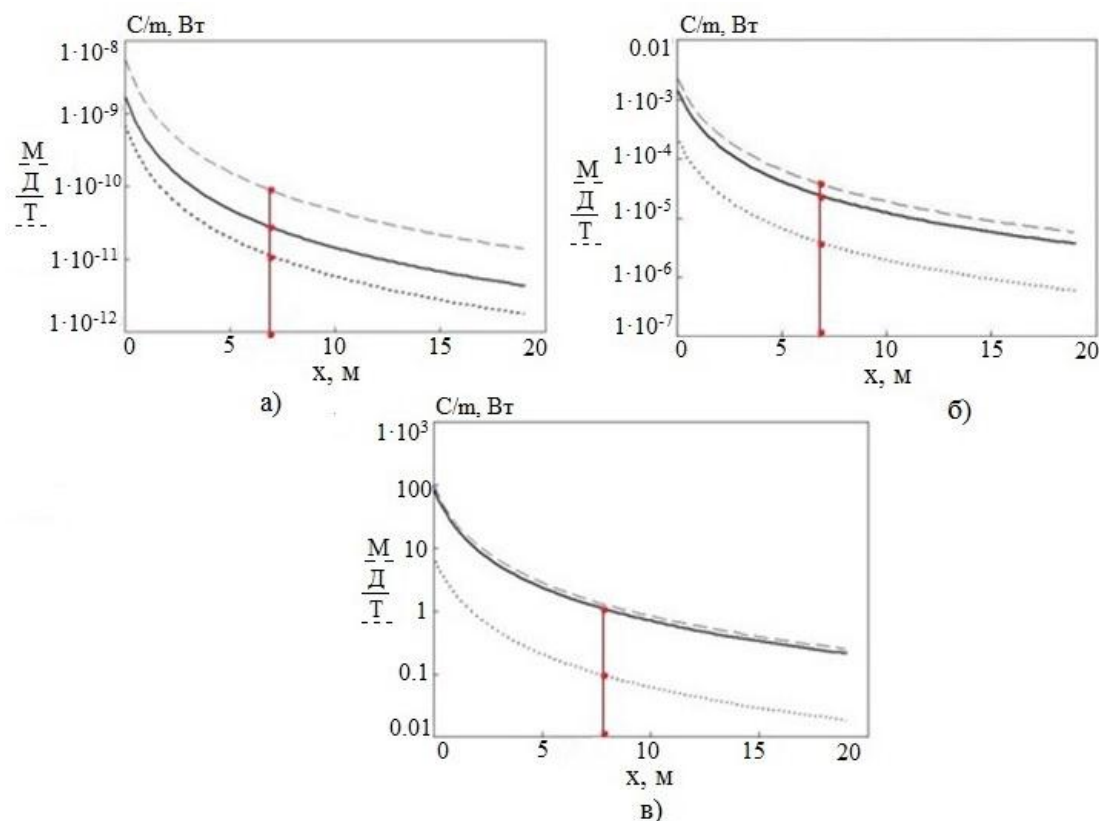


Рисунок 2.23 – Графики зависимости от расстояния x полезного сигнала ($h=3,5\text{м}$), создаваемого вольфрамовой лампой при различной температуре нити накала:

а) $T=600\text{K}$; б) $T=1000\text{K}$; в) $T=1500\text{K}$, в зрительном органе насекомого с различными видами зрения (M – монохромное, D – дихромное, T – трихромное)

Из результатов, представленных на Рисунке 2.23, можно сделать вывод, что значение оптического сигнала для насекомых с монохромным типом зрения, например, комнатной мухи, на два порядка меньше, чем для насекомых с дихромным и трихромным типами зрения, что связано с особенностью фоторецепторов и других параметров глаза, влияющих на спектральную чувствительность. Также прослеживается монотонное убывание оптического сигнала с увеличением расстояния x от селективного источника электромагнитного излучения – вольфрамовой лампы.

При оценке оптического шума (Рисунок 2.24), создаваемого естественными и искусственными источниками излучения, рассмотрены следующие случаи комбинации весовых коэффициентов различных поверхностей: 1) $S_1=1, S_2=S_3=0$; 2) $S_2=1, S_1=S_3=0$; 3) $S_3=1, S_1=S_2=0$ [139]; при этом учтено, что высота селективного источника света над поверхностью земли изменяется в пределах от 1 до 8 м, а среднее значение высоты полета насекомых составляет порядка 2 м.

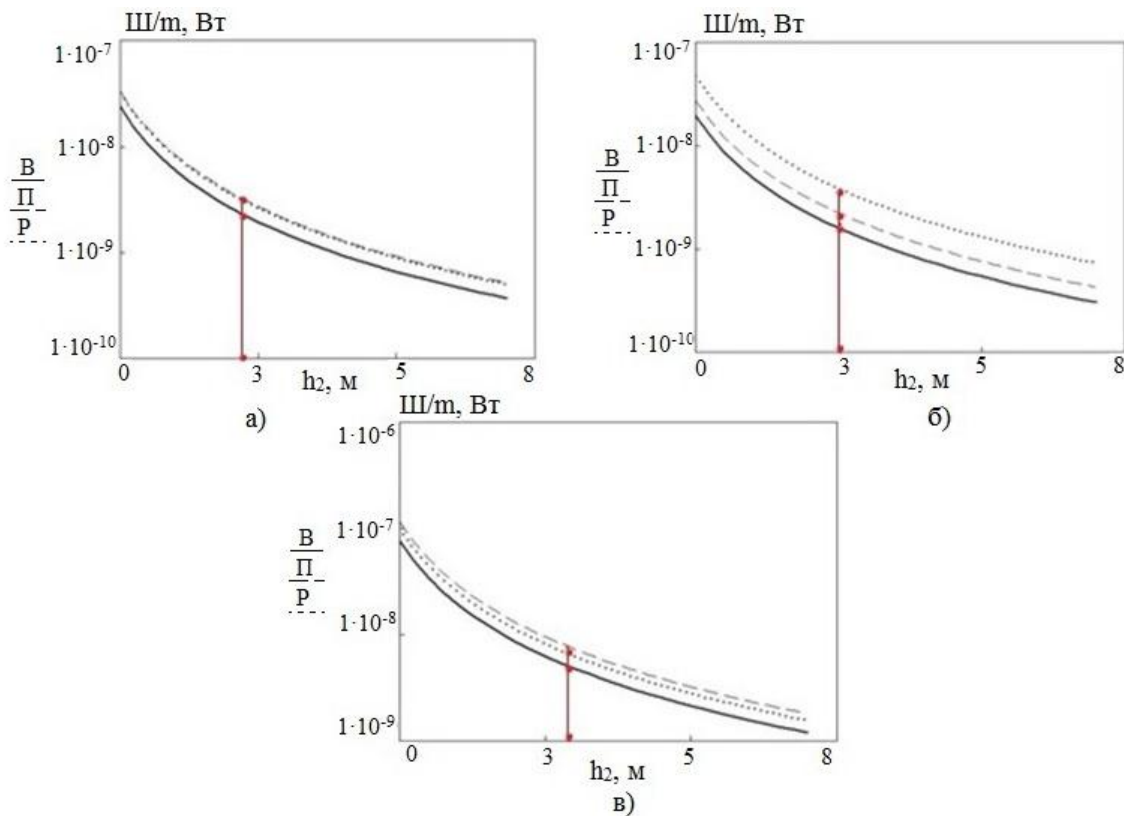


Рисунок 2.24 – Графики оптического шума, создаваемого селективным источником света (К – ксеноновая лампа), в зависимости от высоты до земной поверхности и обусловленного отражением излучения от подстилающей поверхности (В – водная поверхность, П – почва, Р – растительность) для насекомых с различными типами зрения:

а) монохромное, б) дихромное, в) трихромное

Анализ графиков, представленных на Рисунке 2.24, позволяет сделать следующие выводы: для всех видов шумов наблюдается одинаковый характер убывания с высотой от поверхности Земли до источника оптического излучения; шум от водной поверхности на порядок меньше, чем от поверхности почвы и растительности.

В качестве примера приведена одна из комбинаций весовых коэффициентов, показывающая доли площадей, занимаемых природными поверхностями ($S_3=1, S_1=S_2=0$) и рассчитан оптический шум от селективных

источников электромагнитного излучения (галогенная и ксеноновая лампы), а также от вольфрамовой лампы с температурой 1200К для насекомых с различными типами зрения (Рисунок 2.25).

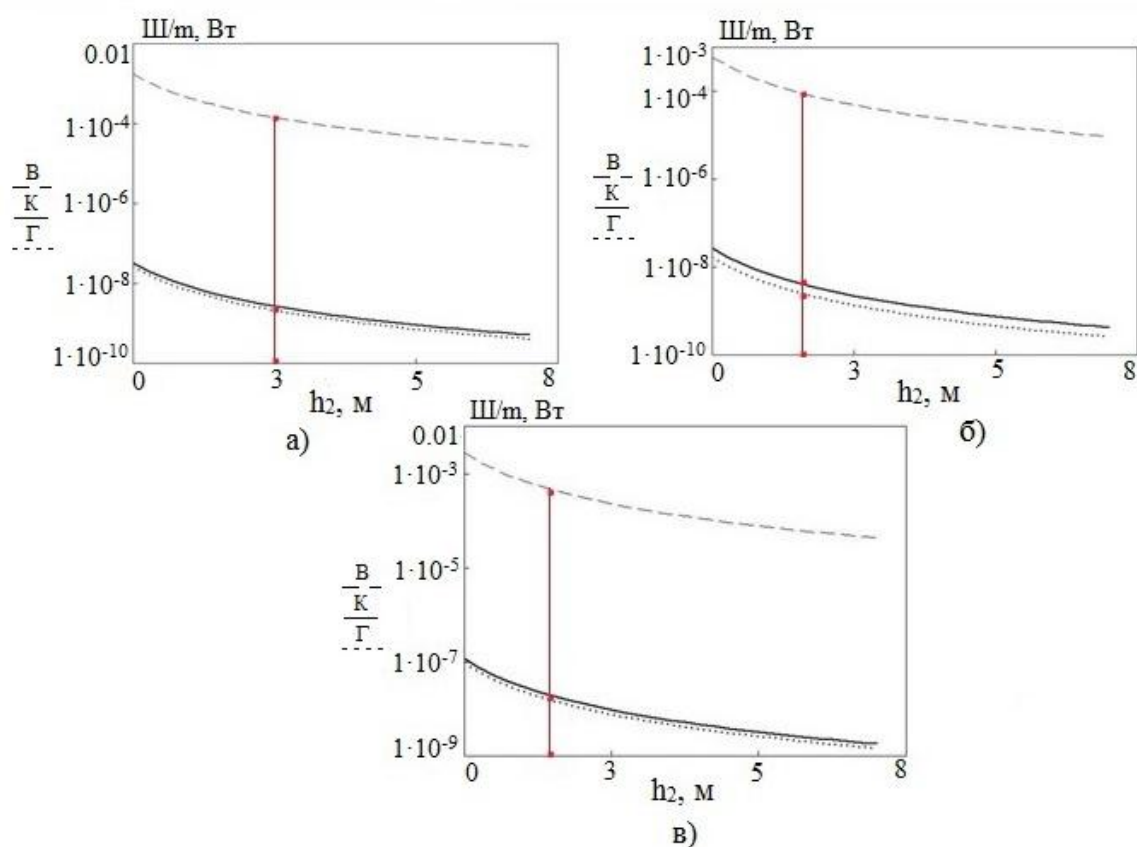


Рисунок 2.25 – Графики оптического шума, создаваемого селективными источниками света (Г – галогенная, К – ксеноновая, В – вольфрамовая лампа при $T=1200\text{K}$), в зависимости от высоты до земной поверхности для насекомых с различными типами зрения:

а) монохромное, б) дихромное, в) трихромное

Абсолютные значения шумов для ксеноновой и галогенной ламп близки для насекомых с моно- и дихромным видами зрения и отличаются на порядок в сторону уменьшения от шума, воспринимаемого насекомыми с трихромным зрением.

В результате расчетов (Рисунок 2.26) были получены значения функции «отношение сигнал/шум», которые лежат в пределах от $1 \cdot 10^{-5}$ до 1, что говорит о достаточно низкой эффективности систем передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения.

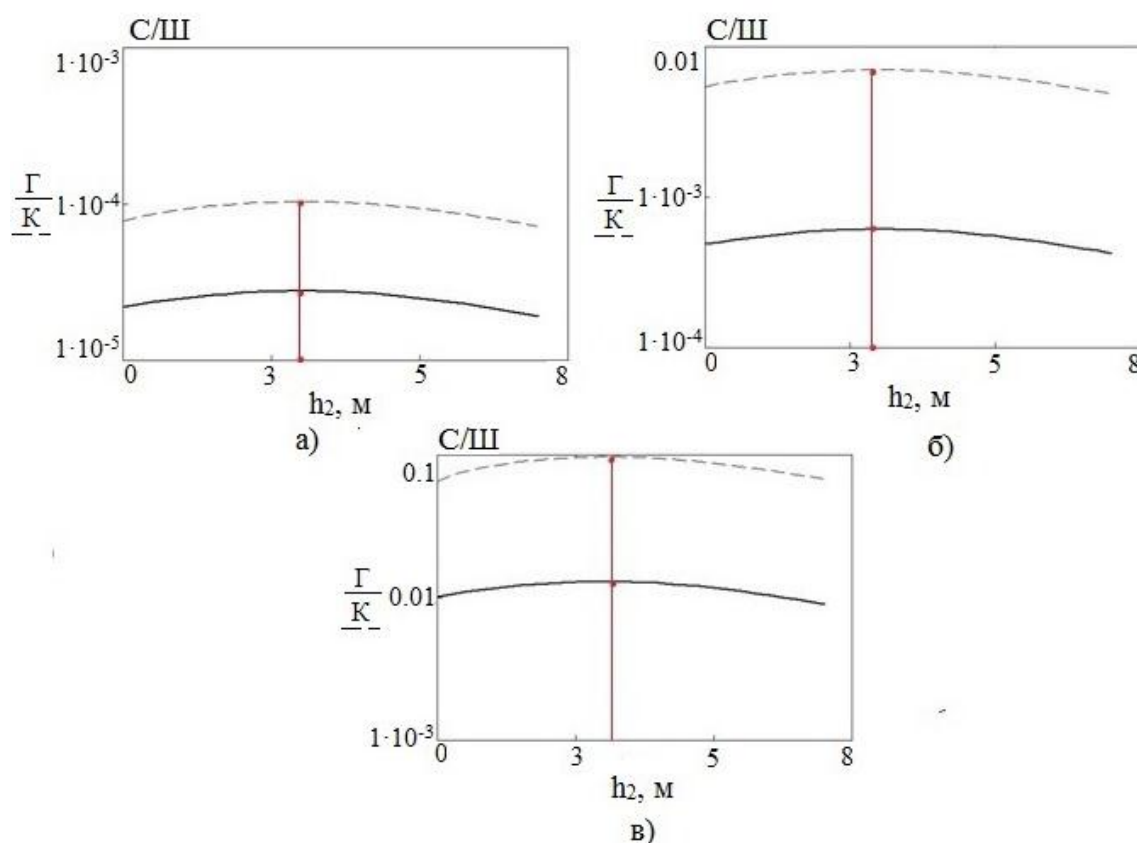


Рисунок 2.26 – Графики зависимости функции «отношение сигнал/шум» от параметров высоты h_2 для насекомых с типами зрения: а) монохромное, б) дихромное, в) трихромное и различных источников электромагнитного излучения (Γ – галогенная лампа, K – ксеноновая лампа, $x=6$ м, $S_1=0$, $S_2=1$, $S_3=0$)

Во всех случаях наблюдается зависимость значения функции «отношение сигнал/шум» от высоты нахождения селективного источника электромагнитного излучения над поверхностью Земли, что определяет ее оптимальную величину для насекомых с различными типами зрения.

Рассмотрим зависимость функции «отношение сигнал/шум» от расстояния между селективным источником излучения и биологическим объектом насекомым (Рисунок 2.27).

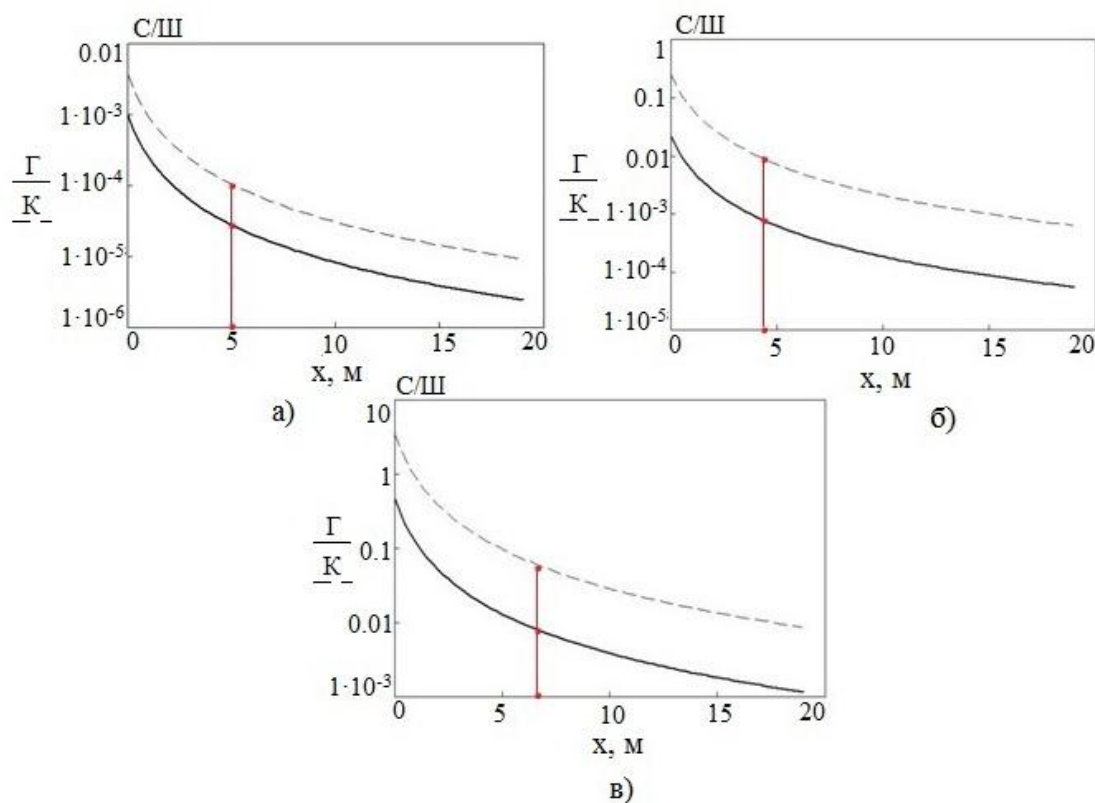


Рисунок 2.27 – Графики зависимости функции «отношение сигнал/шум» от геометрических параметров системы передачи оптического управляющего сигнала для насекомых с типами зрения: а) монохромное б) дихромное, в) трихромное и селективных источников электромагнитного излучения (Γ – галогенная лампа, K –ксеноновая ламп, $h_2=4\text{м}$, $S_1=0$, $S_2=1$, $S_3=0$)

Из анализа кривых на Рисунке 2.27 видно, что на расстоянии 10 метров функция «отношение сигнал/шум» резко убывает, а затем имеет более монотонный характер. Также наблюдается, что функция «отношение сигнал/шум» принимает свое максимальное значение при использовании ксеноновой лампы для насекомых со всеми типами зрения, однако ее значения для обоих селективных источников излучения практически равны для насекомых с монохромным и дихромным видами зрения и выше на порядок для трихромного зрения.

Исследованы зависимости функции «отношение сигнал/шум» и пропускной способности канала передачи информации от температуры нити накала вольфрамовой лампы. Сделан вывод о том, что на практике для достижения эффективной работы устройства достаточно ограничиться температурами не выше 1200K, что положительно скажется на ресурсе работы источника излучения.

С использованием этих расчетов показана зависимость производительности установки от геометрических параметров системы (Рисунок 2.28).

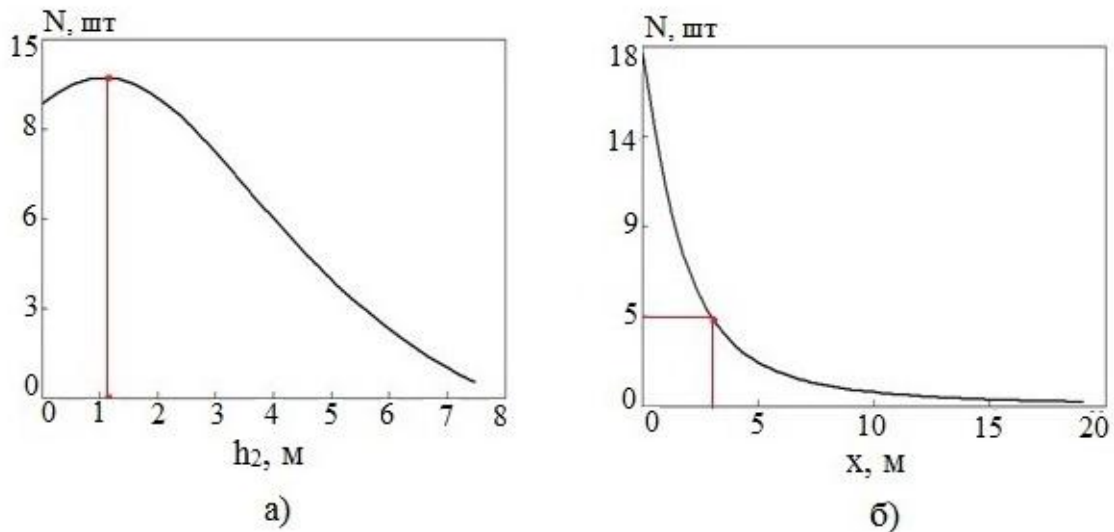


Рисунок 2.28 – Графики зависимости производительности установки от: а) высоты h_2 , б) расстояния x при температуре нити накала вольфрамовой лампы $T=1200\text{K}$ для насекомых с трихромным типом зрения 20 мая с 8.00-9.00

Анализ графиков, представленных на Рисунке 2.28, показывает, что производительность установки N существенно меняется с высотой расположения источника электромагнитного излучения над земной поверхностью, а именно: принимает максимальное значение при высоте порядка $h=1$ м, а затем значительно убывает с высотой. При увеличении расстояния от вольфрамовой лампы до насекомого от 0 до 3,5 м производительность установки резко снижается, на порядок, а при значениях x более 3,5 м и до 20 м монотонно стремится к нулю.

Разработанная математическая модель объекта исследования учитывает не только особенности восприятия оптической информации насекомыми с различными типами зрения, но также зависимости пропускной способности канала передачи информации и, как следствие, производительности установки от особенности ландшафта местности среды обитания насекомых.

Для имитации реальных ландшафтных условий в системах передачи оптического сигнала насекомым применялся генератор случайных чисел, который моделирует случайное изменение весовых коэффициентов параметров системы в соответствии со следующими зависимостями [5, 12]:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= rnd(1) \\
 S_2 &= rnd(1 - S_1), \\
 S_3 &= 1 - S_1 - S_2
 \end{aligned}
 \tag{2.50}$$

где $rnd(1)$ – функция, позволяющая получить равномерно распределенное случайное число в заданном интервале значений $[0,1]$.

В качестве примера приведены расчеты характеристик объекта исследования и графики (Рисунок 2.29) зависимостей функции «отношение сигнал/шум» для нескольких случайных наборов весовых коэффициентов (Таблица 7) [73, 74].

Таблица 7 – Наборы весовых коэффициентов отражательных характеристик природных поверхностей

Вариант набора Весовые коэффициенты	M_1	M_2	M_3
S_1	0,16	0,83	0,43
S_2	0,62	0,09	0,54
S_3	0,23	0,08	0,03

Из анализа графиков на Рисунке 2.29 следует, что для всех наборов весовых коэффициентов природных поверхностей наблюдается зависимость максимального значения функции «отношение сигнал/шум», пропускной способности и производительности установки от высоты нахождения селективного источника электромагнитного излучения над поверхностью Земли. Рассмотренные функции принимают максимальное значение на высоте интервалом от 3 до 4м для насекомых со всеми типами зрения и существенно меняются в зависимости от особенностей ландшафта местности.

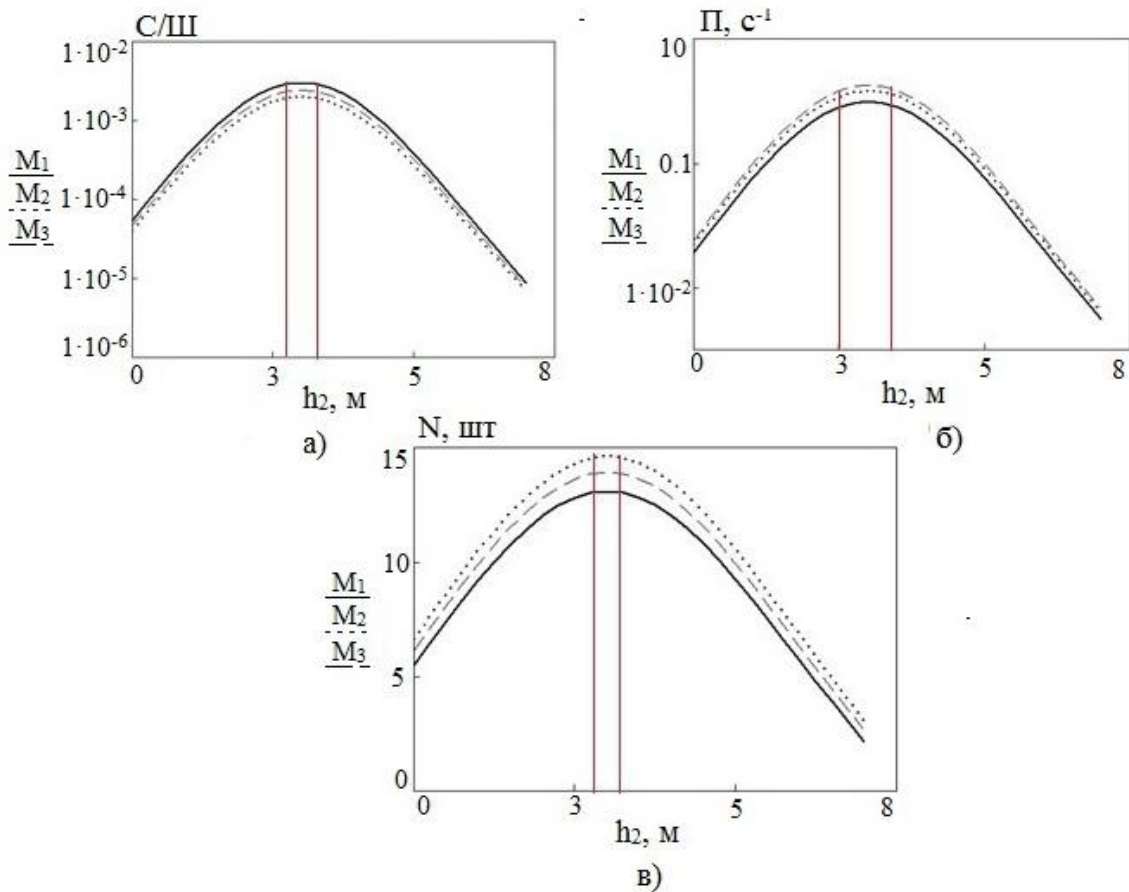


Рисунок 2.29 – Графики зависимостей а) функции «отношение сигнал/шум» для насекомых с монохромным типом зрения и галогенной лампы; б) пропускной способности канала передачи информации для насекомых с дихромным типом зрения и ксеноновой лампы; в) производительности установки для насекомых с трихромным типом зрения и вольфрамовой лампы накаливания при температуре 1200К, 15 июня с 12.00-13.00 от высоты h_2 селективного источника излучения, $x=5$ м, при произвольном наборе весовых коэффициентов природных поверхностей (M_1, M_2, M_3)

Известно, что Солнце обеспечивает энергией многие процессы, происходящие на Земле, включая климатические явления, которые отличаются для различных зон и испытывают ярко выраженные сезонные изменения. Суммарное количество солнечной энергии, падающей каждую секунду на Землю, остается почти неизменной в течение всего года, если пренебречь эллиптичностью земной орбиты. Но эта энергия распределена неравномерно по широтам и существенно образом изменяется как в течение суток, так и в течение года. Причиной является суточное вращение Земли вокруг своей оси, наклоненной к плоскости земной орбиты (плоскости эклиптики) [17, 37].

Если пренебречь потерями света в атмосфере, то энергетическую освещенность земной поверхности на заданной широте φ можно определить в момент t текущих суток местного времени выражением [4, 37]:

$$E(\varphi, n, t) = \begin{cases} Q \cos \theta(\varphi, n, t), & \cos \theta(\varphi, n, t) > 0, \\ 0, & \cos \theta(\varphi, n, t) < 0, \end{cases} \quad (2.51)$$

где Q – количество солнечной энергии, падающей на единицу нормальной площадки вне земной атмосферы, называемой солнечной постоянной ($Q = 1.37$ кВт/м²); φ – широта местности, n – число полных суток от начала года, t – время суток. Среднее солнечное время t отвечает условию $0 < t < \tau_0$, где средние солнечные сутки $\tau_0 = 24$ ч.

Зависимость косинуса угла падения θ солнечных лучей от времени и широты местности устанавливается известным из сферической астрономии соотношением [35]:

$$\cos \theta(\varphi, n, t) = \cos \varphi \cdot \cos \delta(n) \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{\tau_0} \left(t + \frac{\tau_0}{2} \right) \right] + \sin \varphi \cdot \sin \delta(n) \quad (2.52)$$

Здесь δ – угол склонения, дополняющий до $\pi/2$ угол между земной осью и направлением от точки наблюдения к центру солнечного диска. Он изменяется медленно, с периодом равным тропическому году $\tau_1 = 365.2422 \cdot \tau_0$. Поэтому, пренебрегая изменением склонения δ в течение суток, полагаем его зависящим только от номера суток n . Согласно принятому календарю полагаем в обычные годы $\tau_1 = 365 \cdot \tau_0$, в високосные – $\tau_1 = 366 \cdot \tau_0$. Для определенности считаем широты φ в северном полушарии положительными, а в южном полушарии – отрицательными.

Синус угла склонения Солнца как функция числа n истекших суток от начала года выражается формулой [35]:

$$\sin \delta(n) = \sin \eta \cdot \cos \varepsilon(n), \quad (2.53)$$

где η – угол между земной осью и перпендикуляром к плоскости земной орбиты ($\eta = 23^\circ 27'$); $\varepsilon(n)$ – азимутальный угол земной оси в плоскости земной орбиты, временная зависимость которого выражается формулой [35]:

$$\varepsilon(n) \approx \frac{2\pi\tau_0}{\tau_1} (n-172). \quad (2.54)$$

Косинус склонения Солнца равен $\cos \delta(n) = \sqrt{1 - \sin^2 \delta(n)}$. Сдвиг переменной n в формуле (2.54) на 172 необходим при пользовании общепринятым календарем, в котором год начинается с 1 января.

Условия восхода и захода Солнца на широте φ имеют вид уравнения [37]:

$$\cos \theta(\varphi, n, t) = 0, \quad (2.55)$$

положительные решения которого t_1 и t_2 , лежащие в интервале $(0; \tau_0)$, представляют собой время восхода и захода центра солнечного диска без учета атмосферной рефракции. С учетом уравнения (2.55) получаем для северного полушария [35, 37]:

$$t_1(n, \varphi) = \frac{\tau_0}{2\pi} \arccos \left(\operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{\sin \delta(n)}{\cos \delta(n)} \right), \quad (2.56)$$

$$t_2(n, \varphi) = \frac{\tau_0}{2\pi} \left[2\pi - \arccos \left(\operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{\sin \delta(n)}{\cos \delta(n)} \right) \right]. \quad (2.57)$$

Времена восхода и захода верхнего края солнечного диска с учетом атмосферной рефракции отличаются от t_1 и t_2 поправкой в несколько угловых минут, которая при необходимости может быть легко учтена. Времена t_1 и t_2 зависят от числа n истекших суток от начала года и широты φ , а их разность определяет долготу дня.

При исследовании процесса передачи оптического сигнала насекомым была выявлена зависимость информационных и энергетических характеристик от режима естественной освещенности на территории Астраханской области ($\varphi=46^\circ$).

Солнечная энергия, падающая на поверхность Земли, существенно изменяется, как в течении суток, так и в течении года (Рисунок 2.30).

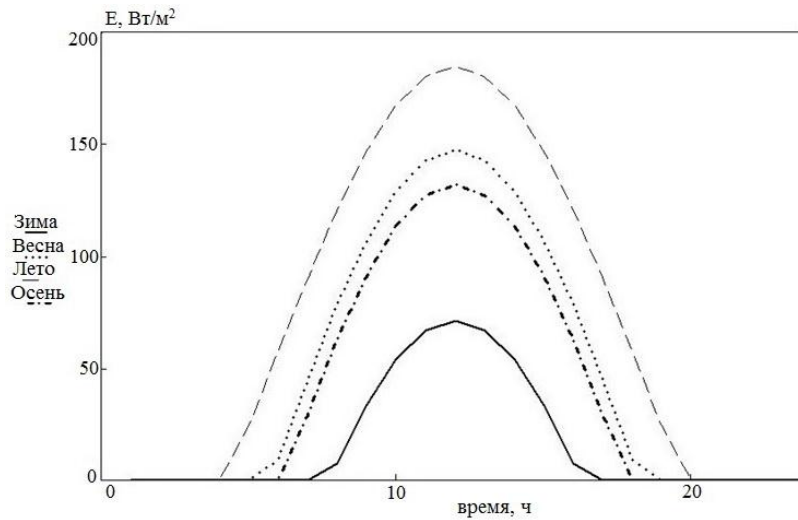


Рисунок 2.30 – График зависимости естественной освещенности от времени суток в различное время года

Используя известные соотношения астрономии по расчету облученности земной поверхности, шум от прямой солнечной подсветки можно представить в виде [71, 72]:

$$Ш_C = S_{o.3} \cdot \frac{m}{\pi} \left(\frac{R_c}{R_{3.o}} \right)^2 \cos \theta(\varphi, n, t) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \xi(\lambda, T) k(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda, \quad (2.58)$$

Выражение для шума $Ш_{C.3}$ с учетом изменения освещенности в течении года и времени суток имеет вид [72]:

$$Ш_{C.3} = S_{o.3} \cdot \frac{m}{\pi} \left(\frac{R_c}{R_{3.o}} \right)^2 \cos \theta(\varphi, n, t) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \xi(\lambda, T) k(\lambda) \tau(\lambda) Noise(\lambda) \exp(-q(\lambda)) d\lambda. \quad (2.59)$$

Известно, что активность насекомых значительно меняется в зависимости от времени года и различна в течение суток. Поэтому оптический шум, воспринимаемый насекомыми, имеет прямую зависимость от меняющегося уровня естественной освещенности (Рисунок 2.31).

Значение оптического шума воспринимаемого органами зрения насекомых, имеет максимум в определенное время суток, что напрямую связано с изменением естественной освещенности и минимально в ночное время, так как отсутствует основной природный источник шума – Солнце.

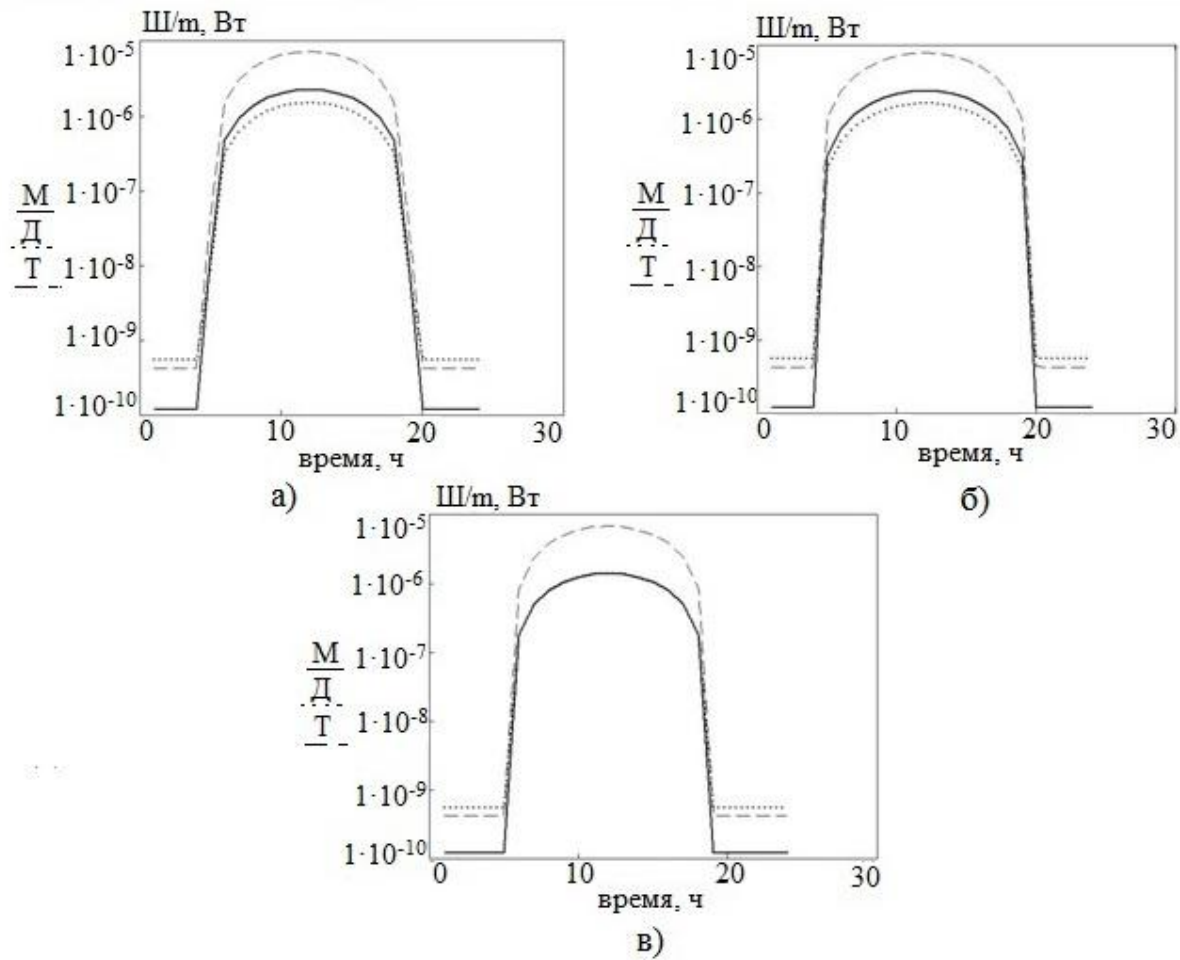


Рисунок 2.31 – Графики оптического шума, создаваемого селективным источником света (ксеноновая лампа, $x=5\text{м}$, $h_2=4\text{м}$, $S_1=0,2$, $S_2=0,3$, $S_3=0,5$) в зависимости от энергетической освещенности земной поверхности в различное время года: а) весна, б) лето, в) осень для типов зрения насекомых (М – монохромное, Д – дихромное, Т – трихромное)

Так как функция «отношение сигнал/шум» обратно пропорциональна суммарному оптическому шуму и имеет прямую зависимость с пропускной способностью канала передачи информации, а также производительностью установки можно проследить их зависимость от уровня освещенности, создаваемого Солнцем на земной поверхности в течение суток и с учетом времени года (Рисунок 2.32). В данном случае не рассматриваются зимние месяцы года, так как они не совпадают с активной фазой жизнедеятельности насекомых.

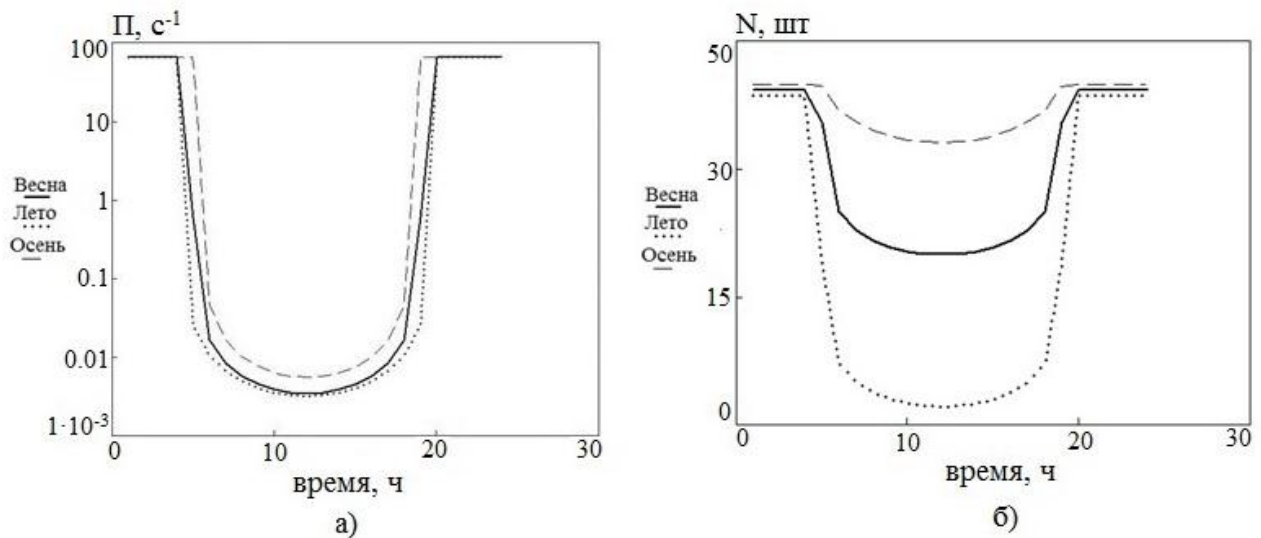


Рисунок 2.32 – Графики зависимости а) пропускной способности канала передачи информации с использованием галогенной лампы; б) производительности установки (количества пойманных в ловушку насекомых и вольфрамовой лампы ($T=1200\text{K}$) от энергетической освещенности земной поверхности в различное время года для насекомых с трихромным типом зрения ($x=5\text{м}$, $h_2=4\text{м}$, $S_1=0,2$, $S_2=0,3$, $S_3=0,5$)

Из анализа графиков на Рисунке 2.32 видно, что как пропускная способность канала передачи информации Π так и производительность установки N существенно меняются, то есть принимают максимальное значение в ночное время суток, а затем резко убывают и в момент времени $t=12\text{ч}$ имеют минимальное значение. Также стоит заметить, что количество пойманных в ловушку насекомых значительно меняется в различное время года, что связано с уровнем освещенности, создаваемым Солнцем. Данные графики подтверждают, что режим естественной освещенности непосредственным образом влияет на процесс передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения.

Выводы по второй главе:

1. При анализе систем передачи оптического сигнала насекомым сформулирована задача выбора их параметров, при которых критерий эффективности, их производительность, принимает максимальное значение.
2. Обоснована и разработана математическая модель эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения, при этом выполнен анализ источников шумов естественного и искусственного происхождения; получены аналитические выражения функций

спектральных чувствительностей глаз насекомых с различными типами зрения, спектральной излучательной способности Солнца и Луны, прозрачности атмосферы в УФ и видимой частях спектра, излучательной способности селективных источников электромагнитного излучения, спектральных коэффициентов отражения ряда природных поверхностей.

3. Создана экспериментальная установка, с помощью которой выполнен натурный эксперимент для проверки адекватности разработанной математической модели эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым.
4. Построен алгоритм и создано программное обеспечение для расчета характеристик системы передачи оптического сигнала насекомым.
5. Выполнено математическое моделирование зависимостей оптического сигнала, шумов естественного и искусственного происхождения, функции «отношение сигнал/шум» от геометрических параметров системы, определены оптимальные значения высоты источников электромагнитного излучения и расстояния между источником сигнала и насекомым, при которых производительность установки принимает максимальное значение.
6. Получены зависимости пропускной способности канала передачи информации и производительности установки от геометрических параметров системы, набора весовых коэффициентов природных поверхностей, времени года и времени суток.
7. Показано, что особенность ландшафта местности и режим естественной освещенности изменяющийся в течении года и в различное время суток влияет на количество пойманных в ловушку насекомых. Пропускная способность канала передачи информации и производительность установки (количество пойманных в ловушку насекомых) принимает максимальное значение в ночное время суток, в связи с отсутствием солнечной засветки и отличается на 30% в различные месяцы года (не рассматриваются зимние месяцы, так как они не совпадают с активной фазой насекомых).

8. Полученные значения функции «отношение сигнал/шум», которые лежат в интервале $[0,1]$, говорят о недостаточно высокой эффективности систем передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения.

Глава 3 Повышение эффективности систем передачи оптического сигнала насекомым с применением метода внешней (оптической) фильтрации.

3.1 Разработка математической модели систем передачи оптического сигнала насекомым с использованием метода внешней (оптической) фильтрации

Результаты, полученные во второй главе диссертационной работы, показали, что в ряде случаев эффективность установки остается достаточно низкой. Поэтому предложено использовать известный и апробированный в оптико-электронике метод внешней (оптической) фильтрации, который заключается в использовании различных оптических фильтров [3].

Основная идея оптической пространственной фильтрации состоит в использовании различных амплитудных, фазовых или амплитудно-фазовых оптических фильтров (светофильтров, фазовых пластинок, диафрагм, голограмм и др.), размещаемых в области локализации Фурье-спектра передаваемого через оптическую систему изображения. В результате электромагнитное излучение оптического диапазона передаваемых сигналов заданным образом изменяется, что и обуславливает требуемое изменение формы сигналов на выходе такой оптической системы [44].

По характеру воздействия на проходящий поток излучения фильтры делят на нейтральные и селективные. Нейтральные или серые фильтры ослабляют интенсивность потока излучения без изменения его спектрального состава. Селективные фильтры служат для изменения спектрального распределения энергии потока излучения, выделяя определенный диапазон его спектра путем поглощения, отражения или рассеяния энергии остальных участков (полос) спектра [44, 45]. Применение селективных фильтров обосновано тем, что все функции, описывающие элементы системы передачи оптического сигнала

насекомым и входящие в выражение функции «отношение сигнал/шум», носят селективный характер.

В зависимости от широты пропускания селективные фильтры разделяются на широкополосные, узкополосные и монохроматические (интерференционные). Основными характеристиками фильтра являются общий или интегральный коэффициент пропускания, его спектральное распределение, т.е. спектральная или спектрофотометрическая характеристика фильтра, а также его геометрические и конструктивные параметры. Также оптические фильтры с учетом выделяемой области спектра разделяются на полосовые и отрезающие [3].

Наиболее распространенными моделями фильтров являются: фильтр Гаусса, фильтр Лоренца, фильтр с нижней или верхней границей, прямоугольный фильтр [1, 44]. Ниже приведены функции пропускания указанных фильтров:

фильтр, спектральный коэффициент пропускания которого описывается функцией Гаусса:

$$f(\lambda) = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (3.1)$$

где λ_0 – длина волны, соответствующая центру полосы пропускания фильтра, σ – дисперсия;

фильтр, спектральный коэффициент пропускания которого описывается функцией Лоренца:

$$f(\lambda) = \frac{a_0}{1 + \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\Delta} \right)^2}, \quad (3.2)$$

Δ – полуширина полосы пропускания фильтра, a_0 – максимальная ордината в центре полосы пропускания фильтра;

прямоугольный фильтр и фильтры с верхней и нижней границей:

$$f(\lambda) = \begin{cases} 0, \lambda < \lambda_n \\ const, \lambda \geq \lambda_n \\ const, \lambda \leq \lambda_e \\ 0, \lambda > \lambda_e \end{cases}. \quad (3.3)$$

λ_n – нижняя граница фильтра, λ_e – верхняя граница фильтра.

Одним из способов повышения эффективности систем передачи электромагнитного излучения оптического диапазона насекомым заключается в применении внешней (оптической) фильтрации, которая позволяет во много раз увеличить пропускную способность канала передачи оптической информации объекту управления (Рисунок 3.1) с учетом типа зрения насекомого (монохромного, дихромного или трихромного), а также спектральной излучательной способности источника, пропускания атмосферы Земли, географических, геометрических и ландшафтных характеристик системы [79].

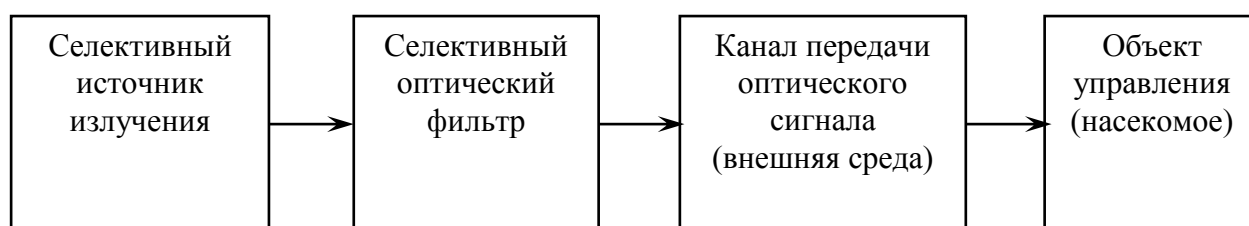


Рисунок 3.1 – Структурная схема объекта исследования с применением метода внешней (оптической) фильтрации

Так как производительность системы передачи оптического сигнала насекомым (Глава 2, Выражение 2.3) в конечном счете определяется Π , то о результативности выбора эффективных параметров систем передачи оптического сигнала насекомым на основе разработанной математической модели объекта исследования можно судить по значению величины $\psi = \Pi_2 / \Pi_1$, где Π_2 и Π_1 – пропускные способности канала передачи информации в системах с оптическим фильтром и без него, соответственно [80, 142].

Для системы с применением метода внешней (оптической) фильтрации выражение для оптического сигнала примет вид [88]:

$$C_{\phi} = S_{o.з} \cdot \frac{m}{l^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) f(\lambda) \tau(\lambda) \exp(-q(\lambda) \cdot l) d\lambda, \quad (3.4)$$

где $f(\lambda)$ – спектральный коэффициент пропускания фильтра.

В этом случае оптический шум, обусловленный отражением искусственного излучения от земной поверхности, определяется выражением:

$$(\text{Ш}_{\text{ш.з}})_{\phi} = S_{\text{ш.з}} \cdot \frac{m}{h_2^2 \cdot \pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) f(\lambda) \tau(\lambda) \text{Noise}(\lambda) \exp(-q(\lambda) \cdot h_2) d\lambda. \quad (3.5)$$

Функция «отношение сигнал/шум» в системе передачи оптического сигнала насекомым с применением метода внешней (оптической) имеет вид:

$$\left(\frac{C}{\text{Ш}} \right)_{\phi} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) f(\lambda) \tau(\lambda) \exp(-q(\lambda) \cdot l) d\lambda}{l^2 (\text{Ш}_C + \text{Ш}_L + \text{Ш}_{\text{ш.з}} + \text{Ш}_{\text{л.з}} + (\text{Ш}_{\text{ш.з}})_{\phi})}. \quad (3.6)$$

Построенная математическая модель объекта исследования с применением метода внешней (оптической) фильтрации позволяет решить ряд задач таких, как исследование зависимости функции «отношение сигнал/шум» от параметров фильтра (λ_0 , σ , Δ); расстояния до объекта управления x , расстояния между источником излучения и земной поверхностью h_2 , весовых коэффициентов, определяющих ландшафт местности среды обитания насекомых [81].

На основе разработанной математической модели с применением метода внешней (оптической) фильтрации построен алгоритм, который позволяет рассчитать основные характеристики системы передачи оптического сигнала насекомым с учетом всех влияющих факторов (Рисунок 3.2).

Алгоритм содержит следующие операции:

1. формирование баз данных с различными типами зрения, источников электромагнитного излучения и оптических фильтров;
2. выбор комбинаций пар «насекомое – источник излучения»;
3. расчет основных характеристик системы: функция «отношение сигнал/шум» $(C/\text{Ш})_{\phi}$ и пропускная способность канала передачи информации Π_{ϕ} .
4. структурная оптимизация системы передачи оптического сигнала насекомым из условия максимального значения $(C/\text{Ш})_{\phi}$.
5. реализация выполнения пп. 1-5 алгоритма после обращения к базе данных оптических фильтров;

6. вывод на печать результатов расчета оптимальных параметров системы, а также графиков зависимостей $(C/Ш)_\phi$ и P_ϕ от ее основных параметров.

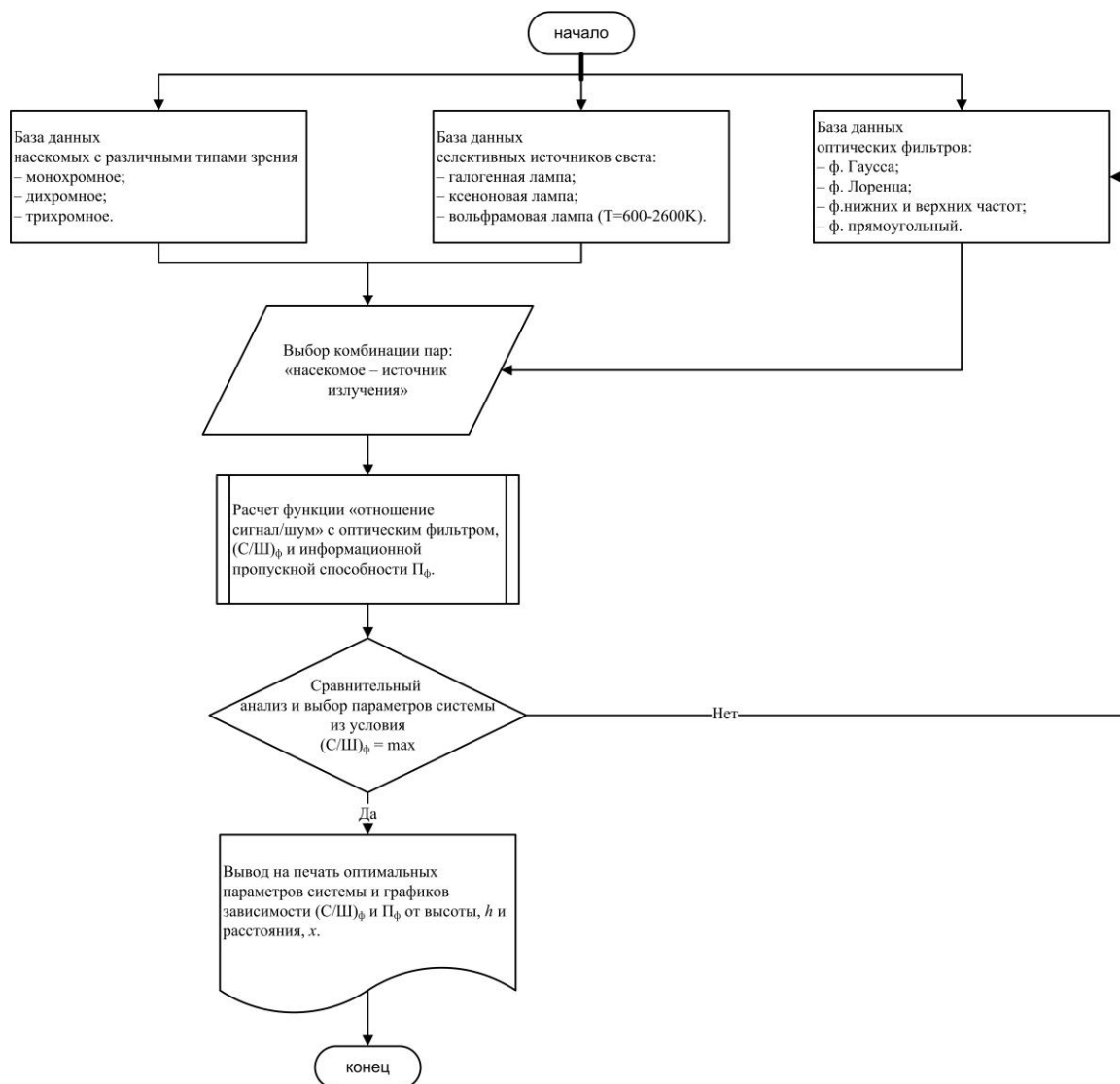


Рисунок 3.2 – Алгоритм расчета характеристик объекта исследования с применением метода внешней (оптической) фильтрации

Разработанный программный комплекс, в основе которого содержится предложенный алгоритм (Рисунок 3.2), реализует расчет параметров системы объекта исследования в зависимости от геометрических параметров, естественной освещенности в различное время года и суток, ряда географических факторов внешней среды, а также параметров селективных оптических фильтров (Рисунок 3.2) [34,83] (Приложение Е).

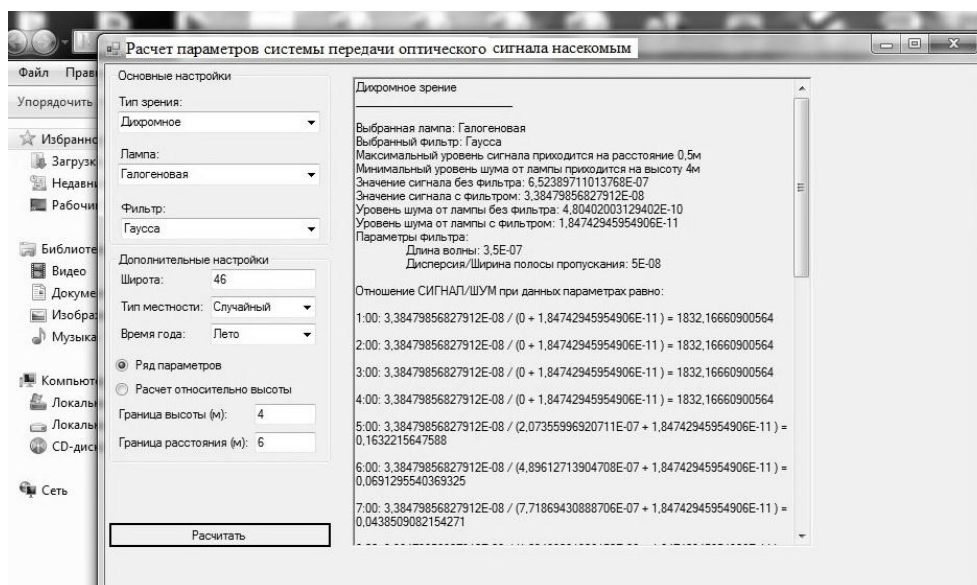


Рисунок 3.3 Интерфейс программного комплекса для расчета параметров объекта исследования

Программный комплекс используется для проектирования эффективных технических систем передачи оптического сигнала насекомым, а также при изучении таких учебных дисциплин, как общая физика, информатика, экология, биофизика студентами физико-технического, математики и информационных технологий, а также биологического факультетов (Приложение Ж).

3.2 Влияние внешней (оптической) фильтрации с применением прямоугольного фильтра и фильтров с верхней и нижней границей на эффективность систем передачи оптического сигнала насекомым

Разработанная математическая модель объекта исследования с применением метода внешней (оптической) фильтрации позволила с использованием полученных аналитических выражений выполнить расчеты

параметров эффективных систем и провести анализ их характеристик (Рисунок 3.4).

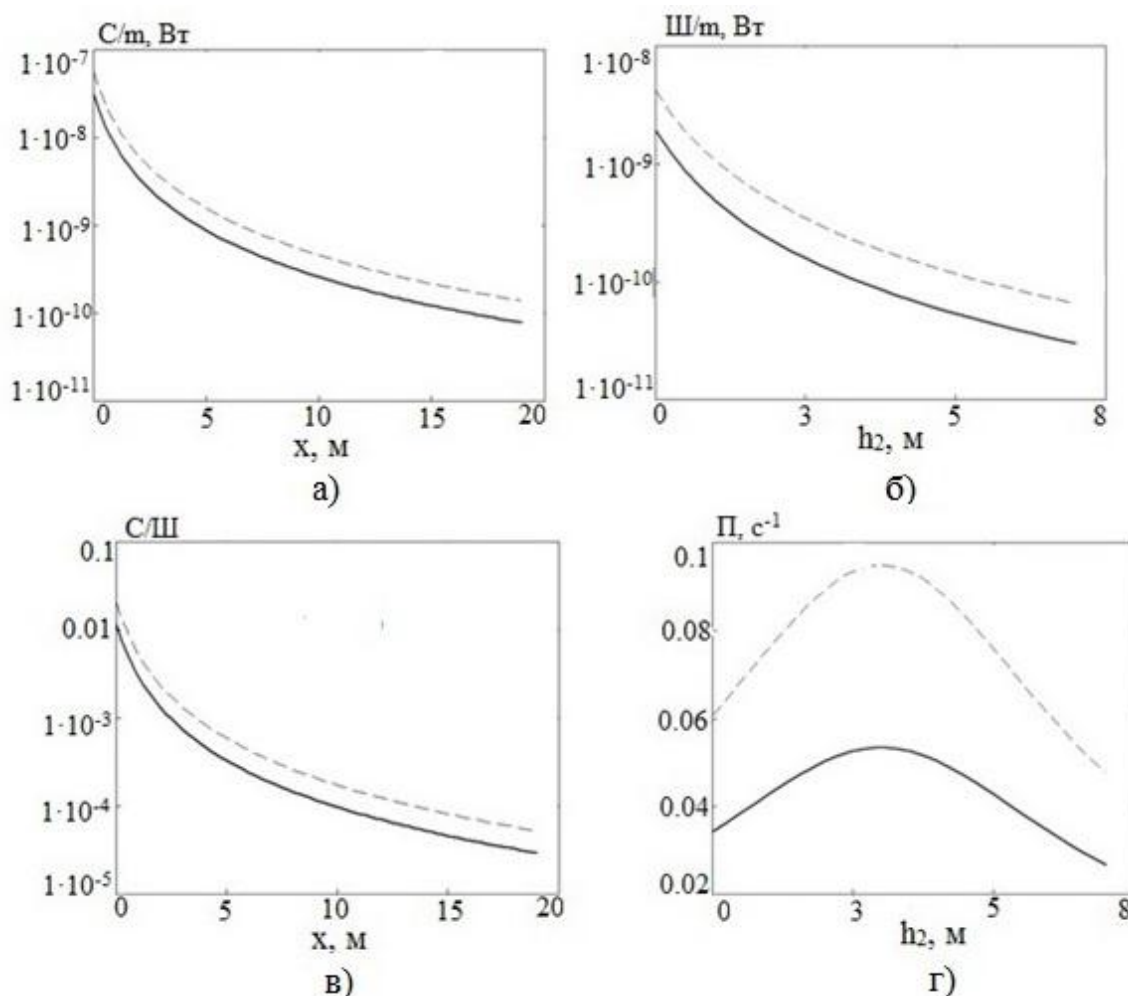


Рисунок 3.4 – Графики зависимости от высоты h_2 и расстояния x при заданных значениях весовых коэффициентов ($S_1=0.2$, $S_2=0.6$, $S_3=0.2$), 18 мая, искусственного источника света – ксеноновая лампа и прямоугольного фильтра: а) оптического управляющего сигнала, б) оптического шума, в) функции «отношение сигнал/шум», г) информационной пропускной способности для насекомых с монохромным типом зрения без применения (—) и с применением (-----) фильтра

Из анализа графиков на Рисунке 3.4 видно, что значение «функции отношение сигнал/шум» с увеличением расстояния от источника излучения монотонно убывает, в то время как зависимость пропускной способности канала передачи информации от высоты нахождения селективного источника света над поверхностью Земли имеет свой максимум ($h_2=4м$), однако их значения с применением прямоугольного фильтра практически не увеличиваются.

Известно, что значение функции «отношение сигнал/шум» имеет обратную зависимость от суммарного оптического шума, поэтому можно проследить ее

изменение не только от уровня освещенности, но также и от времени суток с применением прямоугольного фильтра (Рисунок 3.5).

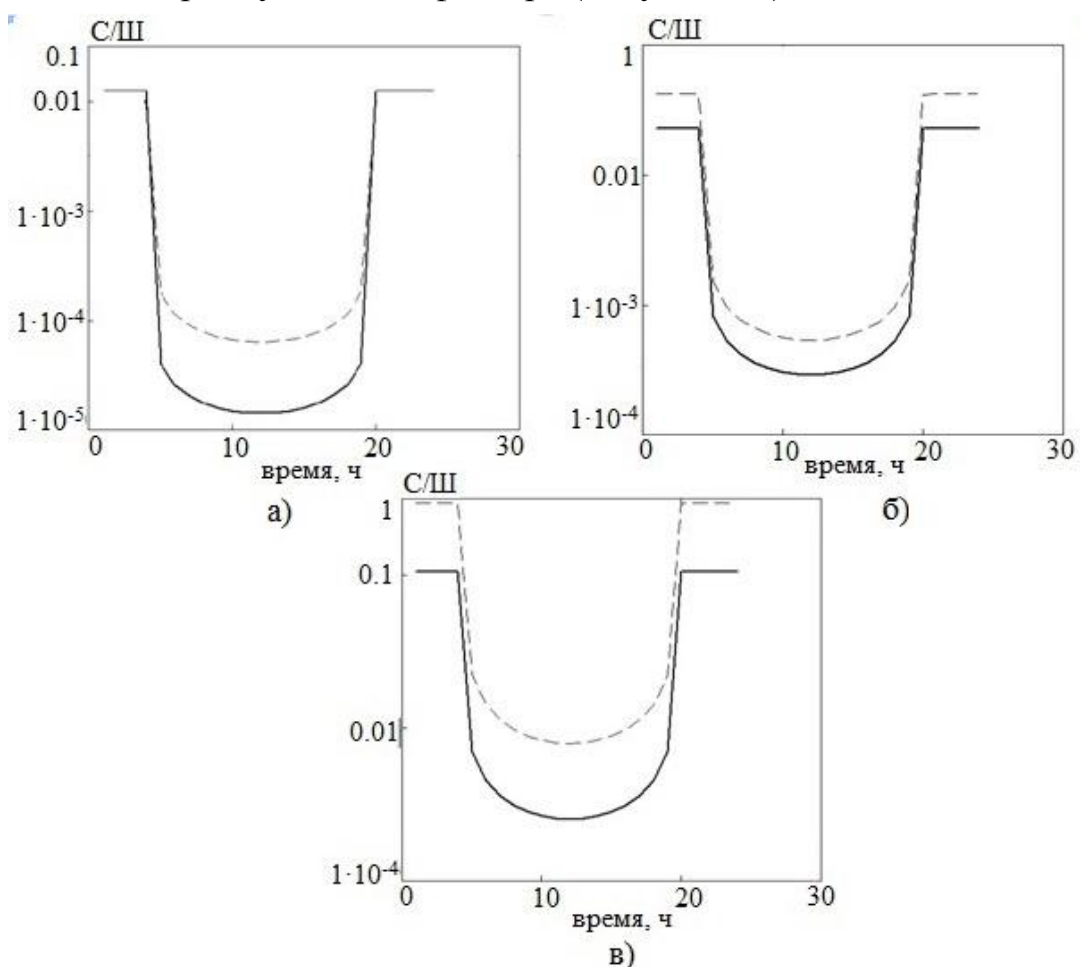


Рисунок 3.5 – Графики зависимости функции «отношение сигнал/шум» для насекомых с различными типами зрения: а) монохромное, б) дихромное, в) трихромное от времени суток с использованием селективного источника света галогенная лампа без применения (—) и с применением (----) прямоугольного фильтра

Из анализа графиков на Рисунке 3.5 видно, что значения функции «отношение сигнал/шум» для насекомых с различными типами зрения существенно отличаются, что связано с особенностями строения зрительного органа, а также имеют свое минимальное значение в дневные часы и резко возрастают в ночное время суток. Однако можно заметить, что применение прямоугольного фильтра не дает ожидаемого результата по существенному и приемлемому для решения практических задач увеличению значения функции «отношение сигнал/шум».

При расчете производительности установки с применением прямоугольного оптического фильтра и часто используемого на практике селективного источника

электромагнитного излучения – лампы с вольфрамовой нитью накала получены следующие зависимости (здесь $T \approx 1200\text{K}$) (Рисунок 3.6).

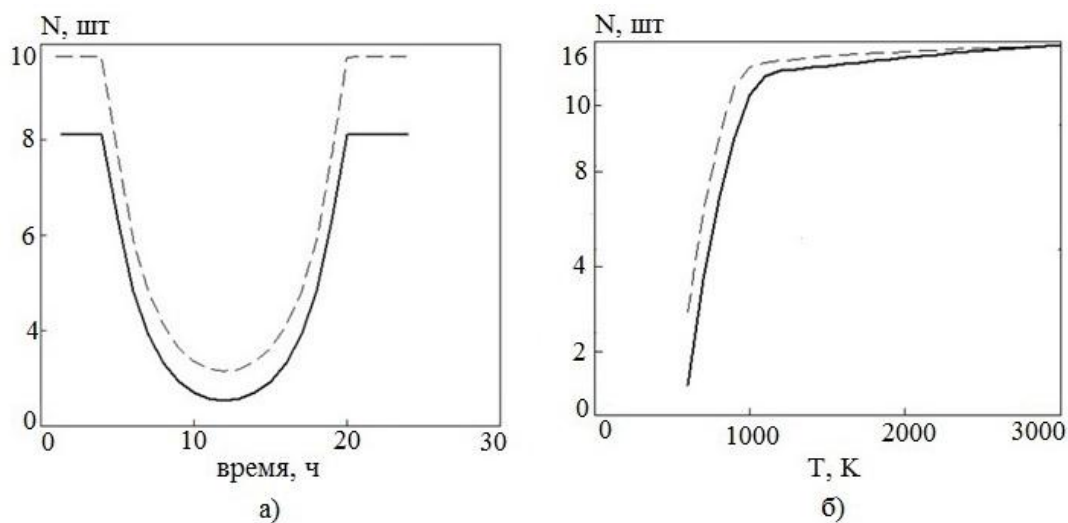


Рисунок 3.6 – График зависимости производительности установки для насекомых с трихромным типом зрения и вольфрамовой лампы от: а) времени суток, б) температуры нити накала без применения (—) и с применением (----) прямоугольного фильтра

Анализ полученных выше зависимостей говорит о том, что использование прямоугольного фильтра для увеличения производительности установки не дало значительных результатов (Рисунок 3.7), увеличение имеется, но в пределах порядка.

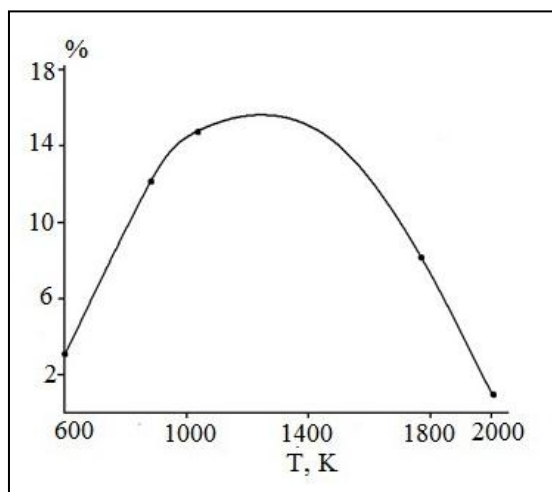


Рисунок 3.7 – Процентное увеличение производительности установки с применением прямоугольного фильтра для различной температуры нити накала вольфрамовой лампы

Из графика видно, что с применением прямоугольного фильтра производительность установки с ростом температуры нити накала от 600 до 1300К увеличивается в 7 раз, а при температурах выше 1300К стремительно

уменьшается. Наряду с прямоугольными фильтрами имеет место использование фильтров с верхней (Рисунок 3.8) и нижней (Таблица 8) границей для расчета эффективных параметров системы передачи оптического сигнала насекомым различных классов с учетом среды их обитания.

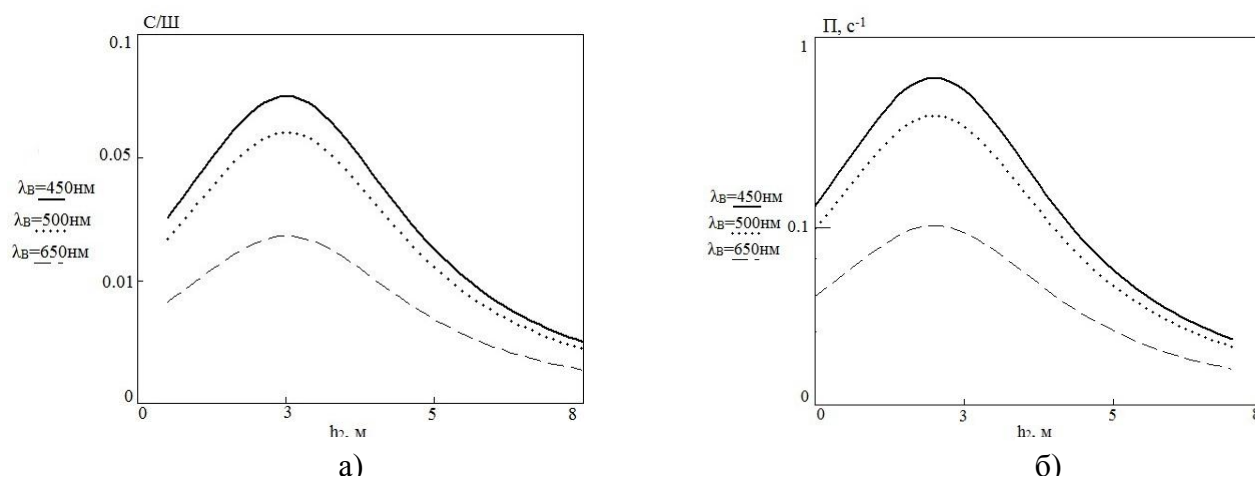


Рисунок 3.8 – Графики зависимости от высоты h_2 нахождения лампы с вольфрамовой нитью накала (при $T=1200\text{K}$) над поверхностью земли: а) функции «отношение сигнал/шум», б) информационной пропускной способности с применением фильтра с нижней границей для насекомых с дихромным типом зрения

Из анализа зависимостей представленных на Рисунке 3.8 видно, что функция «отношение сигнал/шум» имеет выраженный максимум при значении длины волны 450nm и высоте $h_2 = 3\text{m}$.

Таблица 8 – Значение функции «отношение сигнал/шум» с применением фильтра с нижней границей

Заданные параметры системы	$\lambda_B = 650\text{nm}$				
	$\lambda_H = 350\text{nm}$	$\lambda_H = 400\text{nm}$	$\lambda_H = 450\text{nm}$	$\lambda_H = 500\text{nm}$	$\lambda_H = 550\text{nm}$
Монохромное зрение, $h_2 = 4\text{m}$, $x = 6\text{m}$, $h_1 = 2\text{m}$; $S_1 = 0,2$ $S_2 = 0,1$ $S_3 = 0,7$	$1.3 \cdot 10^{-4}$	$9.5 \cdot 10^{-4}$	$1.01 \cdot 10^{-3}$	$1.05 \cdot 10^{-3}$	$1.08 \cdot 10^{-3}$

Расчеты показали, что полосовые фильтры и фильтры нижних/верхних частот хотя и дают увеличение значения функции «отношение сигнал/шум», пропускной способности канала передачи информации и производительности установки, но этого недостаточно для проектирования эффективных систем

передачи оптического сигнала биологическому объекту – насекомому и существенного увеличения их производительности.

3.3 Влияние внешней (оптической) фильтрации с применением фильтров Лоренца и Гаусса на эффективность систем передачи оптического сигнала насекомым

На основании разработанной математической модели объекта исследования с применением внешней (оптической) фильтрации, алгоритма и его программной реализации были выполнены расчеты, которые показали что применение фильтров Гаусса и Лоренца в сочетании с селективными источниками излучения значительно, более чем на порядок, увеличивают пропускную способность канала передачи информации, что способствует повышению эффективности систем передачи оптического сигнала насекомым (Рисунок 3.9).

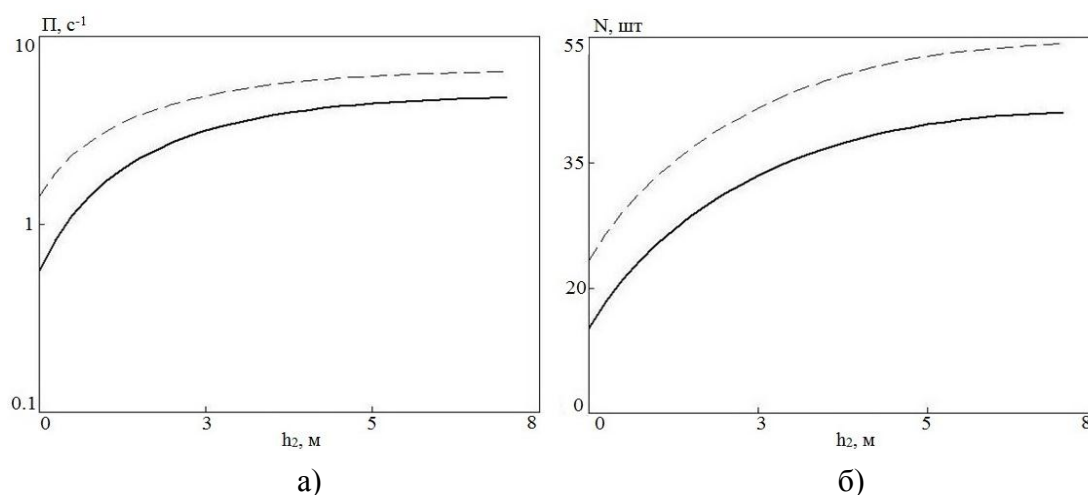


Рисунок 3.9 – Графики зависимости от высоты h_2 нахождения селективного источника света (ксеноновая лампа) над поверхностью Земли: а) информационной пропускной способности, б) функции «отношение сигнал/шум» для насекомых с монохромным типом зрения без применения (—) фильтра и с применением (-----) фильтра Гаусса ($\lambda_0 = 350 \text{ нм}$, $\sigma = 200 \text{ нм}$)

На графиках (Рисунок 3.9) наблюдается увеличение значения производительности установки с применением фильтра Гаусса на 20%, что свидетельствует о повышении эффективности систем передачи оптического сигнала насекомым.

В качестве примера (Рисунок 3.10) приведены результаты расчетов производительности установки для насекомых с трихромным типом зрения без- и с применением метода внешней фильтрации сигнала при использовании фильтра Лоренца.

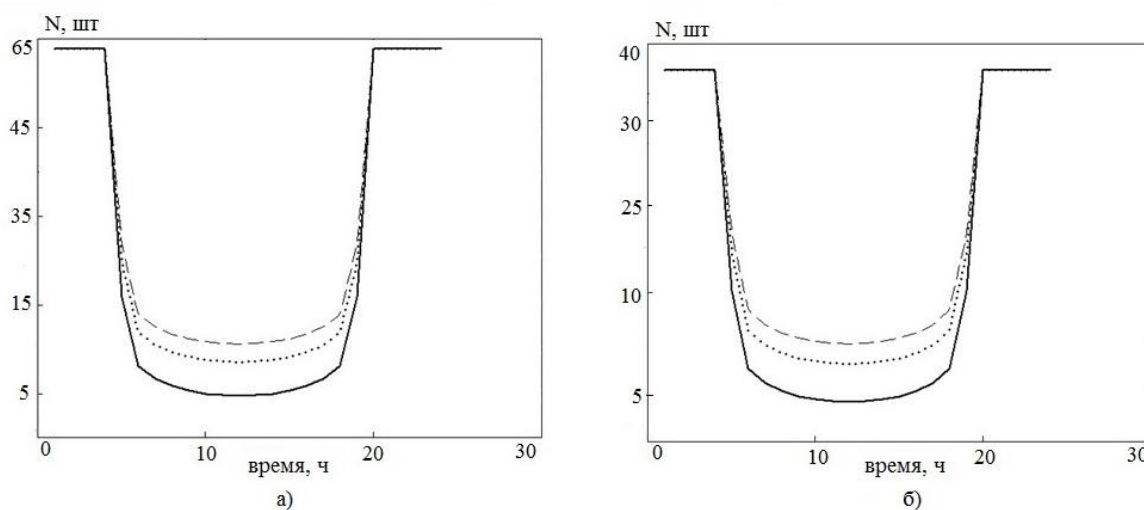


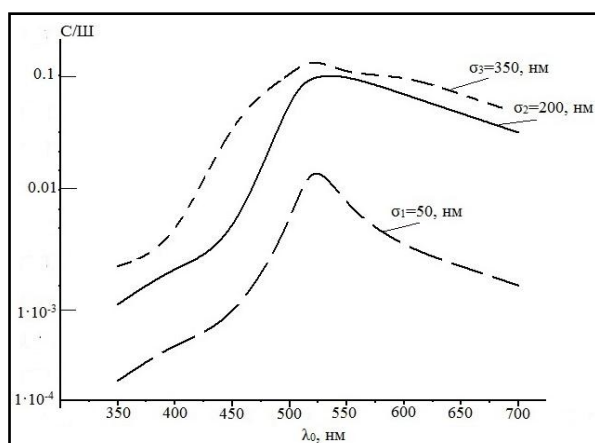
Рисунок 3.10 – Графики зависимости производительности установки от времени суток (18 июля), с использованием селективного источника света – вольфрамовая лампа (при $T=1200K$) для насекомых с различными типами зрения: а) трихромное, б) монохромное без применения (—) фильтра и с применением (.....) фильтра Лоренца ($\lambda_0 = 350nm$, $\Delta = 50nm$), с другими параметрами (----) ($\lambda_0 = 350nm$, $\Delta = 200nm$)

В Таблице 9 приведены сравнительные результаты расчетов характеристик объекта исследования для насекомым с монохромным типом зрения; здесь $C/Ш$ и $(C/Ш)_\phi$ – значение функции «отношение сигнал/шум» без- и с применением фильтров Гаусса и Лоренца при различных их параметрах, $\psi = \frac{(C/Ш)_\phi}{C/Ш}$.

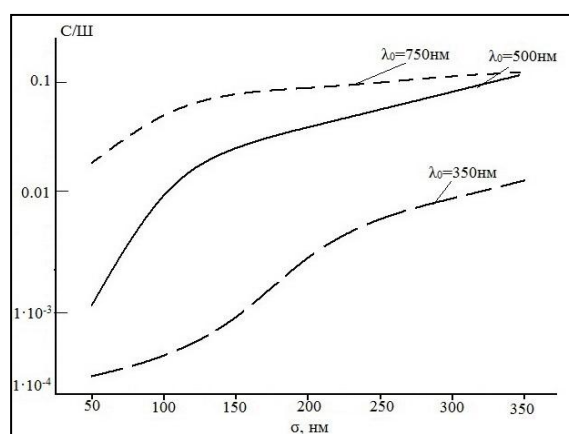
Таблица 9 – Характеристики объекта исследования для насекомых с монохромным типом зрения

Фильтр	С/Ш	Π_1	$(C/Ш)_\phi$	Π_2	ψ
Галогенная лампа					
Гаусс ($\lambda_0 = 400_{нм}, \sigma = 300_{нм}$)	0,02	0,029	0,11	0,151	5,5
Лоренц ($\lambda_0 = 500_{нм}, \Delta = 250_{нм}$)			0,6	0,678	30
Ксеноновая лампа					
Гаусс ($\lambda_0 = 400_{нм}, \sigma = 150_{нм}$)	0,09	0,124	0,85	0,89	9,4
Лоренц ($\lambda_0 = 450_{нм}, \Delta = 350_{нм}$)	$4 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-3}$	0,04	6,25
Вольфрамовая лампа при $T=1200K$					
Гаусс ($\lambda_0 = 400_{нм}, \sigma = 250_{нм}$)	$3,85 \cdot 10^{-3}$	$5,54 \cdot 10^{-3}$	$9,76 \cdot 10^{-3}$	0,014	2,5
Лоренц ($\lambda_0 = 350_{нм}, \Delta = 350_{нм}$)			10^{-2}		26
Вольфрамовая лампа при $T=2600K$					
Гаусс ($\lambda_0 = 400_{нм}, \sigma = 250_{нм}$)	$2,12 \cdot 10^{-2}$	0,03	$9,56 \cdot 10^{-2}$	0,132	4,51
Лоренц ($\lambda_0 = 350_{нм}, \Delta = 350_{нм}$)			0,1	0,148	4,71

Применение метода внешней (оптической) фильтрации с учетом параметров объекта исследования: $h_1=2\text{м}$, $h_2=3\text{м}$, $x=8\text{м}$, набор весовых коэффициентов ($S_1=0.5$, $S_2=0.4$, $S_3=0.1$), позволило исследовать зависимость значений функции «отношение сигнал/шум» для монохромного типа зрения и галогенной лампы с использованием фильтра Гаусса от его параметров (Рисунок 3.11).



а)



б)

Рисунок 3.11 – Графики зависимости функции «отношение сигнал/шум» от параметров фильтра Гаусса: а) от λ_0 , б) σ для насекомых с монохромным типом зрения и селективного источника излучения – галогенная лампа

Из графиков, представленных на Рисунке 3.11, можно сделать следующие выводы:

- во всех случаях наблюдается зависимость максимального значения функции «отношение сигнал/шум» от длины волны λ_0 , соответствующей центру полосы пропускания фильтра;
- зависимость функции «отношение сигнал/шум» от дисперсии σ возрастает, но имеет более монотонный характер;
- максимум кривой функции «отношение сигнал/шум» с применением фильтра Гаусса приходится на значения параметров $\lambda_0 = 520 \text{ нм}$ и $\sigma = 350 \text{ нм}$.

Определим параметры фильтра Лоренца для использования его в паре с селективным источником света – галогенная лампа для насекомых с дихромным типом зрения (Рисунок 3.12).

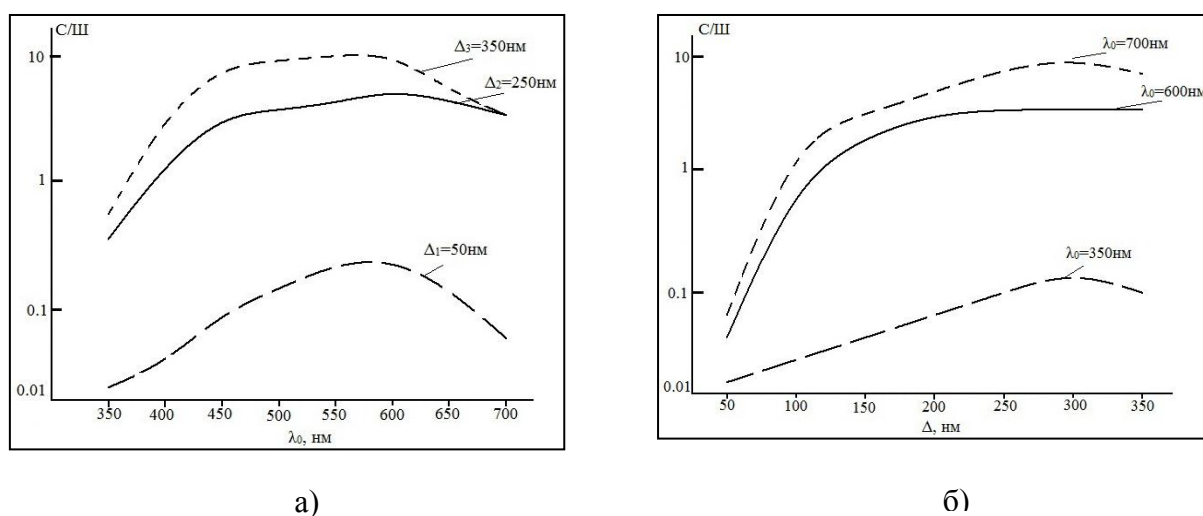


Рисунок 3.12 – Графики зависимости функции «отношения сигнал/шум» от параметров фильтра Лоренца: а) λ_0 , б) Δ для насекомых с дихромным типом зрения и селективного источника излучения – галогенная лампа

Из анализа графиков на Рисунке 3.12 следует:

- во всех случаях наблюдается зависимость максимального значения функции «отношения сигнал/шум» от полуширины полосы пропускания фильтра λ_0 , соответствующей центру полосы пропускания фильтра;

- возрастание функции «отношение сигнал/шум» имеет более монотонный характер в зависимости от полуширины полосы пропускания фильтра Δ ;
- максимум кривой функции «отношение сигнал/шум» с применением фильтра Гаусса приходится на значения параметров $\lambda_0 = 500 \text{ нм}$ и $\Delta = 300 \text{ нм}$.

Получены зависимости функции «отношение сигнал/шум» от высоты расположения селективного источника света галогенная лампа над земной поверхностью и расстояния до биологического объекта – насекомого без- и с применением фильтра Лоренца (Рисунок 3.13).

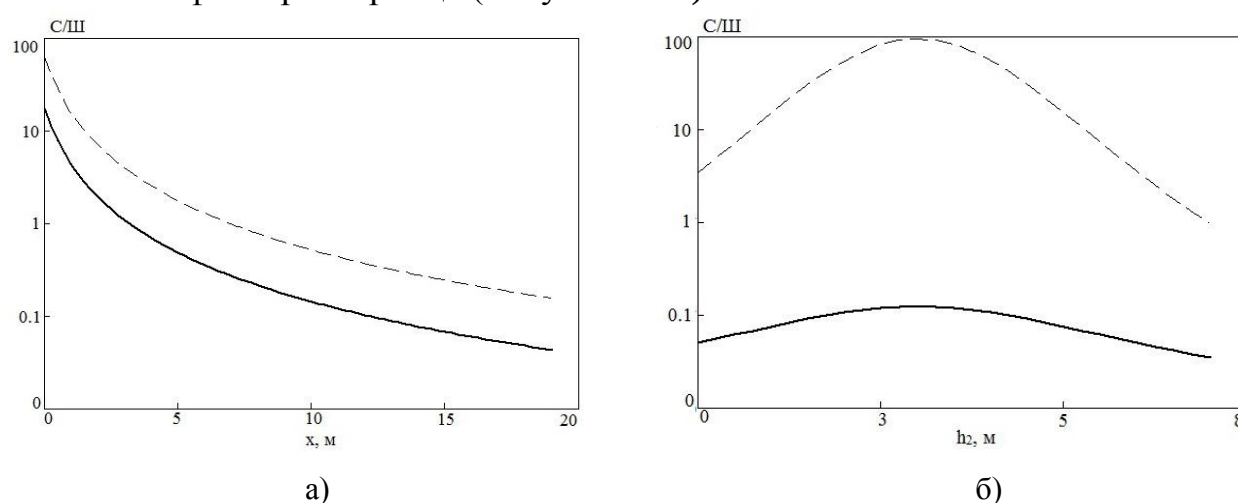


Рисунок 3.13 – Графики зависимости от высоты h_2 нахождения искусственного источника света – галогенная лампа и расстояния до объекта управления x функции «отношение сигнал/шум» для насекомых с дихромным типом зрения без (—) и с применением (-----) фильтра Лоренца ($\lambda_0 = 500 \text{ нм}$, $\Delta = 300 \text{ нм}$)

Произведенный анализ зависимостей функции «отношение сигнал/шум» представленных на Рисунке 3.13, позволяет сделать следующие выводы:

- для функции «отношение сигнал/шум» без- и с применением фильтра Лоренца наблюдается одинаковый характер убывания с расстоянием от источника оптического излучения до насекомого;
- в случаях без- и с применением фильтра Лоренца наблюдается зависимость максимального значения функции «отношение сигнал/шум» от высоты нахождения галогенной лампы над поверхностью Земли;

- значение функции «отношение сигнал/шум» с использованием фильтра Лоренца ($\lambda_0 = 500\text{нм}$, $\Delta = 300\text{нм}$) на порядок выше, чем без применения метода внешней (оптической) фильтрации.
- применение фильтра Лоренца увеличивает значение функции «отношение сигнал/шум», это является положительным фактором для максимизации характеристик системы передачи оптического сигнала насекомым и повышения ее эффективности.

В качестве примера (Таблица 10) приведены расчеты характеристик объекта исследования для насекомых с дихромным типом зрения при использовании различных селективных источников электромагнитного излучения оптического диапазона.

Таблица 10 – Характеристики объекта исследования для насекомых с дихромным типом зрения

Фильтр	С/Ш	P_1	$(C/Ш)_\phi$	P_2	ψ
Галогенная лампа					
Гаусс ($\lambda_0 = 520\text{нм}$, $\sigma = 350\text{нм}$)	0,1	20	10	518	25
Лоренц ($\lambda_0 = 620\text{нм}$, $\Delta = 300\text{нм}$)	0,25	48	25	705	15
Ксеноновая лампа					
Гаусс ($\lambda_0 = 200\text{нм}$, $\sigma = 350\text{нм}$)	0,9	138	10	518	4
Лоренц ($\lambda_0 = 150\text{нм}$, $\Delta = 350\text{нм}$)	1,2	171	15	600	3,5
Вольфрамовая лампа при $T=1200\text{K}$					
Гаусс ($\lambda_0 = 450\text{нм}$, $\sigma = 200\text{нм}$)	3,5	325	107	1013	3
Лоренц ($\lambda_0 = 500\text{нм}$, $\Delta = 350\text{нм}$)	5,8	414	350	1270	3
Вольфрамовая лампа при $T=2600\text{K}$					
Гаусс ($\lambda_0 = 450\text{нм}$, $\sigma = 200\text{нм}$)	45	828	630	1395	2
Лоренц ($\lambda_0 = 500\text{нм}$, $\Delta = 350\text{нм}$)	40	803	470	1332	2,5

При исследовании зависимостей характеристик объекта исследования для насекомых с трихромным типом зрения были определены параметры фильтров Гаусса (λ_0, σ) (Рисунок 3.11) и Лоренца (λ_0, Δ) (Рисунок 3.12), при которых пропускная способность канала передачи информации принимает максимальное значения.

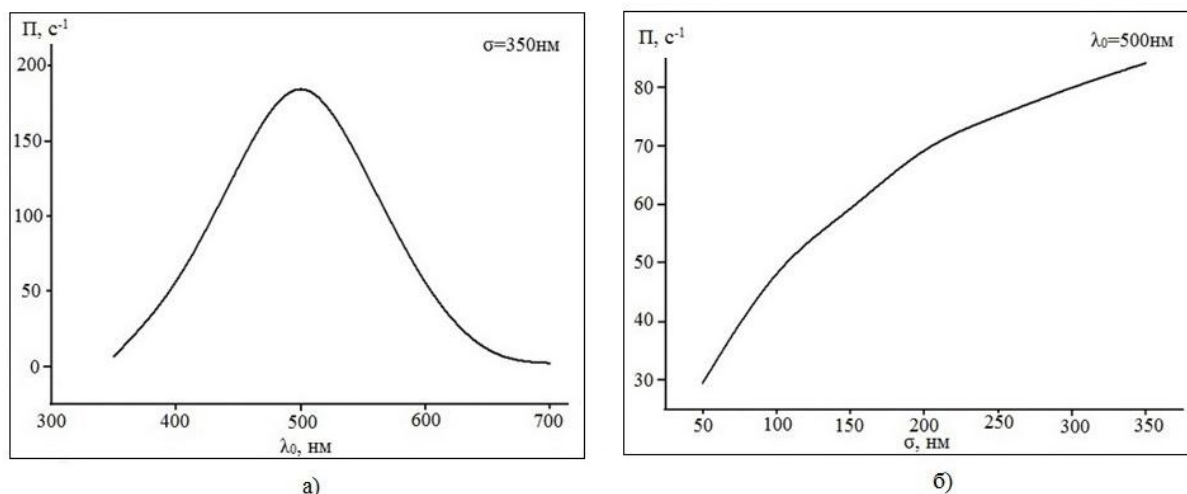


Рисунок 3.14 – Графики зависимости пропускной способности канала передачи информации от параметров фильтра Гаусса: а) от λ_0 , б) от σ для насекомых с трихромным типом зрения

Из графиков на Рисунке 3.14 видно, что максимум пропускной способности канала передачи информации с применением фильтра Гаусса приходится на $\lambda_0 = 500$ nm, $\sigma = 350$ nm, при этом производительность установки увеличивается на 32%.

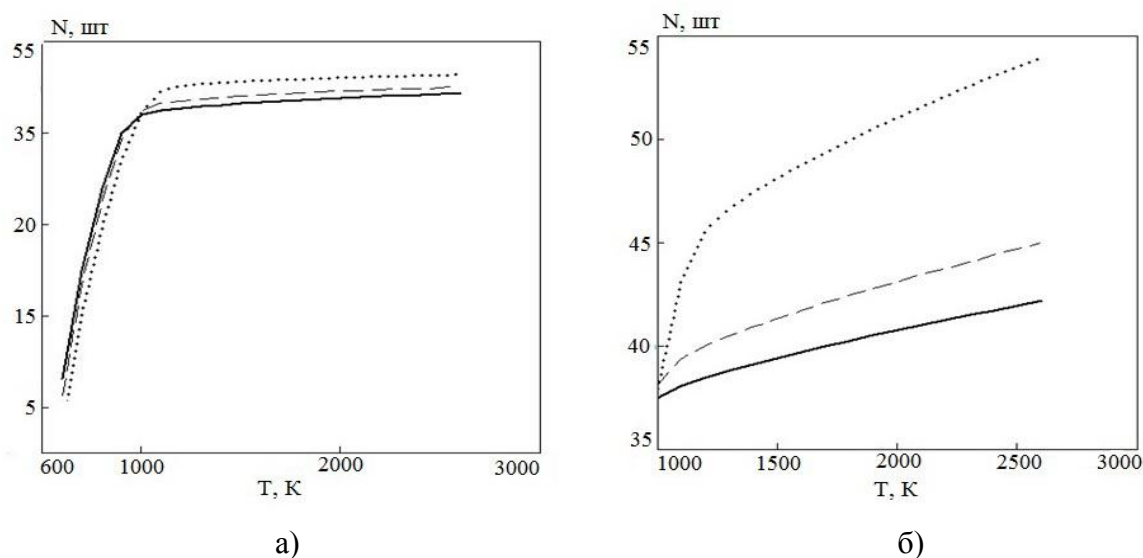


Рисунок 3.15 – Графики зависимости производительности установки для насекомых с трихромным типом зрения при высоте нахождения источника излучения над поверхностью Земли $h_2 = 3$ м и расстоянии до объекта управления $x = 5$ м ($S_1 = 0.1$, $S_2 = 0.7$, $S_3 = 0.2$, 19 мая, с 9.00-10.00) от температуры накала вольфрамовой нити: а) $T[600 \div 2600]$ К, б) $T[1000 \div 2600]$ К без (—) и с применением (---) фильтра Гаусса ($\lambda_0 = 400$ nm, $\sigma = 50$ nm), и параметрами (·····) ($\lambda_0 = 500$ nm, $\sigma = 150$ nm)

Исследовано изменение производительности установки для насекомых с трихромным типом зрения в зависимости от температуры накала вольфрамовой лампы с применением фильтра Гаусса при его различных параметрах (Рисунок 3.15).

Подробный анализ графиков на Рисунке 3.15 позволяет сделать следующие выводы:

- для производительности установки без- и с применением фильтра Лоренца при различных его параметрах наблюдается схожий характер возрастания с увеличением температуры нити накала вольфрамовой лампы от 600 до 1000К;
- количество пойманных в ловушку насекомых при работе установки с температурой нити накала вольфрамовой лампы в пределах $T[600 \div 1000]$ К увеличивается менее, чем на 7%;
- при температуре нити накала вольфрамовой лампы выше 1200К производительность установки с применением фильтра Лоренца с параметрами $\lambda_0 = 400\text{нм}$, $\sigma = 50\text{нм}$ увеличивается на 14% и с значениями $\lambda_0 = 500\text{нм}$, $\sigma = 150\text{нм}$ возрастает на 27%.

Рассмотрены зависимости пропускной способности канала передачи информации для насекомых с трихромным типом зрения и селективного источника электромагнитного излучения – галогенная лампа с использованием фильтра Лоренца (Рисунок 3.16).

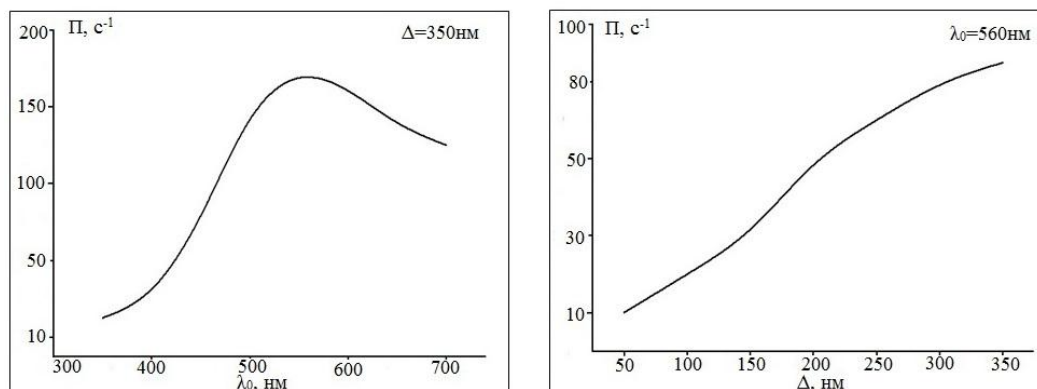


Рисунок 3.16 – Графики зависимости пропускной способности канала передачи информации от параметров фильтра Лоренца для насекомых с трихромным типом зрения:

а) от λ_0 , б) от Δ

Оценка результатов, представленных на Рисунке 3.16, говорит о том, что:

- пропускная способность канала передачи информации имеет выраженный максимум в точке, соответствующей центру полосы пропускания фильтра $\lambda_0 = 560\text{нм}$, а затем монотонно убывает с увеличением ее значения;
- характер возрастания пропускной способности канала передачи информации с увеличением дисперсии σ представляет собой линейную зависимость.

В ходе расчетов были получены зависимости производительности установки и пропускной способности канала передачи информации для насекомых с трихромным типом зрения от температуры нити накала вольфрамовой лампы с применением фильтра Лоренца при различных его параметрах (Рисунок 3.17)

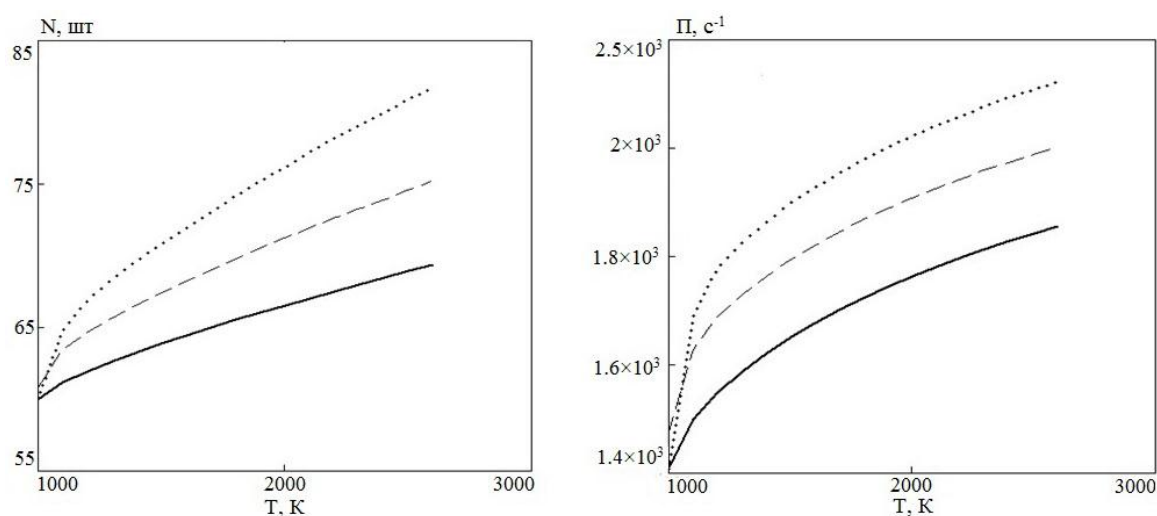


Рисунок. 3.17 – Графики зависимости: а) производительности установки, б) пропускная способность канала передачи информации для насекомых с трихромным типом зрения при высоте нахождения источника излучения над поверхностью Земли $h_2=3\text{м}$ и расстоянии до объекта управления $x=5\text{м}$ ($S_1=0.1$; $S_2=0.7$; $S_3=0.2$, 19 мая) от температуры накала вольфрамовой нити $T[1000\div 2600]\text{К}$ без (—) и с применением (---) фильтра Лоренца ($\lambda_0 = 400\text{нм}$, $\Delta = 200\text{нм}$), и параметрами (⋯⋯) ($\lambda_0 = 400\text{нм}$, $\Delta = 250\text{нм}$)

Из анализов графиков на рисунках 3.17 видно что:

- применение оптического фильтра Лоренца позволяет повысить значение пропускной способности канала передачи информации;

- при незначительном увеличении параметра фильтра Лоренца Δ на 50нм наблюдается возрастание количества пойманных в ловушку насекомых с 66 до 78 штук, что составляет 17%;
- использование оптического фильтра Лоренца позволяет максимизировать значение пропускной способности канала передачи информации, соответственно, повысить эффективность систем передачи оптического сигнала насекомым и, как следствие, увеличить производительность установки.

Выводы по третьей главе:

1. Разработана математическая модель процесса передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения в системе с применением метода внешней (оптической) фильтрации.
2. С учетом математических моделей оптических фильтров получены аналитические выражения для оптического сигнала C_ϕ , оптического шума, создаваемого селективным источником света $(Ш_{и.з})_\phi$ и функции «отношение сигнал/шум» $(C/Ш)_\phi$.
3. Исследованы зависимости информационной характеристики системы для передачи оптического сигнала насекомым $(C/Ш)_\phi$ от параметров оптических фильтров.
4. Построен алгоритм и разработан программный комплекс для расчета характеристик системы передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения с применением метода внешней (оптической) фильтрации.
5. Показано, что во всех случаях применение внешней фильтрации оптического сигнала позволило увеличить значения пропускной способности канала передачи информации и, как следствие, производительности установки в среднем до 20%, что является требуемым результатом при проектировании эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым.

Глава 4 Исследование и проектирование эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым

4.1 Теоретические аспекты расчета основных параметров систем передачи оптического сигнала насекомым

Одной из основных целей проектирования является создание технических систем передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения, которые характеризуются более высокой производительностью по сравнению с имеющимися аналогами [24, 26, 28, 33].

Проектирование технических систем основано на математической модели объекта исследования, позволяющей рассчитать его эффективные параметры [77].

К числу таких параметров относятся: максимальное расстояние для обеспечения эффективности процесса управления, оптимальная высота размещения системы над уровнем Земли, оптимальная температура лампы с вольфрамовой нитью накала, временные интервалы функционирования технологических комплексов в течение суток, параметры оптических фильтров в случае применения систем с внешней (оптической) фильтрацией сигнала.

Таблица 11 – Классификация насекомых по типам зрения

Название насекомого	Тип зрения
Стрекоза (Odonata)	Трихромное зрение
Саранча (Locusta migratoria)	
Пчела (Anthophila)	
Бронзовка (Cetonia auradae)	Дихромное зрение
Белокрылки бабочки (Alegrodinae)	
Колорадский жук (Leptinotarsa decemlineata)	
Настоящие тли (Aphididae)	Монохромное зрение
Комнатная муха (Musca domestica)	
Уховертка (Dermaptera)	

При проектировании эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым были определены их основные нерегулируемые параметры, одним из которых является тип зрения (Таблица 11) для различных насекомых [2].

Во второй главе говорилось о влиянии особенностей ландшафта местности, которые задавались с помощью датчика случайных чисел (выражение 2.4.1), на процесс передачи оптического сигнала насекомым.

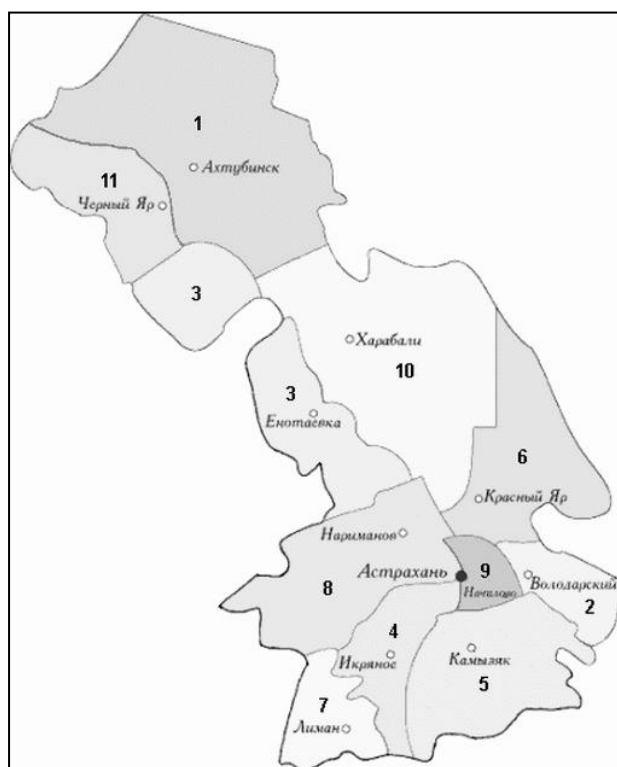


Рисунок 4.1 – Карта районов Астраханской области: 1) Ахтубинский, 2) Володарский, 3) Енотаевский, 4) Икрянинский, 5) Камызякский, 6) Красноярский, 7) Лиманский, 8) Наримановский, 9) Приволжский, 10) Харабалинский, 11) Черноярский

При проектировании систем передачи оптического сигнала насекомым были исследованы особенности ландшафта местности районов Астраханской области (широта 46^0) с помощью программ «City Guide7» и «GPS/ГЛОНАСС карта Астраханской области» (Рисунок 4.1).

По сведениям интернет-ресурса mo.astrobl.ru (портал местного самоуправления Астраханской области) были сформированы весовые коэффициенты для природных поверхностей каждого из районов Астраханской области, представленные в Таблице 12.

Таблица 12 – Весовые коэффициенты природных поверхностей районов Астраханской области

Районы Астраханской области	Особенности ландшафта местности	Весовые коэффициенты природных поверхностей		
		S_1 (вода)	S_2 (почва)	S_3 (растительность)
Ахтубинский	Полупустынная зона – 60%, недостаточность водных ресурсов – 20%, растительность в виде небольших массивов – 20%	0.2	0.6	0.2
Володарский	Плоская равнина – 30%, с малым количеством растительности – 20%, расположенная на 366 островах – 50%	0.5	0.3	0.2
Енотаевский	Пойменная местность, пески, солончаки – 30%, множество соленых озер, луга с длительным затоплением – 70%	0.4	0.3	0.3
Икрянинский	Пойменная местность в дельте р. Волга – 50%, глинистая почва – 20%, среднее количество растительности – 30%	0.5	0.2	0.3
Камызякский	Большое количество растительных – 60% и водных ресурсов – 30%, почва – 10%	0.3	0.1	0.6
Красноярский	Обширная степная зона – 30%, большие водные ресурсы – 60%, малое количество растительности – 10%	0.6	0.3	0.1
Лиманский	Пустынно-степная зона, солончаки – 70% и дерновые растения – 10%, 20% – водные ресурсы	0.2	0.7	0.1
Наримановский	Степная зона, общая площадь которой 30%, озера, реки, ильмени 20%, растительность – 50%	0.2	0.3	0.5
Приволжский	Пойменная луговая почва – 40%, местность в дельте р. Волга, сложная гидрографическая система	0.3	0.4	0.3

	– 30%, растительность – 30%			
Харабалинский	Пустынные почвы – 50%, обширные водные ресурсы – 40%, скудная растительность – 10%	0.4	0.5	0.1
Черноярский	Пустынная зона – 30%, водные ресурсы – 30%, растительность – 40%	0.3	0.3	0.4

Полученные данные (Таблица 12) позволяют произвести расчеты характеристик ряда эффективных систем на основе предложенной математической модели объекта исследования и тем самым сделать эти системы адаптивными, с возможностью корректировки элементов, для достижения наибольшей результативности их работы.

4.1.1 Механизированный комплекс для привлечения саранчи и переработки ее в кормовую массу для рыб и птиц

Альтернативным способом борьбе с насекомыми-вредителями химическими средствами является применение эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым, в частности, механизированного комплекса привлечения и переработки саранчи в кормовую массу для рыб и птиц. Экономическая привлекательность рассматриваемого механизированного комплекса состоит в его двойном предназначении: борьба с саранчой и получение дешевых высокобелковосодержащих кормов (Рисунок 4.2) [77,78,109].

Для защиты посадок от роя саранчи необходимо иметь совокупность нескольких установок, которые размещаются вдоль границы поля. Обнаружение насекомых осуществляется системой технического зрения 2, которая

обеспечивает наведение на участок с максимальной концентрацией саранчи в рое [89].

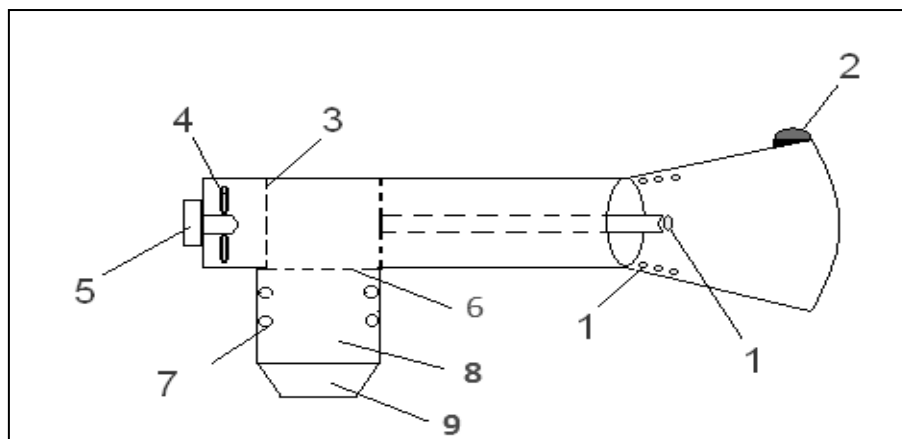


Рисунок 4.2 – Схема механизированного комплекса для привлечения саранчи и ее переработки в кормовую массу: 1 – источники оптического управляющего сигнала, 2 – система технического зрения, 3 – электрическая сеть малого напряжения, 4 – вентилятор, 5 – электродвигатель с источником питания, 6 – решетка для равномерного заполнения камеры; 7 – нагреватели; 8 – камера подсушивания, 9 – съёмный бункер

После «захвата» рецепторным органом насекомого оптического сигнала саранча направляется к его источнику 1, засасывается внутрь ловушки с помощью вентилятора 4 и попадает на сетку, находящуюся под низким напряжением 3. В результате частичной парализации двигательных органов насекомое попадает в камеру подсушивания 8. Саранчовые, попадая в камеру подсушивания, равномерно распределяются по ровной пластине 9 из нержавеющей стали размером $0,8 \times 0,8 \text{ м}^2$.

По литературным данным скорость саранчи колеблется от 1,8 до 33 км/ч, тогда средняя скорость составит 5 м/с, а радиус зоны привлечения 5 м. В результате, максимальная масса исходного сырья, поступающего в зону обнаружения за 1 с для переработки, составит 7,85 кг/с, а производительность роботизированного комплекса за сезон порядка 23 тонн кормовой массы [62, 113].

Работа оптической системы механизированного комплекса для привлечения саранчи основана на обоснованной и предложенной математической модели систем передачи оптического сигнала насекомым, позволяющей рассчитать параметры элементов, максимизирующих значение функции «отношение сигнал/шум» и пропускной способности канала передачи информации [102, 108].

Как известно, рецепторная система саранчи имеет три пика чувствительности (трихромное зрение) (Глава 2, Рисунок 2.13 в), что позволяет ей воспринимать излучение от источника, спектральная излучательная способность которого находится в области длин волн 300-460нм [57].

В результате расчетов были получены зависимости значений функции «отношение сигнал/шум» для саранчи и производительности установки с использованием различных селективных источников оптического сигнала (Рисунок 4.3).

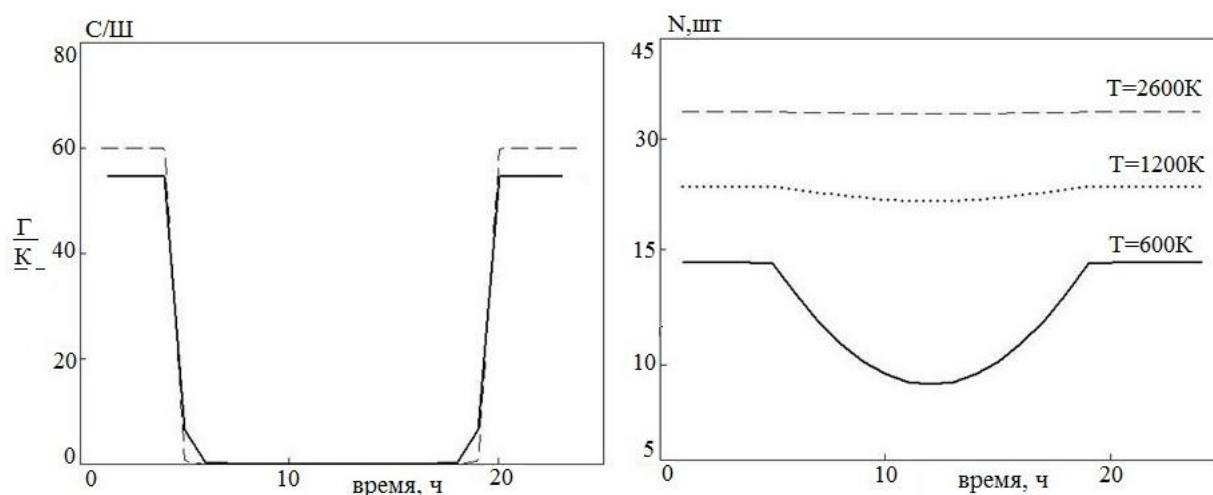


Рисунок 4.3 – Графики зависимости: а) функции «отношение сигнал/шум» с использованием галогенной и ксеноновой ламп, б) производительности установки с применением вольфрамовой лампы при различных температурах для насекомых с трихромным видом зрения от времени суток

Из анализа графиков на Рисунке 4.3 следует, что при использовании в качестве источников излучения ламп различного типа рабочий период механизированного комплекса ограничен диапазонами:

- от 0 до 5 и от 18 до 24 часов – для ксеноновой лампы;
- от 0 до 4 и 19 до 24 часов – для галогенной лампы.

Производительность установки с применением в качестве источника электромагнитного излучения оптического диапазона вольфрамовой лампы значительно меняется в течении дня при температурах ниже 1200К, а затем увеличивается и остается практически постоянной при температурах выше 1200К. Однако при температуре нити накала вольфрамовой лампы порядка 2600К ресурс ее работы существенно сокращается, а энергопотребление увеличивается.

На Рисунке 4.4 показаны зависимости производительности механизированного комплекса для борьбы с саранчой от высоты h_2 нахождения лампы с вольфрамовой нитью накала над земной поверхностью и расстояния x до насекомого, считая, что средняя высота полета около 2м.

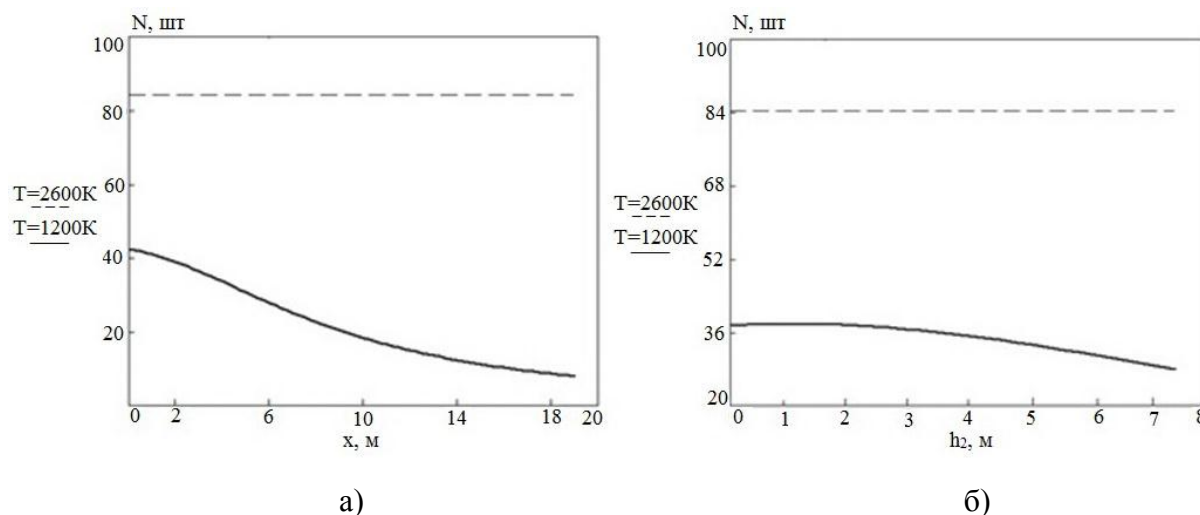


Рисунок 4.4 – Графики зависимости производительности механизированного комплекса для борьбы с саранчой от: а) расстояния x до насекомого, б) высоты h_2 нахождения лампы с вольфрамовой нитью накала над поверхностью Земли с учетом особенности ландшафта местности Лиманского района ($S_1=0.2$, $S_2=0.7$, $S_3=0.1$), 14 июня

Анализ зависимостей на Рисунке 4.4 позволяет сделать следующий вывод: при температуре $T=1200K$, которая является оптимальной для работы механизированного комплекса, его производительность стремительно уменьшается на расстоянии 10м, а затем имеет монотонный характер, практически не изменяясь. В то же время при температуре 2600K количество пойманных в ловушку насекомых не меняется с расстоянием, что позволяет увеличить зону чувствительности органа зрения саранчи, однако ведет к быстрому перегреванию и выходу из строя источника оптического сигнала и увеличению энергопотребления. Также можно наблюдать, что оптимальная высота нахождения лампы с вольфрамовой нитью накала над поверхностью Земли, при которой производительность установки имеет свое максимальное значение составляет 1,5-2м, убывая с высотой.

Для более детального обоснования выбора технологических параметров необходимо проведение полевых экспериментов в различных природных условиях. В результате расчетов получены зависимости производительности

механизированного комплекса для борьбы с саранчой в зависимости от геометрических параметров системы передачи оптического сигнала насекомым и с учетом особенностей ландшафта местности для некоторых районов Астраханской области (Рисунок 4.5).

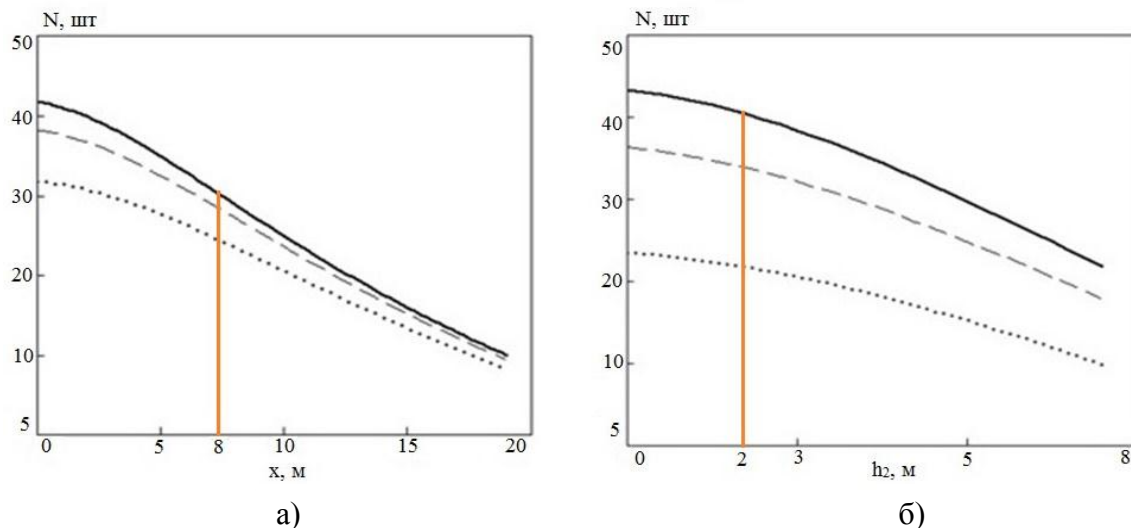


Рисунок 4.5 – Графики производительности механизированного комплекса для борьбы с саранчой в зависимости от: а) высоты h_2 нахождения источника оптического сигнала над поверхностью Земли, б) расстояния x до объекта управления при оптимальной температуре нити накала вольфрамовой лампы ($T=1200\text{К}$, 10 июля) для различных районов Астраханской области; Ахтубинский район (—), Камызякский район (---), Черноярский район (····)

Проанализировав полученные зависимости (Рисунок 4.5), можно сделать вывод, что при проектировании систем передачи оптической информации насекомым необходимо учитывать особенности ландшафта местности, так как в зависимости от комбинации набора весовых коэффициентов меняется значение пропускной способности канала передачи информации, и, соответственно, производительность установки.

Таким образом, были определены основные параметры установки: оптимальное расстояние для обеспечения эффективного процесса передачи оптического сигнала саранче с учетом пороговой чувствительности ее органа зрения при рабочей температуре лампы с вольфрамовой нитью накала $T=1200\text{К}$, которое составило примерно 8м, а также оптимальная высота нахождения селективного источника электромагнитного излучения оптического диапазона над земной поверхностью, равная 2м (Приложение Ж).

4.1.2 Роботизированный комплекс для борьбы с колорадским жуком

Одним из вредителей культурных растений является колорадский жук, который, при наличии всего 25 особей на одном растении, способен уничтожить до 80% листовой поверхности, причём потери урожая при этом составляют около 50%. В настоящее время борьба с данным видом вредителей осуществляется двумя способами: химическим (применение инсектицидов на картофель) и механическим (ручной сбор насекомых и их уничтожение). Заметим также, что ущерб, наносимый ядохимикатами экосистеме и здоровью человека, трудно поддается точной количественной оценке.

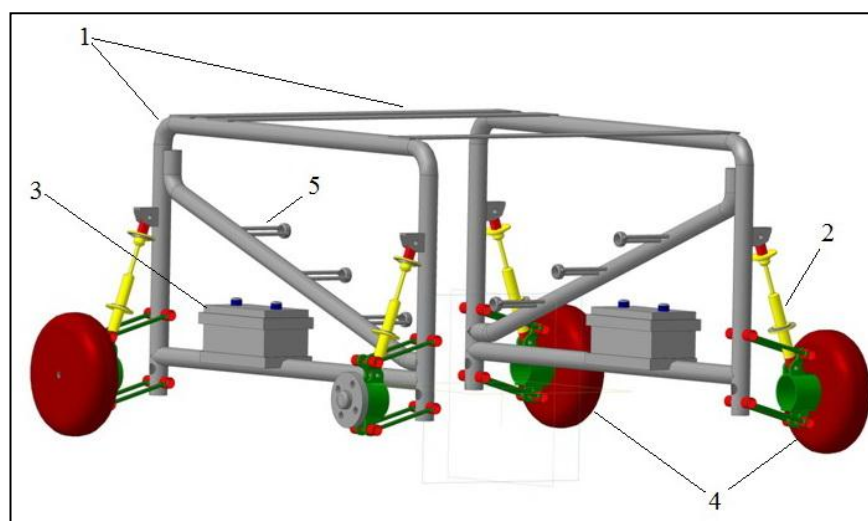


Рисунок 4.6 – 3D-модель роботизированного комплекса для борьбы с колорадским жуком

Рассматриваемый роботизированный комплекс использует для привлечения колорадских жуков электромагнитное излучение оптического диапазона, создаваемое селективными источниками с определенными параметрами [59, 84].

Структурная схема комплекса представлена на Рисунке 4.6. Роботизированный комплекс состоит из следующих основных частей: каркаса – 1, системы подвески – 2, системы питания (аккумуляторные батареи) – 3, системы управления и движения – 4, системы приманивания – 5.

Для обеспечения энергоснабжения комплекса вблизи картофельного поля размещается установка, обеспечивающая подзарядку аккумуляторов для непрерывной работы комплекса в течение светового дня (порядка 15 часов).

Перед началом работы комплекс устанавливается на крайних грядках поля так, чтобы ряд кустов картофеля находился посередине под ним. При включении роботизированного комплекса начинается его движение вдоль первого ряда; остановка около первого куста осуществляется при помощи системы фотодатчиков, обеспечивающих нацеливание оптико-электронного устройства на ось куста (Рисунок 4.7). При этом работают две системы:

1. оптическая система передачи сигнала колорадскому жуку, использующая селективный источник электромагнитного излучения – лампу с вольфрамовой нитью накала и с набором узкополосных фильтров, характеристики которых рассчитаны с учетом таких факторов, как мощность солнечного излучения в различное время суток и года, особенность органа зрения колорадского жука (дихромным тип зрения) особенности ландшафта местности и геометрические параметры системы.
2. система всасывания насекомых в ловушку для их дальнейшей утилизации.



Рисунок 4.7 – Размеры грядки картофельного поля, мм

После завершения процесса сбора насекомых комплекс перемещается к следующему кусту, и вся процедура повторяется вновь. После обработки одного ряда кустов картофеля комплекс осуществляет поворот и вхождение в следующий ряд в обратном направлении и т.д. После обработки всего поля комплекс

останавливается, и подается сигнал оператору о завершении цикла работы. Все конструктивные размеры взяты исходя из места эксплуатации мобильного робота, в частности размеров гряды картофельного поля (Рисунок 4.7); ширина колеи – 0.9м; высота куста картофеля до 0.5м; высота гребней до 27–30 см, расстояние вдоль ряда между осями кустов – 0.4м.

Отличие данного роботизированного комплекса заключается в том, что многие параметры имеют фиксированные значения (h_1 , h_2 , x) и это связано с особенностью конструкции корпуса рассматриваемого устройства. Для выполнения работы был сформирован набор весовых коэффициентов природных поверхностей, а именно полное отсутствие водных ресурсов $S_1=0$ и $S_2=0.3$, $S_3=0.7$ (наличие почвы и растительности соответственно), что также связано с особенностью работы роботизированного комплекса и строением обрабатываемого растения (картофель).

При расчете функции «отношение сигнал/шум» и пропускной способности канала передачи информации насекомым учтено, что шумом от прямой солнечной засветки $Ш_C$ (80%) можно пренебречь, так как в конструкции предусмотрен непроницаемый корпус, близко прилегающий к земной поверхности.

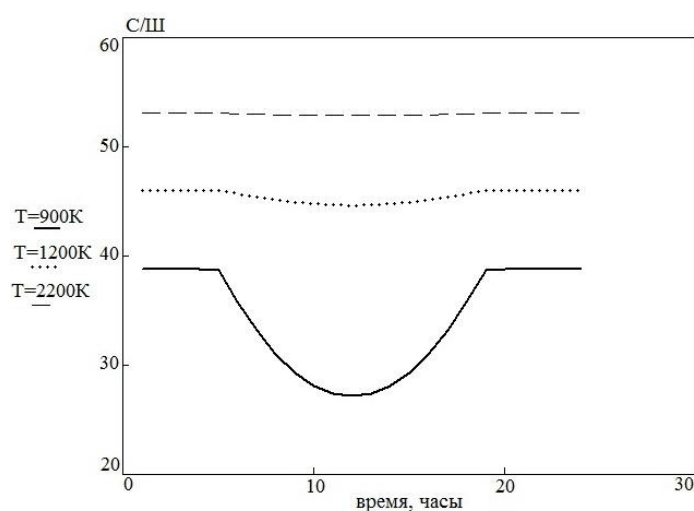


Рисунок 4.8 – Графики зависимости функции «отношение сигнал/шум» для колорадского жука при различной температуре лампы с вольфрамовой нитью накала в зависимости от времени суток

Исследованы зависимости функции «отношение сигнал/шум» от температуры лампы накаливания вольфрамовой нити и показано (Рисунок 4.8), что она меняется, но несущественно.

Это говорит о том, что при проектировании оптической системы для роботизированного комплекса борьбы с колорадским жуком достаточно использовать излучатель с рабочей температурой ниже $T=1000\text{K}$, для увеличения его срока службы, однако, максимизации значений функции «отношение сигнал/шум» можно добиться с применением метода внешней (оптической) фильтрации сигнала.

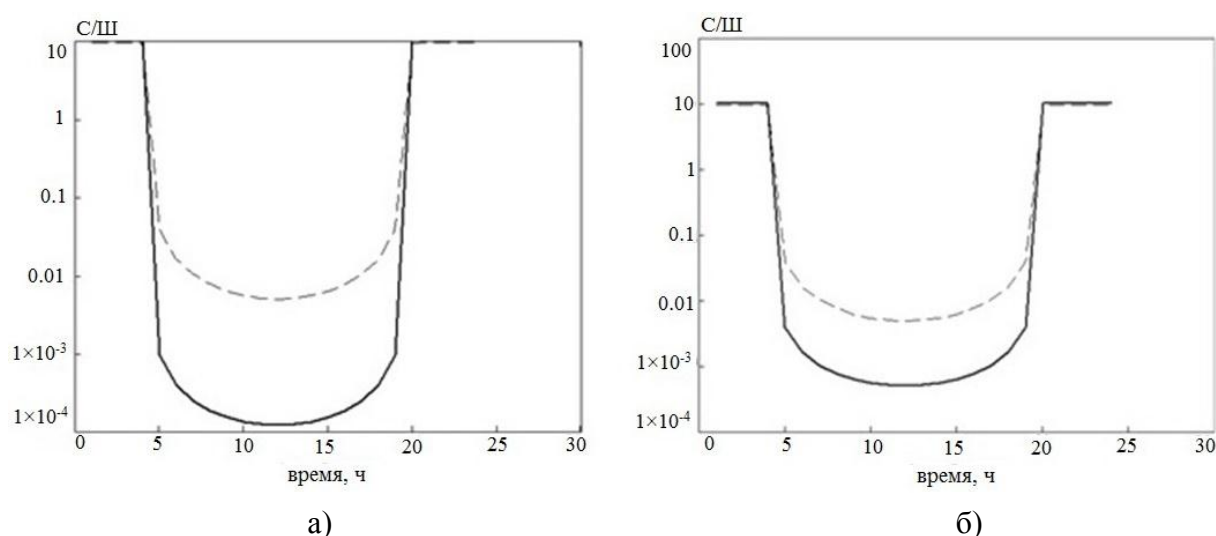


Рисунок 4.9 – Графики зависимости функции «отношение сигнал/шум» для насекомых с дихромным типом зрения и вольфрамовой лампы накаливания $T=1000\text{K}$ от времени суток 20 августа: а) без применения (—) и с применением (-----) фильтра Лоренца ($\lambda_0 = 300\text{nm}$, $\Delta = 250\text{nm}$); б) без применения (—) и с применением (-----) фильтра Гаусса ($\lambda_0 = 300\text{nm}$, $\sigma = 200\text{nm}$)

В результате исследований и расчетов, произведенных в третьей главе диссертационной работы, были получены параметры оптических фильтров Лоренца и Гаусса при которых характеристики системы передачи оптического сигнала насекомым принимают свое максимальное значение и получены значения функции «отношение сигнал/шум» для насекомых с дихромным типом зрения – колорадский жук (Рисунок 4.9).

Исследования и расчеты показали, что для эффективной работы оптической системы роботизированного комплекса борьбы с колорадским жуком достаточно использовать лампу с вольфрамовой нитью накаливания при температуре не выше

$T=1000K$, увеличивая при этом ресурс ее работы, а для максимизации характеристик системы передачи оптического сигнала насекомым применить метод внешней (оптической) фильтрации сигнала.

4.1.3 Способ биологической защиты от кровососущих насекомых и устройство для его реализации.

Предлагаемый способ позволяет осуществлять защиту человека и его окружающей среды от кровососущих насекомых – гнуса, не разрушая экосистему и без использования химических средств за счет применения устройства привлечения насекомых.

Сущность способа биологической защиты заключается в следующем: на защищаемом участке располагается несколько источников селективного электромагнитного излучения оптического диапазона, параметры которых рассчитаны таким образом, чтобы привлекать стрекоз определенного вида, время лета которых совпадает с активностью кровососущих насекомых (мошек) [49, 85, 101].

Критерием эффективной работы селективного источника излучения служит максимум пропускной способности канала передачи информации, учитывающий такие факторы, как спектральная чувствительность глаза насекомого, пропускание атмосферы Земли в дневное и сумеречное время, фоновая подсветка, создаваемая Солнцем и Луной в различных фазах, свечение неба при сплошной облачности, суточное изменение режима естественной освещенности, ландшафт местности, а также распределение энергии в спектре исходного источника электромагнитного излучения.

Устройство для осуществления данного способа (Рисунок 4.10) состоит из следующих блоков:

1. оптический блок (2,3,4,5,6);
2. блок питания (7);
3. механическое приспособление для его установки (8).

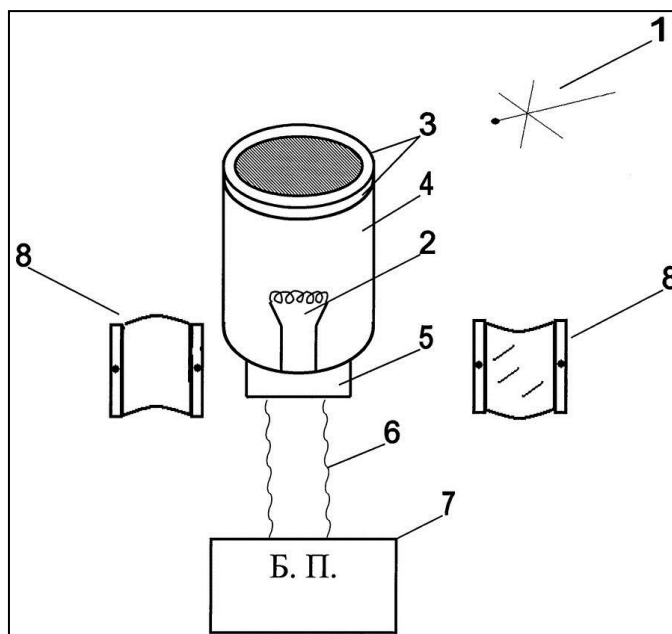


Рисунок 4.10 – Селективный источник электромагнитного излучения оптического диапазона для привлечения стрекоз

Устройство работает следующим образом: стрекоза – 1 привлекается источником излучения – 2 с набором узкополосных фильтров – 3. Источник с фильтрами заключен в колбу – 4, создающую направленный поток излучения для увеличения дальности его действия. Патрон – 5 с помощью соединительных проводов – 6 подключается к блоку питания – 7. Устройство с помощью механического приспособления – 8 устанавливается в заданной точке охраняемого участка, которая выбирается исходя из конкретного ландшафта местности.

Предложенный способ защиты осуществляется следующим образом: селективный источник излучения, состоящий из лампы с набором узкополосных фильтров для ультрафиолетовой и видимой частей электромагнитного спектра, располагается в определенной точке охраняемой территории (в систему защиты

территории входит определенное количество таких излучателей, количество и расположение которых выбирается с учетом ландшафта местности) 33, 50].

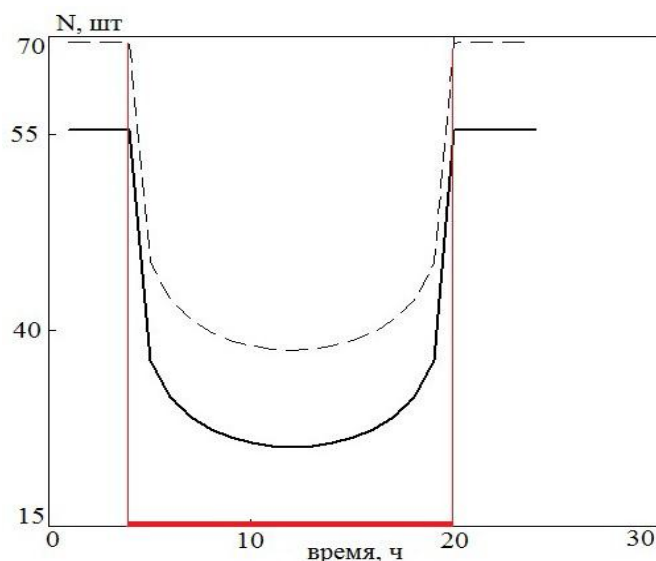


Рисунок 4.11 – Графики зависимости производительности установки для насекомых с трихромным типом зрения от времени суток с использованием селективного источника света – вольфрамовая лампа ($T=1500\text{K}$) без - (—) и с применением (- - - -) фильтра Лоренца ($\lambda_0=250\text{nm}$, $\Delta=150\text{nm}$)

Анализ зависимостей на Рисунке 4.11 позволяет сделать вывод, что применение фильтра Лоренца увеличивает производительность установки биологической защиты от кровососущих насекомых (мошка), повышая эффективность системы передачи оптического сигнала насекомым на 36%. В данном случае рассматриваются только дневные часы, так как мошка не обладает ночным зрением.

В результате расчетов получены зависимости изменения производительности установки от расстояния до насекомого – стрекозы с учетом различной температуры нити накала вольфрамовой лампы (Рисунок 4.12).

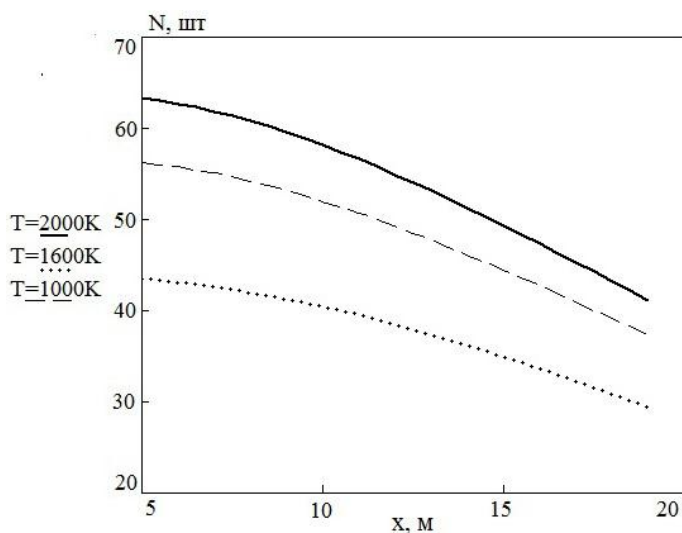


Рисунок 4.12 – График зависимости от расстояния x производительности установки (количества привлеченных насекомых) с применением вольфрамовой лампы при различных температурах нити накала

Полученные зависимости на Рисунке 4.12 показывают, что:

- производительность установки с увеличением расстояния от источника электромагнитного излучения оптического диапазона уменьшается;
- при увеличении температуры нити накала вольфрамовой лампы количество насекомых пойманных в ловушку увеличивается за счет увеличения зоны облова;
- при расположении вольфрамовой лампы на оптимальной высоте h_2 (Глава 2, Рисунок 2.20) и повышении температуры нити накала с 1000K до 1600K производительность установки увеличивается на 40%, а при изменении температуры с 1600K до 2000K – на 14%.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет повысить уровень эффективности борьбы с кровососущими насекомыми за счет использования селективного источника с оптимальным диапазоном электромагнитного излучения. Применение в устройстве источника низковольтного напряжения приводит к снижению потребления энергии и делает его эксплуатацию более удобной и безопасной. Кроме того, предлагаемый способ не нарушает пищевую цепочку в природе.

Выводы по четвертой главе:

1. Разработанная математическая модель объекта исследования использовалась для проектирования технических систем в ряде практических случаев:

- механизированный комплекс для привлечения саранчи и переработки ее в кормовую массу для рыб и птиц,
- роботизированный комплекс для борьбы с колорадским жуком,
- способ биологической защиты от кровососущих насекомых и устройство для его реализации.

2. Показано, что применение разработанной математической модели существенно позволяет увеличить производительность рассмотренных технических систем различной области применения.

3. Произведенные расчеты позволяют осуществить выбор суточного рабочего диапазона для установок, что должно существенно снизить себестоимость продукции и, в отличие от способа борьбы, связанного с применением ядохимикатов, сделать продукцию экологически чистой для потребления человеком.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой систематическое исследование процесса передачи оптического сигнала насекомым – биологическим объектам с высокой степенью неопределенности поведения. Главными ее результатами является обоснование, разработка и исследование впервые предложенной математической модели, а также создание алгоритмов и комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента с целью исследования математической модели передачи оптического сигнала насекомым.

Полученные данные легли в основу инновационных разработок в ряде практически важных случаев, что позволит существенно снизить себестоимость продукции и, в отличие от способов, основанных на применении ядохимикатов, сделать продукцию экологически безопасной для потребления человеком, что актуально в связи с вступлением России во всемирную торговую организацию (ВТО) и выходом на рынок ЭКОпродукции.

На основе полученного материала можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрены физические основы функционирования рецепторных систем насекомых, показано, что выбор параметров световых полей является одной из важных задач при разработке эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым, так как по количеству получаемой информации извне зрительный анализатор превосходит все остальные органы чувств.
2. Для описания процесса передачи оптического сигнала насекомым обосновано использование основных законов электромагнитного излучения, распространяющегося в атмосфере Земли, с учетом явлений поглощения, рассеяния, поляризации и дисперсии.
3. Проанализированы отечественные и зарубежные литературные источники, рассматривающие основные теории положительной реакции насекомых на

электромагнитное излучение оптического диапазона. Приведен обзор технических устройств, в основе работы которых лежит использование положительного фототаксиса, в то время как математическая модель систем передачи оптического сигнала насекомым и методика расчета их эффективных параметров при проектировании таких систем отсутствует.

4. При анализе систем передачи оптического сигнала насекомым сформулирована задача выбора их параметров, при которых критерий эффективности, их производительность, принимает максимальное значение.
5. Обоснована и разработана математическая модель эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения, при этом выполнен анализ источников шумов естественного и искусственного происхождения; получены аналитические выражения функций спектральных чувствительностей глаз насекомых с различными типами зрения, спектральной излучательной способности Солнца и Луны, прозрачности атмосферы в УФ и видимой частях спектра, излучательной способности селективных источников электромагнитного излучения, спектральных коэффициентов отражения ряда природных поверхностей.
6. Построены алгоритмы и создано программное обеспечение для расчета характеристик систем передачи оптического сигнала насекомым без - и с применением метода внешней (оптической) фильтрации.
7. Выполнено математическое моделирование зависимостей оптического сигнала, шумов естественного и искусственного происхождения, функции «отношение сигнал/шум», информационной пропускной способности и производительности установки от типа зрения насекомых, геометрических параметров системы, особенности широты и ландшафта местности, времени года и суток. Полученные значения функции «отношение сигнал/шум», которые лежат в интервале $[0,1]$, говорят о недостаточно высокой эффективности систем передачи оптического сигнала насекомым.

8. Для повышения эффективности систем передачи оптического сигнала насекомым разработана математическая модель с применением метода внешней (оптической) фильтрации.
9. Показано, что во всех случаях применение внешней фильтрации оптического сигнала позволило максимизировать значения пропускной способности и производительности установки, что является важным условием при проектировании эффективных технических систем передачи оптического сигнала насекомым в ряде практически важных случаев.
10. Показано, что применение разработанной математической модели эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым позволяет существенно, в среднем на 20%, увеличить производительность технических систем различной области применения.
11. Проведенные исследования являются теоретической базой для разработки математических моделей передачи оптического сигнала на рецепторном уровне объектам и другой биологической природы.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

№пп	Наименование	Содержание
1	N	Производительность установки
2	K	Постоянный коэффициент для конкретной ловушки
3	P	Пропускная способность канала передачи информации
4	C	Оптический сигнал
5	$Ш$	Оптический шум
6	$C/Ш$	Функция «отношение сигнал/шум»
7	τ	Время работы установки
8	Δf	Полоса частот, воспринимаемая органом зрения насекомого
9	F	Интенсивность действия оптического сигнала на биологически объект
10	Φ	Интенсивность ощущения биологическим объектом
11	k_ϕ	Коэффициент пропорциональности, связывающий интенсивность поля с интенсивностью ощущений
12	$\xi(\lambda, T)$	Спектральная плотность излучения абсолютно черного тела
13	$\xi(T)$	Полная энергия абсолютно черного тела
14	$\alpha(T)$	Спектральный коэффициент излучения серого тела
15	$E_{CT}(\lambda, T)$	Спектральная плотность излучения серого тела
16	$E_{PT}(\lambda, T)$	Спектральная плотность энергетической светимости реального тела
17	ω	Количество осажденной воды
18	ω_0	Количество осажденной воды на длине 1 км
19	L	Толщина поглощающего слоя атмосферы
20	f_ϵ	Относительная влажность воздуха
21	T_ϵ	Температура воздуха
22	p_ϵ	Давление воздуха
23	$Ш_C$	Шум, обусловленный излучением Солнца
24	$Ш_L$	Шум, обусловленный излучением Луны
25	$Ш_{CЗ}$	Шум, обусловленный отражением солнечного излучения от земной поверхности
26	$Ш_{ЛЗ}$	Шум, обусловленный отражением лунного излучения от земной поверхности
27	$Ш_{из}$	Шум, обусловленный отражением искусственного излучения от земной поверхности
28	$Ш_0$	Шум, обусловленный отражением солнечного и лунного излучения от облаков
29	$Ш_P$	Шум, обусловленный рэлеевским рассеянием
30	l	Расстояние от источника излучения до насекомого
31	x	Расстояние от источника излучения до насекомого по горизонтали
32	h_1	Расстояние от земной поверхности до насекомого
33	h_2	Высота источника излучения над поверхностью Земли
34	λ	Длина волны
35	$r(\lambda)$	Функция спектральной излучательной способности селективного источника света
36	$\tau(\lambda)$	Функция относительной спектральной чувствительности глаз насекомых
37	m	Коэффициент, учитывающий разницу между функциями видности глаза человека и насекомого

38	$q(\lambda)$	Спектральный коэффициент поглощения слоя атмосферы толщиной 1 м
39	$k(\lambda)$	Спектральный коэффициент ослабления оптического излучения атмосферой в УФ и видимой частях спектра
40	$\sigma(\lambda)$	Спектральный коэффициент рэлеевского рассеяния
41	$N_{чм}$	Число молекул в 1 м ³
42	A	Эффективное сечение рассеяния по флуктуации в атмосфере
43	R_C	Радиус Солнца
44	R_L	Радиус Луны
45	$R_{ЛО}$	Радиус лунной орбиты
46	S_{O3}	Площадь органа зрения насекомого
47	$S(n)$	Функция распределения мощности лунного излучения на земной поверхности, в зависимости от фазы Луны
48	$\eta(\lambda)$	Функция спектральной энергетической освещенности Луны
49	$\mu(\lambda)$	Спектральная характеристика почвы
50	$\nu(\lambda)$	Спектральная характеристика воды
51	$\psi(\lambda)$	Спектральная характеристика растительности
52	S_1, S_2, S_3	Весовые коэффициенты, показывающие относительную долю площади природных поверхностей в 1 м ²
53	$r_0(\lambda, T)$	Излучательная способность вольфрама
54	$E(\varphi, n, t)$	Энергетическая освещенность земной поверхности на заданной широте местности
55	n	Число полных суток от начала года
56	t	Время суток
57	φ	Широта местности
58	$f(\lambda)$	Функция пропускания фильтра
59	σ	Дисперсия
60	λ_0	Длина волны, соответствующая центру полосы пропускания фильтра
61	Δ	Полуширина полосы пропускания фильтра
62	a_0	Максимальная ордината в центре полосы пропускания фильтра
63	λ_n	Нижняя граница фильтра
64	λ_v	Верхняя граница фильтра
65	C_ϕ	Оптический сигнал с применением метода внешней (оптической) фильтрации
66	$(Ш_{из})_\phi$	Оптический шум с применением метода внешней (оптической) фильтрации
67	$(C/Ш)_\phi$	Функция «отношение сигнал/шум» с применением метода внешней (оптической) фильтрации
68	P_ϕ	Пропускная способность канала передачи информации с применением метода внешней (оптической) фильтрации

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айзенберг, Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг. -2-е изд., перераб.: доп. – Москва: Энергоатомиздат., 2005. – 320с.
2. Андреев, В.В. Насекомые Астраханской области: учебное пособие/ В.В. Андреев. – Астрахань: Издательство АГТУ, 2010.– 208с.
3. Андреев, А.П. Автоматизированные телевизионные системы наблюдения/ А.П. Андреев. – Спб.: СПбГУ ИТМО, 2005. – 305с.
4. Антонова, Е.М. Моделирование эффективности солнечной энергии от широты местности и времени года/ Е.М. Антонова, Н.Г. Гвозденко, А.У. Джалмухамбетов // Вопросы управления в социально-экономических процессах и информационной среде. – Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2009г. – С. 131-133.
5. Арзамасцев, А.А. Универсальный генератор случайных чисел для имитационного моделирования/ А.А. Арзамасцев, Т.Ю. Китаевская, И.В. Азаров // Вестник Тамбовского университета. Т.1, 2002. – вып. 2. – С. 131-133.
6. Бебчук, Л.Г. Прикладная оптика / Л.Г. Бебчук, Ю.В. Богачев, Н.П. Заказнов: учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 2010. – 312с.
7. Беленов, В.Н. Электрооптический преобразователь для защиты садовых растений от болезней и насекомых-вредителей: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.02/ Беленов Валерий Николаевич. – г.Зерноград., 2005. – 21с.
8. Близнюк, В.В., Квантовые источники излучения / В.В. Близнюк, С.М. Гвоздев, переизд.: М. ВИГМА. – 2006. – 400с.

9. Блягоз, А.М. Электрооптический преобразователь защиты садовых растений с погруженным светодиодным излучателем/ А.М. Блягоз // Труды Кубанского государственного университета, 2008. – С. 242-246.
10. Блягоз, А.М. Электрооптический преобразователь для защиты от насекомых-вредителей с погруженным источником-аттрактантом: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.20.02 / Блягоз Алик Моссович. – г. Краснодар, 2009. – 24с.
11. Богатырев, Н.И. Мобильная электрооптическая установка для уничтожения летающих насекомых / Н.И. Богатырев: патент на изобретение, 2007, № 2351129 С1.
12. Босов, Ю.Г. К вопросу применения метода Монте-Карло в светотехнических расчетах / Ю.Г. Босов// Светотехника. – 2006. – С. 113.
13. Брамсон, М.А. Инфракрасное излучение нагретых тел/ М.А. Брамсон. – М: Наука. 1964. – 231с.
14. Газалов, В.С. Электрооптическая защита от насекомых-вредителей: дис. док. тех. наук: 05.02.02/ Газалов Владимир Сергеевич. г. Зерноград, 2000. – 178с.
15. Глушков, В.М. О кибернетике как о науке. Кибернетика, мышление, жизнь/ В.М. Глушков. – переизд. М.: Наука, 2006. – 56с.
16. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В.Е. Гмурман. – Москва: Высшая школа. – 2004. – 404с.
17. Дагаев, М.М. Астрономия/ М.М. Дагаев, В.Г. Демин, И.А. Климишин, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 1983. – 384с.
18. Дмитриев, А.Л. Оптические методы обработки информации/ А.Л. Дмитриев: учебное пособие. – СПб: СПбГУИТМО, 2005. – 46с.
19. Дубнищева, Ю.Н. Теория и преобразование сигналов в оптических системах/ Ю.Н. Дубнищева. – М.: Издательство Лань, 2011. – 235с.

20. Зуев, В.Е. Оптические модели атмосферы: монография Т2 / В.Е. Зуев, Г.М. Креков: Ленинградский гидрометеоздат, 1986. – 256с.
21. Зуев, В.Е. Проблемы современной оптики. Том 2. Оптические модели атмосферы: монография / В.Е. Зуев, Г.М. Креков : М., 1986. – 253 с.
22. Зуев, В.Е. Проблемы современной оптики. Том 5. Оптика турбулентной атмосферы: монография / В.Е. Зуев, В.А. Банах, В.В. Покасов. – М., 1988. – 253 с.
23. Зуев, В.Е. Современные проблемы атмосферной оптики. Т9. Оптика атмосферы и климат / В.Е. Зуев, Г.А. Титов. – Издательство «Спектр».: М. – 1996. – 251с.
24. Ивахненко, О.А. Способ защиты пропашных и технических культур от вредных насекомых / О.А. Ивахненко, Т.С. Иванов, О.И. Квасенков: патент на изобретение, № 2205541, 10.06.2003г.
25. Исакова, О.П., Обработка и визуализация данных физических экспериментов с помощью пакета Origin: учебно-методическое пособие/ О.П. Исакова, Ю.Ю. Тарасевич. – Издательский дом «Астраханский госуниверситет» – 2008. – 30с.
26. Исачев, В.В. Защита растений от вредителей/ В.В. Исачев. – М.: Колос, 2003. – 353с.
27. Исаков, В.Б. Элементы численных методов / Исаков, В.Б. – Издательство Академия. – 2003г. – 189с.
28. Исмаилов, В.Я. Способ защиты сельскохозяйственных культур от вредных насекомых: патент на изобретение / В.Я. Исмаилов, Э.Я. Исмаилов, В.Д. Надыкта, О.И. Квасенков, № 2245037, 10.12.2003г.
29. Ишанин, Г.Г. Источники и приемники излучения/ Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков. – Санкт – Петербург.: «Политехника», 1991. – 384с.
30. Калитин, Н.Н. Освещенность во время сумерек/ Н.Н. Калитин. – М.: Челябинск, 2003. – 80с.
31. Карцев, В.М. Поведение пчел/ В.М. Карцев // Пчеловодство, МГУ. Ред. журнала «Пчеловодство». – 2007. – №8.– С. 20.

32. Кетенчиев, Х.А. Особенности проявления различных видов и типов суточной активности имаго стрекоз (*Odonata*) Центрального Кавказа / Х.А. Кетенчиев, А.В. Тихонова // Известия Дагестанского государственного университета. Естественные и точные науки. – 2011. – №2. – С. 22.
33. Кирюхина Д.А. Разработка и проектирование инфракрасных систем для управления поведением комаров / Д.А. Кирюхина, А.М. Лихтер, И.Т. Шагаутдинова, Ю.А. Плешкова, Ю.Н. Рогожина // Фундаментальные и прикладные исследования университетов, интеграция в региональный инновационный комплекс. Том 4: Материалы международной научно-практической конференции 13-15 октября 2010г. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет». – 2010. – С. 127.
34. Киреев, В.И. Численные методы в примерах и задачах/ Киреев В.И. – Издательство «Высшая школа», 3-е издание, 2008. – 481с.
35. Кладиева, А.С. Расчеты в среде MATLAB широтно-временных распределений солнечной энергии на поверхности Земли/ А.С. Кладиева, А.У. Джалмухамбетов // Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB: материалы IV Всероссийской научной конференции. – Астрахань.: Издательский дом «Астраханский университет», 2009. – С. 146.
36. Климов, Г.П. Теория вероятности и математическая статистика/ Г.П. Климов. – Издательство МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2011г. – 836с.
37. Кононович, Э.В. Общий курс астрономии/ Э.В. Кононович, В.И. Мороз. – Москва.: 2004. – 350с.
38. Красногорская, Л.З. Электромагнитные поля в биосфере (в двух томах). Т.1. Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их значение/ Л.З. Красногорская. – М.: Наука, 2001. – 362с.
39. Криксунов, Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники/ Л.З. Криксунов. – М.:Сов.радио,1978. – 400с.

40. Лабор, В.В. Си Шарп: Создание приложений для Windows/ В.В. Лабор. – Мн.: Харвест, 2003. – 384с.
41. Ларионов, Л.Н. Тепловые свойства металлов и сплавов: Справочник / Л.Н. Ларионов, Ю.Ф. Юрченко. – М.: 2002. – 439с
42. Ландау, Л.Д. Теория поля. – Том 2. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Издание: 8-е изд., стереот., 2003. – 531с.
43. Ландсберг, Г.С. Оптика/ Г.С. Ландсберг. – ФИЗМАЛИТ, 2010. – 345с.
44. Лихтер, А.М. Оптимальное проектирование оптико-электронных систем: монография/ А.М. Лихтер. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2004. – 241с.
45. Лихтер, А.М. Моделирование систем управления процессами лова рыбы: монография/ А.М. Лихтер. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2006. – 315с.
46. Лихтер А.М. Математическое моделирование световых полей в системах управления поведением насекомых/ А.М. Лихтер, Ю.А. Плешкова // Естественные науки.– 2010. – №3(32).– С. 188.
47. Лихтер А.М. Информационные и энергетические характеристики элементов систем управления поведением насекомых/ А.М. Лихтер, Ю.А. Плешкова // Инноватика - 2010: Труды международной конференции. Том 2 12-15 апреля 2010г. – Ульяновск: Ульяновский государственный университет. – 2010. – С. 218.
48. Лихтер, А.М. Математическое моделирование энергетических и информационных характеристик элементов систем управления поведением насекомых /А.М. Лихтер, Ю.А Плешкова, Ю.Н. Рогожина, И.Т. Шагаутдинова // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерений. УКИ'10: Материалы российской конференции с международным участием 18-20 октября 2010г. – Москва. С. 45.
49. Лихтер А.М. Разработка технологического комплекса на основе физических полей для управления поведением насекомых в

- сельскохозяйственных целях/ А.М. Лихтер, Ю.А. Плешкова, И.Т. Шагаутдинова, Ю.Н. Рогожина // Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ -2010»: Материалы международной конференции 11-14 мая 2010г.– Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет».– 2010.– С. 66.
50. Лихтер, А.М. Математическое моделирование биофизических процессов в системах управления поведения насекомых/ А.М. Лихтер, Ю.А. Плешкова // Человек и животные: Материалы V международной научно-практической конференции 14-16 мая 2010г. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет».– 2010.– С. 83.
 51. Мазохин-Поршняков, Г.А. Руководство по физиологии органов чувств насекомых / Г.А. Мазохин-Поршняков.– Изд-во Моск. ун-та. 1977., 134с.
 52. Мазохин-Поршняков, Г.А. Зрение и визуальная ориентация насекомых/ Г.А. Мазохин-Поршняков– М.: Знание, 1980. – 64с.
 53. Мазохин-Поршняков, Г.А. Сравнение привлекающего действия лучей различного спектрального состава на насекомых/ Г.А. Мазохин-Поршняков // Энтомологическое обозрение.– №4.– 1965. – С. 34.
 54. Мазохин-Поршняков, Г.А. Зрение насекомых/ Г.А. Мазохин-Поршняков. – М.: Наука, 1965. – 265с.
 55. Мазохин-Поршняков, Г.А. Изучение адаптивной роли зрения насекомых в коротковолновых ультрафиолетовых лучах/ Г.А. Мазохин-Поршняков // Информационный бюллетень РФФИ.– 1996.Т.21.– №777.– С. 168.
 56. Мазохин-Поршняков, Г.А. Ночной лет насекомых на свет ртутной лампы и перспективы использования его в прикладной энтомологии/ Г.А. Мазохин-Поршняков // Зоол. Журнал.– №4.– 1965. – С. 48.
 57. Мазохин-Поршняков, Г.А. Почему насекомые летят на свет/ Г.А. Мазохин-Поршняков // Энтомологическое обозрение. Том. 39.– 1965. – С. 67.

58. Мельников А.В. Биофизические процессы в системах управления ловом рыбы / А.В. Мельников, А.М. Лихтер // Вестник АТГУ. Сер. Рыбное хозяйство. Экология. – 2004.– С. 7.
59. Макухин, А.А. Роботизированные комплекс для борьбы с насекомыми - вредителями сельскохозяйственных культур с применением электромагнитного излучения оптического диапазона/ А.А. Макухин, Ю.А.Плешкова, А.М. Лихтер // Экокультура и фитобиотехнологии улучшения качества жизни на Каспии: Материалы международной конференции с элементами научной школы для молодежи 7-10 декабря 2010г. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет».– 2010.– С. 67.
60. Мельников, Н.В. Биофизические основы промышленного рыболовства/ Н.В.Мельников.– М.: Пищевая промышленность, 1973г. – 392с.
61. Мирошников, М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов/ Мирошников М.М. – Изд. Лань, 2010. – 147с.
62. Мирошник, И.В. Методы анализа и проектирования нелинейных систем автоматического управления/ И.В.Мирошник.– Издательство: Питер, 2005. – 630с.
63. Надеждин, С.М. Способ защиты от колорадского жука и других насекомых-вредителей и устройство для его осуществления: патент на изобретение/ Надеждин С.М., 1999г., № 2120750.
64. Никоноров, И.В. Лов рыбы на свет/ Никоноров И.В. – М.: Пищепроимздат, 1963. – 166с.
65. Олейникова, Т.Ю. Влияние электромагнитного излучения на жизненный цикл насекомых (на примере *Drosophila Melanogaster*)/ Т.Ю. Олейникова// Естественные науки.– Изд: Астраханский госуниверситет, №2(35). – 2011.– С. 200.

66. Орлов, Н.М. Насекомые в электрических полях (биологические феномены и механизмы восприятия) / В.М. Орлов. – Томск. Изд-во: Томск ун-та, 1990. – 112с.
67. Пискунов Н.С. Дифференциальные и интегральные исчисления. В 2-х томах/ Н.С. Пискунов.– Издательство Интеграл-Аресс. – 2008. – 285с.
68. Плешкова, Ю.А. Модель процесса передачи оптической информации в системах управления поведением насекомых / Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер // Экологические системы и приборы.– 2010.– №12.– С. 24.
69. Плешкова, Ю.А. Методы исследования процессов передачи оптической информации биологическим объектам/ Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер // Международная научно-практическая конференция Фармацевтические и медицинские технологии в рамках Московского международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития» (Москва 20-22 марта, 2012г.) М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012 – С. 358.
70. Плешкова, Ю.А. Моделирование зависимостей информационных и энергетических характеристик систем управления поведением насекомых от их геометрических параметров / Ю.А. Плешкова А.М. Лихтер // Экологические системы и приборы.– 2011.– № 2.– С. 27.
71. Плешкова, Ю.А. Исследование зависимости информационных и энергетических характеристик процесса передачи оптического излучения насекомым от режима естественной освещенности/ Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер // Экокультура и фитобиотехнологии улучшения качества жизни на Каспии: Материалы международной конференции с элементами научной школы для молодежи 7-10 декабря 2010г. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет».– 2010.– С. 81.
72. Плешкова, Ю.А. Моделирование влияния режима естественной освещенности на процесс передачи оптической информации насекомым [

- / Ю.А. Плешкова, А.У. Джалмухамбетов, А.М. Лихтер // Естественные науки.– 2011. – №1.– С. 35.
73. Плешкова, Ю.А. Моделирование характеристик канала передачи оптической информации с учетом особенностей ландшафта местности / Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер // Прикаспийский журнал: управления и высокие технологии.– 2011.– №1.– С. 65.
74. Плешкова, Ю.А. Влияние особенностей ландшафта местности на характеристики оптического канала передачи информации насекомым / Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер // Экокультура и фитобиотехнологии улучшения качества жизни на Каспии: Материалы международной конференции с элементами научной школы для молодежи 7-10 декабря 2010г. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет».– 2010.– С. 56.
75. Плешкова, Ю.А. Математическое моделирование процесса передачи оптической информации насекомым с использованием излучателя типа «серое тело» / Д.А. Кирюхина, Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер // Человек и животные. Материалы VI Международной заочной конференции, посвященной 80-летию Астраханского государственного университета (май 2012г.). – Астрахань: Астраханский государственный университет, Издательский дом «Астраханский университет», 2012. – С. 131.
76. Плешкова, Ю.А. Программная реализация алгоритмов расчета характеристик процесса передачи оптического излучения насекомым / Ю.А. Плешкова // Известия ЮФУ. Технические науки. Проблемы математического моделирования, супервычислений и информационных технологий. – 2012. – №6. – С. 174.
77. Плешкова, Ю. А. Проектирование технического устройства для управления поведением насекомых, обеспечивающего минимизацию антропогенного воздействия химических средств на экосистему / Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер, О.М. Шикунская // Экологические системы и приборы. – 2012. – №12. – С. 10.

78. Плешкова, Ю.А. Разработка роботизированного комплекса для борьбы с вредными саранчовыми/ Н.М. Амшикашвили, А.М. Лихтер, С.А. Давыдова, А.А. Макухин, Ю.А. Плешкова // Будущее АПК: Наука и технологии, инновации и бизнес. Материалы восьмой всероссийской научной конференции студентов и молодых ученых 24-25 апреля 2012г. – Астрахань: Астраханский государственный университет, Издательский дом «Астраханский университет», 2012. – С. 227.
79. Плешкова, Ю.А. Управление поведением насекомых с помощью оптической фильтрации/ Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер // Проблемы управления. – 2012. – №6. – С. 51.
80. Плешкова, Ю.А. Повышение эффективности процесса передачи оптической информации насекомым с применением метода внешней фильтрации/ Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер // Прикаспийский журнал: управления и высокие технологии.– 2012.– №3(19).– С. 62.
81. Плешкова, Ю.А. Математическое моделирование систем управления поведением насекомых с использованием метода оптической фильтрации/ Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер // Российская конференция с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения УКИ12» (Москва 16-19 апреля 2012г.). Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, 2012. – С. 77.
82. Плешкова, Ю.А., Лихтер А.М. Программный комплекс для расчета характеристик канала передачи оптической информации дневным летающим насекомым / Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер, № 2012612494.
83. Плешкова, Ю.А. Программный комплекс для расчета параметров канала с внешней фильтрацией при передаче оптической информации насекомым/ Ю.А.Плешкова, А.М. Лихтер, № 2012610365.
84. Плешкова, Ю.А. Устройство привлечения насекомых с использованием селективных источников электромагнитного излучения: полезная модель/ Ю.А.Плешкова, А.М. Лихтер, № 93221.

85. Плешкова, Ю.А. Способ биологической защиты от кровососущих насекомых и устройство для его реализации: патент на изобретение/ Ю.А.Плешкова, А.М. Лихтер, № 2417588.
86. Поликарпов, В.М. Современные методы компьютерной обработки экспериментальных данных/ В.М. Поликарпов, И.В.Ушаков, Ю.М.Головин. – Издательство ТГТУ, 2006. – 48с.
87. Протасов В.Р. Зрение и ближняя ориентация рыб. – М.: 1968г. – 220с.
88. Рогожина, Ю.Н. Метод оптической фильтрации в биок cyberнетических системах управления поведением насекомых / Ю.Н. Рогожина, А.М. Лихтер, Ю.А. Плешкова, И.Т. Шагаутдинова // Экокультура и фитобиотехнологии улучшения качества жизни на Каспии: Материалы международной конференции с элементами научной школы для молодежи 7-10 декабря 2010г. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет».– 2010.– С. 101.
89. Рогожина, Ю.Н. Разработка устройств на основе метода оптической фильтрации в системах управления поведением насекомых/ Ю.Н. Рогожина, А.М. Лихтер, Ю.А. Плешкова, И.Т. Шагаутдинова // Фундаментальные и прикладные исследования университетов, интеграция в региональный инновационный комплекс. Том 4: Материалы международной научно-практической конференции 13-15 октября 2010г. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет».– 2010.– С. 228.
90. Романовский, Ю.М. Математическое моделирование в биофизике. Введение в теоретическую базу/ Ю.М. Романовский, Н.В. Степанов, Д.С. Чернавский. – М.: 2001. – 315с.
91. Рыбкин, А.П., Устройство для защиты от кровососущих насекомых: патент на изобретение/ А.П. Рыбкин, В.П. Казаков, № 2204901, 03.01.2003г.
92. Рыжков, В.А. Способ сбора насекомых: патент на изобретение/ В.А. Рыжков, № 2039433, 2005г.

93. Сапожников, Р.А. Теоретическая фотометрия/ Р.А. Сапожников.— Изд.: Энергия, переработанное издание, 2010. – 266с.
94. Саржевский, А.М. Оптика/ А.М. Саржевский. – Едиториал УРСС, 2011. – 236с.
95. Таутц, Ю. Что пчелы знают о цветах. Наука из первых рук/ Ю.Таутц . – ООО «Инфолио», 2008г. –4 (22).– С. 52.
96. Тимофеев, Ю.М. Теоретические основы атмосферной оптики: монография/ Ю.М.Тимофеев, А.В.Васильев. – СПб.: Наука, 2003. – 474с.
97. Тыщенко, В.П. Физиология насекомых/ В.П.Тыщенко. – М.: Высшая школа, 1986. – 186с.
98. Уразаков, К.Р. Устройство для сбора и уничтожения колорадского жука: патент на изобретение/ К.Р.Уразаков, Д.А.Зарипов, М.Д.Валеев, № 2012202, 2004г.
99. Федосеев, В.И. Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов/ В.И.Федосеев, М.П.Колосов.— Изд. Логос, 2007. – 248с.
100. Чернышов, В.Б. Влияние электромагнитных полей на поведение насекомых/ В.Б.Чернышов.— М.: Издательство МГУ, 1983. – 256с.
101. Шагаутдинова, И.Т. Разработка биокибернетической системы для реализации способа биологической защиты от гнуса / И.Т. Шагаутдинова, А.М. Лихтер, Ю.Н. Рогожина, Ю.А. Плешкова // Экокультура и фитобиотехнологии улучшения качества жизни на Каспии: Материалы международной конференции с элементами научной школы для молодежи 7-10 декабря 2010г. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет».– 2010.– С. 71.
102. Шагаутдинова, И.Т. Разработка и проектирование оптико-электронного концентратора плотности популяции саранчи в период её лета/ И.Т. Шагаутдинова, А.М. Лихтер, Ю.А. Плешкова, Ю.Н. Рогожина, Д.А. Кирюхина // Фундаментальные и прикладные исследования университетов, интеграция в региональный инновационный комплекс.

- Том 4: Материалы международной научно-практической конференции 13-15 октября 2010г. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет». – 2010. – С.194.
103. Шарова, И.Х. Зоология беспозвоночных/ И.Х. Шарова. – Изд: ВЛАДОС, 2004. – 267с.
 104. Шейдлин, А.М. Излучательные свойства твердых тел/ А.М. Шейдлин. – М.: Энергия, 1974. – С. 212.
 105. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетики/ К. Шеннон.: Перевод с английского, под редакцией Р.Л. Дубрушина, 1963. – 467с.
 106. Щеголев, В.Н. Защита растений и охрана опылителей (стратегия охраны насекомых-опылителей в агробиоценозах как элемент экологизации защиты растений)/ В.Н.Щеголев // Экологическая защита в АПК. – №4. – 2005. – С. 253.
 107. Щепина, Н.С. Основы светотехники/ Н.С. Щепина Изд: Физический факультет МГУ им. В.М. Ломоносова, 2005. – 282с.
 108. Якушенков, Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов/ Ю.Г. Якушенков, учеб. для вузов. – 4-е издание., перераб. и доп. – М.: Логос, 1999. – 408с.
 109. Amanda, J.C. Robots, insects and swarm intelligence/ J.C.// Amanda Artificial intelligence review. – 2006. – vol.26. – is.4. – pp.255.
 110. Bergethom P.R. Physical thoughts biological systems – the application of modeling principles to understanding biological systems/ P.R. Bergethom // The Physical basis of biochemistry, 2010. – pp.57.
 111. Birmingham, J. Neuromodulation in invertebrate sensory systems: from biophysics to behavior/ J.Birmingham, D.Tauck // Journal of experimental biology. – 2006. – pp. 354.
 112. Chittka, L. The evolutionary adaptation of flower colours and the insect pollinators' colour vision/ L. Chittka and R. Menzel // J Comp Physiol A 171, 2002, pp. 171.

113. Cullen, D.A. Optimizing multivariate behavioral syndrome models in locusts using automated video tracking/ D.A.Cullen, G.A.Sword, S.J. Simpsom// *Animal behavioral.*– №84.– 2012.– pp. 717.
114. Chao, P. An optical flow-based integrated navigation system inspired by insect vision / P. Chao, D. He// *Biological cybernetic.*– № 105.– 2011. – pp. 239.
115. Cinzano, P. Moonlight without the moon/ P. Cinzano, F. Falchi // *Earth-Moon relationships.*– 2001.– pp. 517.
116. Dr. Peter Marwedel. Radiative processes of the surface-atmosphere system/ Dr. Peter Marwedel // *Mediterranean land-surface processes assessed from space*, 2006.–pp. 137.
117. Delcomyn, F. Walking robots and the central and peripheral control of locomotion in insects/ F. Delcomyn// *Autonomous robots.*– 1999.– vol.7.– is. 3.– pp. 259.
118. Dr. Edward J. Waller. Radiation in the Environment // *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology.*– 2012.– pp. 8467.
119. Epsky, D. Traps for capturing insects/ D. Epsky, W.L. Morill, R Markin.– *Encyclopedia of entomology*, 2005.– pp. 2319.
120. Fal, R.E. Radiation source/ R.E.Fal, K.J. Shultis // *Nuclear energy.* – 2013.– pp. 343.
121. Fitt, G.P. Critical issues in pest management for a future with sustainable biofuel cropping/ G.P. Fitt // *Current opinion in environmental sustainability.*– 3(1-2).– 2011.– pp. 71.
122. Guo-hui, Z.H.O.U. A math model of calculate the atmospheric transmittance of infrared radiation/ Z.H.O.U. Guo-hui, L.I.U. Xiang-wei // *Infrared technology.*– 2008.– 30 (6).– pp. 331.
123. Graig, F. Bohren Absorption and scattering of light by small particles/ F. Graig. – New York.– 2009.– 235p.

124. Guzzi, R. Modelling information content problems of the radiative transfer theory/ R. Guzzi, O. Smokty// Exploring the atmosphere by remote sensing techniques.– 2003.– № 607.– pp. 128.
125. Holzer, B.R. Protection against mosquito bites/ B.R. Holzer // Therapeutics umschau.– 2010.– 58 (6).– pp 341.
126. H. C. van de Hulst. Light scattering by small particles. New York, John Wiley and Sons, Inc. –1957.– 537pp.
127. Homberg, U. In the search of the sky compass in the insect brain/ U. Homberg // Naturwissenschaften.– 2004.– № 91.–pp.199.
128. Hajong, S. A report on positive phototaxis exhibited by polymorphic forms of an aphid/ S. Hajong, A. Varman // Journal of insect behavior, 2002.– vol. 15.– №2.– pp. 28.
129. Kral, K. The functional significance of mantis peering behavior/ K. Kral // European Journal of Entomology, 2012.– 109 (3).– pp. 295.
130. Konyaev, P.A. Computer simulation of adaptive optics for laser systems in atmospheric application/ P.A. Konyaev // Optoelectronics, instrumentation and data processing, 2012.– vol. 48.– is.2– pp. 119.
131. Mouritsen, H. The magnetic senses/ H. Mouritsen // Neurosciences – From molecule to behavior: a university textbook, 2013.– pp. 427.
132. Oberrath, R., Floral color change and the attraction of insect pollinators in lungwort (*Pulmonaria collina*)/ R.Oberrath, K. Bohning-Verlag.– 2009.– pp. 383.
133. Paul, R. Spectral sensitivity of calliphora erythrocephola and other insect species studied with Fourier Interferometric stimulation (FIS) / R. Paul, A. Steiner // Journal of Comparative Physiology, 1996.– № 156.– pp. 669.
134. Peucheret, C. Phase characteristics of optical information processing/ C. Peucheret // Applied Physics A, 2006.–№18.– pp.17.
135. Peitsch, D. The spectral input systems of hymenopteran insects and their receptor-based colour vision/ D. Peitsch, A. Fietz, H. Hertel – 2002, p.40.

136. Pleshkova, J. Mathematical modeling of the process of the optical information transmission to the insects/ J. Pleshkova, A. Likhter// The advanced science open access journal, 2011.– №4.– pp.59.
137. Pleshkova, U.A. The Methods of the Study of the Processes the Issue to the Optikal Information Biological Object/ U.A. Pleshkova, A.M. Likhter // Recent trends in biotechnology. Pharmaceutical and medical biotechnology, pp.55-69. Nova Science Publishers, Inc. New York, 2013.
138. Prof. Dr. Jahn J. Numerical methods/ Prof. Dr. Jahn J.// Vector optimization, 2011. – pp. 315.
139. Quirk, T. Random number generator/ T. Quirk // Excel 2010 for educational and psychological statistics, 2012.– pp. 21.
140. Reisenman, C. Spectral sensitivity of the photonegative reaction of the blood-sucking bug *Triatoma infestans* (heteroptera: reduviidae)/ C. Reisenman, C. Lazzari // J Comp physiol A, 2006.– pp. 39.
141. Sanborn, A. Acoustic communication in insects/ A. Sanborn // Encyclopedia of entomology. Springer Netherland, 2008.– №4.– pp. 33.
142. Shannon, Robert E. Systems simulation. University of Alabama in Huntsville/ Shannon Robert E.– New Jersey, 1975. – p.301.
143. Smith, R. Phototaxis, host cues and host-plant finding in a monophagous weevil, *rhinoncomimus latipes*/ R.Smith, J. Hough-Goldstein.– 2013, pp.119.
144. Sternlicht, M. Effects of Moon phases and of various trap colors on the capture ofprays citri males in sticky traps/ M. Sternlicht // Phytoparasitica, 2009.– vol. 2.– is.1.– pp. 35.
145. Svelto, O. Lasers and coherent light sources. Springer handbook of lasers and optics/ O. Svelto, S.Longhi.– 2012.– pp. 641.
146. Tatarchenko, V.A. Characteristics infrared radiation of the first-order phase transitions and its connection with atmospheric optics/ V.A. Tatarchenko // Atmospheric and oceanic optics, 2010.– vol.23.– is.4.– pp.252.

147. Webb, B. Perception for Action in Insects. Institute of Perception, Action and Behaviour / B.Webb and J.Wessnitzer: University of Edinburgh, 2010. – p. 315.
148. Yang, C-P Approximate model for calculation radiance of atmospheric background/ C-P.Yang, X.Q. Meng, J. Wu. // 4th International symposium on advanced optical manufacturing and resting technologies, 2009.– pp. 202.

Приложение А

(обязательное)

Спектральная и температурная зависимости энергии излучения вольфрама

Аналитическое выражение функции спектральной излучательной способности вольфрама в температурном диапазоне 600÷2600К и интервале длин волн от 0.3 до 0.76мкм:

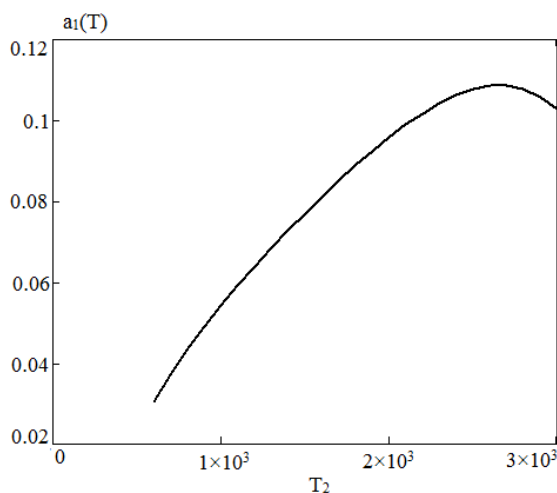
$$E_{CT}(\lambda, T) := \xi(\lambda, T) + \frac{a_2(T)}{1 + \left(\frac{\lambda^{p(T)}}{x_0(T)} \right)},$$

где:

$$a_1(T) = -0.0289 + 1.35738 \cdot 10^{-4} T - 7.82472 \cdot 10^{-8} T^2 + \\ + 3.05777 \cdot 10^{-11} T^3 - 4.90057 \cdot 10^{-5} T^4$$

$a_1(T) =$

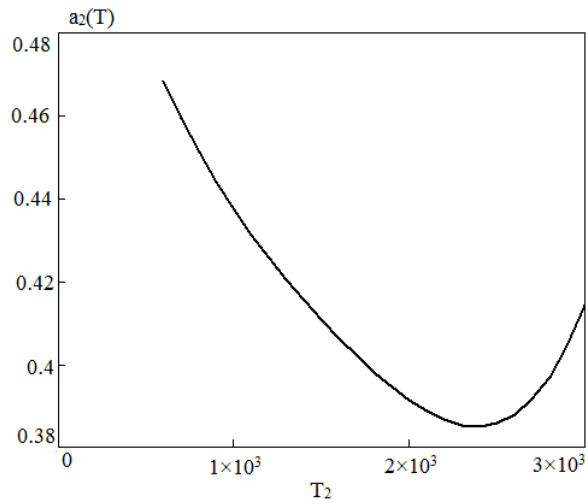
0.03
0.037
0.043
0.049
0.054
0.059
0.064
0.069
0.073
0.077
0.081
0.085
0.089
0.092
0.096
...



$$a_2(T) =$$

0.468
0.459
0.451
0.444
0.431
0.059
0.426
0.42
0.415
0.411
0.406
0.402
0.398
0.394
0.391
...

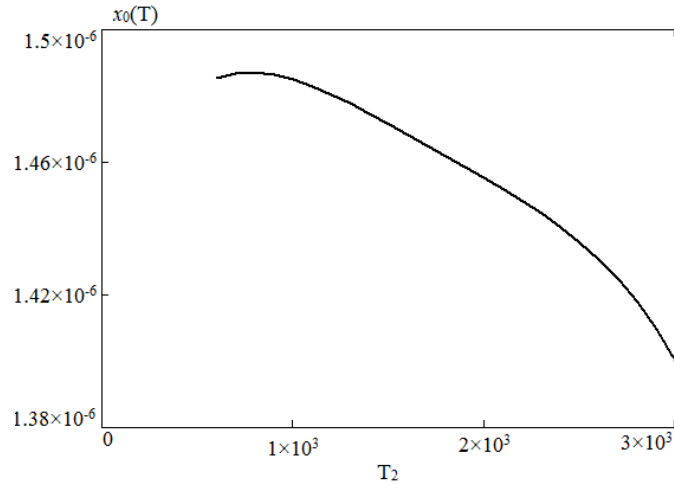
$$a_2(T) = -0.55516 - 2.09496 \cdot 10^{-4}T + 1.37868 \cdot 10^{-7}T^2 - 5.53591 \cdot 10^{-11}T^3 + 9.15601 \cdot 10^{-5}T^4$$



$$x_0(T) =$$

$1.486 \cdot 10^{-6}$
$1.487 \cdot 10^{-6}$
$1.486 \cdot 10^{-6}$
$1.48 \cdot 10^{-6}$
$1.475 \cdot 10^{-6}$
$1.468 \cdot 10^{-6}$
$1.462 \cdot 10^{-6}$
$1.455 \cdot 10^{-6}$
$1.448 \cdot 10^{-6}$
$1.44 \cdot 10^{-6}$
$1.431 \cdot 10^{-6}$
$1.425 \cdot 10^{-6}$
$1.418 \cdot 10^{-6}$
$1.41 \cdot 10^{-6}$
$1.4 \cdot 10^{-6}$
...

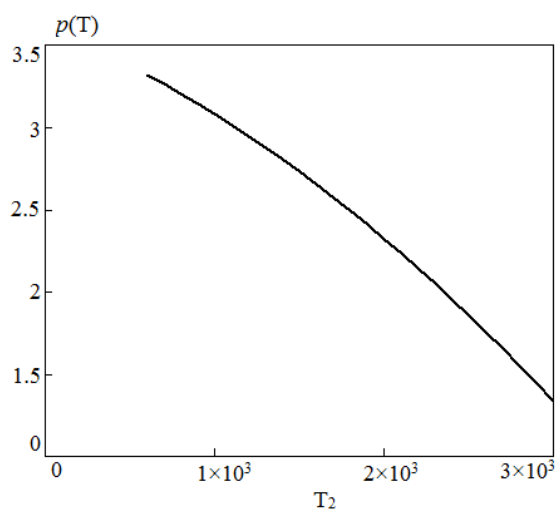
$$x_0(T) = 1.43817 \cdot 10^{-6} + 1.54922 \cdot 10^{-10}T - 1.60624 \cdot 10^{-13}T^2 + 6.13155 \cdot 10^{-17}T^3 - 8.8009 \cdot 10^{-5}T^4$$



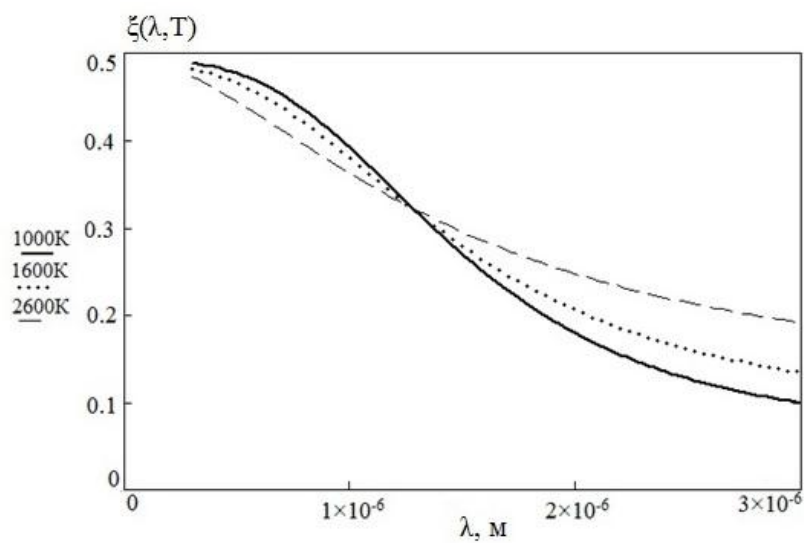
$$p(T) =$$

3.321
3.264
3.205
3.144
3.08
3.014
2.964
2.876
2.803
2.729
2.625
2.572
2.491
2.407
2.321
...

$$p(T) = 3.61428 - 4.21681 \cdot 10^{-4} T - 1.1253 \cdot 10^{-7} T^2 + \\ + 7.38364 \cdot 10^{-23} T^3 - 9.33811 \cdot 10^{-27} T^4$$



Спектральная излучательная способность вольфрама при различной температуре нити накала



Приложение Б

(обязательное)

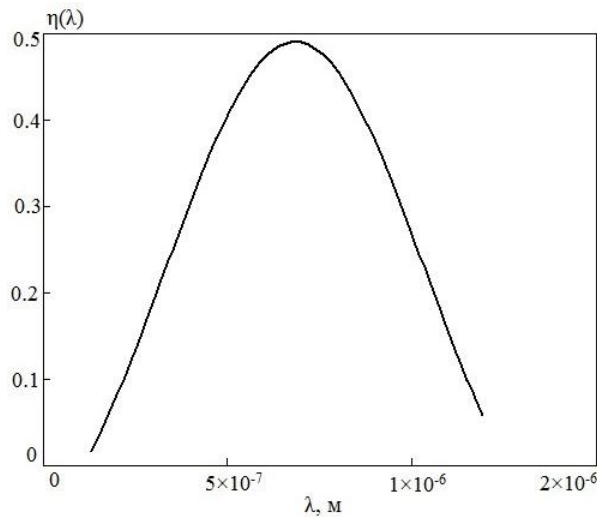
*Оптический шум естественного источника электромагнитного излучения
оптического диапазона*

Мощность солнечного излучения, приходящегося на 1 м^2 земной поверхности с учетом поглощения атмосферой:

$$Ш_c = \left(\int_{350 \cdot 10^{-9}}^{700 \cdot 10^{-9}} \xi(\lambda, T) \cdot \tau(\lambda) \cdot d\lambda \right) \cdot \left(\frac{R_c}{R_{o.3}} \right)^2 .$$

Альбе́до лунной поверхности:

$$\eta(\lambda) = -0.179 + 0.67 \exp \left[-0.5 \left(\frac{\lambda - 6.83 \cdot 10^{-7}}{3.52 \cdot 10^{-7}} \right)^2 \right] .$$



Мощность солнечного излучения, приходящегося на 1 м^2 лунной поверхности без учета атмосферы:

$$Ш_{cл} = \left(\int_{350 \cdot 10^{-9}}^{700 \cdot 10^{-9}} \xi(\lambda, T) \cdot d\lambda \right) \cdot \left(\frac{R_c}{R_{o.3}} \right)^2 .$$

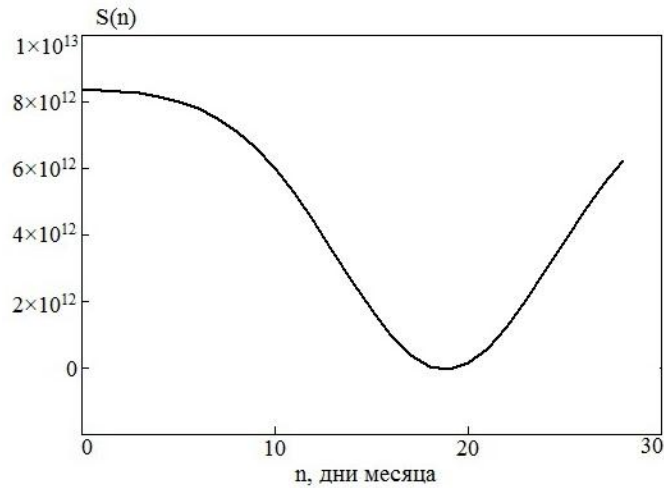
Излучение, отраженное с 1 м^2 лунной поверхности и приходящееся на поверхность Земли:

$$Ш_{лз} := \left(\int_{350 \cdot 10^{-9}}^{700 \cdot 10^{-9}} \xi(\lambda, T) \cdot \tau(\lambda) \cdot d\lambda \right) \cdot \left(\frac{R_c}{R_{o.3}} \right)^2 .$$

Функция, показывающая изменение площади лунного диска в зависимости от фазы Луны в течении месяца:

$$S(n) := 8.4 \cdot 10^{12} - 8.45 \cdot 10^{12} \cdot e^{-0.5 \left(\frac{n_1 - 18.82}{5.56} \right)^2},$$

где $n_1 := 0..28$ – количество дней месяца, $n_2 := 120..273$ – номера дней года совпадающие с активной фазой жизнедеятельности насекомых (с 1.05 по 1.10).



Функция выбирающая конкретный день в течении месяца $\text{mod}(x, y)$ – возвращает остаток от деления x на y (x по модулю y), знак результата совпадает со знаком x :

$$n_{11}(n_2) := \text{mod}(n_2, 28).$$

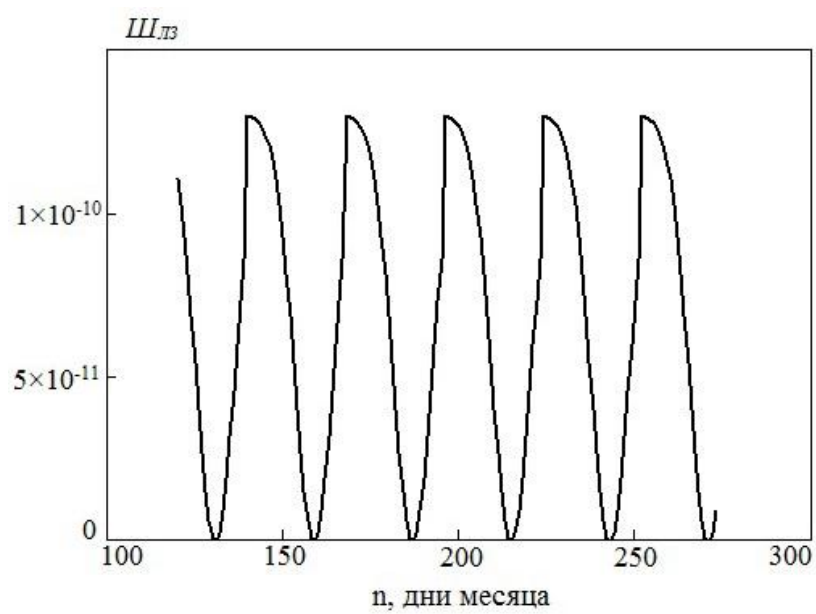
Мощность лунного излучения в зависимости от фазы изменяющейся в течении месяца:

$$III'_{ЛЗ}(n_2) := (III_{Л} \cdot S(\text{mod}(n_2, 28)))$$

Излучение, приходящее на 1м^2 поверхности Земли с учетом меняющейся фазы Луны в течении месяца:

$$III_{ЛЗ} := \frac{\int_{350 \cdot 10^{-9}}^{700 \cdot 10^{-9}} \tau(\lambda) d\lambda \cdot (III'_{ЛЗ} \cdot (n_2))}{4\pi R_{ЛЗ}},$$

где $R_{ЛЗ}$ – расстояние от Луны до Земли.



Приложение В

(информационное)

Программный комплекс для расчета характеристик канала передачи оптической информации насекомым

```

using System;
namespace Insects
{
    public delegate double Integrand(double x, int i, int j);

    public struct Container
    {
        public int i, j;
        public Integrand f;
    }

    public class Rand3 {
        public Rand3()
        {
            a = r.NextDouble() * 0.9999;
            b = (1.0 - a) * (r.NextDouble() * 0.9999);
            c = 1.0 - b - a;
        }

        private Random r = new Random(DateTime.Now.Millisecond);

        public double a { get; private set; }
        public double b { get; private set; }
        public double c { get; private set; }
    }

    public static class ME
    {
        static Rand3 r;

        public static void newR()
        {
            r = new Rand3();
        }

        const int h1 = 3;
        const double c1 = 3e+8;
        const double h = 6.62e-34;
        const double T = 5600;
        const double k = 1.38e-23;
        const double Z = 6.96e8;
        const double H = 15e10;
        //МОНОХП 3P
        private static double h2_j(int j)
        {
            return 1 + 0.25 * j;
        }
        private static double u1(double l)
        {
            return 0.01 + 0.67/(1 +Math.Pow((1*1e9/137),3));
        }

        private static double m1(double l)
        {
            return 0.41 - 0.51/(1 +Math.Pow((1*1e9/440),5));
        }

        private static double p1(double l)
    }
}

```

```

{
    return 15/(1 + 61*(Math.Exp(-0.01*1*1e9)));
}

private static double psi4(double l)
{
    return 0.25*Math.Exp(1*1e9/310) + 0.32 - 0.003*1*1e9;
}

private static double L_ij(int i, int j)
{
    return Math.Sqrt(Math.Pow(1 + 0.25 * i, 2) + Math.Pow(1 + 0.25 * j - h1,
2));
}

private static double r6_l(double l)
{
    return 0.65 + 0.29 * (1 - 1 / (1 + Math.Exp((1 * (1e+9) - 740) / 115)));
}
private static double r4_l(double l)
{
    return 0.9 - 11.05*Math.Exp(-0.007*1*1e9);
}
private static double r5_l(double l)
{
    return 0.9 - 17.098 * Math.Exp( 1 * 1e9);
}
private static double t3_l(double l)
{
    return 0.11 + 0.75 * (1 / (1 + Math.Exp(-1 * (1 * (1e+9) - 560) / 6)));
}

private static double x1_l(double l)
{
    return 0.044 +
        (2.6 / (1 + Math.Exp((1 * (1e+9) - 550) / 60)))
        *
        (1 - (1 / (1 + Math.Exp((1 * (1e+9) - 550) / 9.94))));
}

private static double q_l(double l)
{
    return Math.Log(1 / t3_l(l)) / 2000;
}

private static double e_l(double l)
{
    return
        (2*Math.PI*Math.Pow(c1,2)*h)
        /
        (Math.Pow(l,5)*(Math.Exp((h*c1)/(T*k*1)))-1 );
}

private static double P1_integrand(double l, int i, int j)
{
    return e_l(l)*t3_l(l);
}

private static double P1()
{
    return (integrate(P1_integrand, 350*1e-9, 700*1e-9))*(Math.Pow(Z/H, 2));
}

```

```

private static double U1_integrand(double l, int i, int j)
{
    return (1 + r.a*u1(l) + r.b*m1(l) + r.c*psi4(l))*(x1_l(l)*t3_l(l));
}
private static double U1()
{
    return (P1() / Math.PI) * integrate(U1_integrand, 350 * 1e-9, 700 * 1e-9);
}
//СИГНАЛЫ
private static double S8_ij_integrand(double l, int i, int j)
{
    return r6_l(l) * t3_l(l) * x1_l(l) * Math.Exp(-1 * q_l(l) * L_ij(i, j));
}

private static double S8_ij(int i, int j)
{
    return 15/L_ij(i,j)*(integrate(S8_ij_integrand, 340*1e-9, 475*1e-9,i,j));
}

private static double S4_ij_integrand(double l, int i, int j)
{
    return r4_l(l)* t3_l(l) * x1_l(l) * Math.Exp(-1 * q_l(l) * L_ij(i, j));
}

private static double S4_ij(int i, int j)
{
    return 17 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S4_ij_integrand, 340*1e-
9, 475*1e-9, i, j));
}

private static double S5_ij_integrand(double l, int i, int j)
{
    return r5_l(l) * t3_l(l) * x1_l(l) * Math.Exp(-1 * q_l(l) * L_ij(i, j));
}

private static double S5_ij(int i, int j)
{
    return 93 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S5_ij_integrand, 340 *
1e-9, 475 * 1e-9, i, j));
}
//ШУМЫ
private static double E12_j_integrand(double l, int i, int j)
{
    return r6_l(l) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(l) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * x1_l(l) * t3_l(l);
}
private static double E12_j(int i, int j)
{
    return 15 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E12_j_integrand, 350*1e-9, 700*1e-9, i, j));
}

private static double E1_j_integrand(double l, int i, int j)
{
    return r4_l(l) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(l) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * x1_l(l) * t3_l(l);
}
private static double E1_j(int i, int j)
{

```

```

        return 17 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E1_j_integrand, 350 * 1e-9, 700 * 1e-9, i, j));
    }
    private static double E4_j_integrand(double l, int i, int j)
    {
        return r5_l(l) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(l) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * x1_l(l) * t3_l(l);
    }
    private static double E4_j(int i, int j)
    {
        return 93 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E4_j_integrand, 350 * 1e-9, 700 * 1e-9, i, j));
    }
    //ДИХРОМН ЗР
    private static double b2(double l)
    {
        return Math.Exp(-2*Math.Pow((l*1e9 - 498)/83,2));
    }
    private static double b3(double l)
    {
        return 0.02 + 0.98/(1 + Math.Exp((l*1e9 - 400)/10));
    }

    private static double U2_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return (1 + r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * (b2(l) *
t3_l(l));
    }
    private static double U2_integrand_2(double l, int i, int j)
    {
        return (1 + r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * (b3(l) *
t3_l(l));
    }
    private static double U2()
    {
        return (P1() / Math.PI) * (integrate(U2_integrand_1, 380 * 1e-9, 650 * 1e-
9) + integrate(U2_integrand_2, 340 * 1e-9, 480 * 1e-9));
    }
    //СИГНАЛ
    private static double S2_ij_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return r4_l(l) * t3_l(l) * b3(l) * Math.Exp(-1 * q_l(l) * L_ij(i, j));
    }
    private static double S2_ij_integrand_2(double l, int i, int j)
    {
        return r4_l(l) * t3_l(l) * b2(l) * Math.Exp(-1 * q_l(l) * L_ij(i, j));
    }

    private static double S2_ij(int i, int j)
    {
        return 17 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S2_ij_integrand_1, 340 * 1e-9, 480 * 1e-9, i,
j))
        + (integrate(S2_ij_integrand_2, 380 * 1e-9, 650 * 1e-9, i, j));
    }

    private static double S6_ij_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return r5_l(l) * t3_l(l) * b3(l) * Math.Exp(-1 * q_l(l) * L_ij(i, j));
    }

```

```

    }
    private static double S6_ij_integrand_2(double l, int i, int j)
    {
        return r5_l(l) * t3_l(l) * b2(l) * Math.Exp(-1 * q_l(l) * L_ij(i, j));
    }

    private static double S6_ij(int i, int j)
    {
        return 93 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S6_ij_integrand_1, 340 *
1e-9, 480 * 1e-9, i, j))
        + 93 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S6_ij_integrand_2, 380
* 1e-9, 650 * 1e-9, i, j));
    }
    private static double S9_ij_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return r6_l(l) * t3_l(l) * b3(l) * Math.Exp(-1 * q_l(l) * L_ij(i, j));
    }
    private static double S9_ij_integrand_2(double l, int i, int j)
    {
        return r6_l(l) * t3_l(l) * b2(l) * Math.Exp(-1 * q_l(l) * L_ij(i, j));
    }

    private static double S9_ij(int i, int j)
    {
        return 15 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S9_ij_integrand_1, 340 *
1e-9, 480 * 1e-9, i, j))
        + 15 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S9_ij_integrand_2, 380
* 1e-9, 650 * 1e-9, i, j));
    }
    //SYM
    private static double E25_j_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return r4_l(l) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(l) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * b2(l) * t3_l(l);
    }
    private static double E25_j_integrand_2(double l, int i, int j)
    {
        return r4_l(l) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(l) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * b3(l) * t3_l(l);
    }
    private static double E25_j(int i, int j)
    {
        return 17 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E25_j_integrand_1, 380 * 1e-9, 650 * 1e-9, i, j)) +
        17 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E25_j_integrand_2, 340 * 1e-9, 480 * 1e-9, i, j));
    }

    private static double E26_j_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return r5_l(l) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(l) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * b2(l) * t3_l(l);
    }
    private static double E26_j_integrand_2(double l, int i, int j)
    {
        return r4_l(l) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(l) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * b3(l) * t3_l(l);
    }
    private static double E26_j(int i, int j)
    {

```

```

        return 93 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E26_j_integrand_1, 380 * 1e-9, 650 * 1e-9, i, j)) +
        93 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E26_j_integrand_2, 340 * 1e-9, 480 * 1e-9, i, j));
    }
    private static double E27_j_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return r6_l(l) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(l) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * b2(l) * t3_l(l);
    }
    private static double E27_j_integrand_2(double l, int i, int j)
    {
        return r6_l(l) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(l) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * b3(l) * t3_l(l);
    }
    private static double E27_j(int i, int j)
    {
        return 15/ (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E27_j_integrand_1, 380 * 1e-9, 650 * 1e-9, i, j)) +
        15/ (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E27_j_integrand_2, 340 * 1e-9, 480 * 1e-9, i, j));
    }

    //TPMXP 3P
    private static double k4(double l)
    {
        return 0.2 + 0.96*Math.Exp(-2*Math.Pow((l*1e9 - 415)/73,2));
    }
    private static double k5(double l)
    {
        return 0.04 + 0.8 * Math.Exp(-0.5 * Math.Pow((l * 1e9 - 480) / 67, 2))*(1
-(l * 1e9 - 480) / 268 ) *(Math.Pow((l * 1e9 - 480) / 67, 2) - 3) ;
    }
    private static double k6(double l)
    {
        return (1/(1 + Math.Exp((l*1e9 - 569)/-18)))*(1 - 1/(1 + Math.Exp((l*1e9 -
647)/-12)));
    }
    private static double U3_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return (1 + r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * k4(l)* t3_l(l);
    }
    private static double U3_integrand_2(double l, int i, int j)
    {
        return (1 + r.a * u1(l) + r.b * m1(l) + r.c * psi4(l)) * k6(l) * t3_l(l);
    }
    private static double U3()
    {
        return (P1() / Math.PI) * (integrate(U3_integrand_1, 350 * 1e-9, 600 * 1e-
9)
+ integrate(U3_integrand_2, 340 * 1e-9, 650 *
1e-9) + integrate(U3_integrand_3,450 * 1e-9, 700 * 1e-9));
    }

```

```

//СИГНАЛ
private static double S3_ij_integrand_1(double l, int i, int j)
{
    return r4_l(1) * t3_l(1) * k4(1) * Math.Exp(-1 * q_l(1) * L_ij(i, j));
}
private static double S3_ij_integrand_2(double l, int i, int j)
{
    return r4_l(1) * t3_l(1) * k5(1) * Math.Exp(-1 * q_l(1) * L_ij(i, j));
}
private static double S3_ij_integrand_3(double l, int i, int j)
{
    return r4_l(1) * t3_l(1) * k6(1) * Math.Exp(-1 * q_l(1) * L_ij(i, j));
}
private static double S3_ij(int i, int j)
{
    return 17/ Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S3_ij_integrand_1, 350 *
1e-9, 600 * 1e-9, i, j))
    + 17 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S3_ij_integrand_2, 340
* 1e-9, 650 * 1e-9, i, j))
    + 17 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S3_ij_integrand_3, 450
* 1e-9, 700 * 1e-9, i, j));
}
private static double S7_ij_integrand_1(double l, int i, int j)
{
    return r5_l(1) * t3_l(1) * k4(1) * Math.Exp(-1 * q_l(1) * L_ij(i, j));
}
private static double S7_ij_integrand_2(double l, int i, int j)
{
    return r5_l(1) * t3_l(1) * k5(1) * Math.Exp(-1 * q_l(1) * L_ij(i, j));
}
private static double S7_ij_integrand_3(double l, int i, int j)
{
    return r5_l(1) * t3_l(1) * k6(1) * Math.Exp(-1 * q_l(1) * L_ij(i, j));
}
private static double S7_ij(int i, int j)
{
    return 93 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S7_ij_integrand_1, 350 *
1e-9, 600 * 1e-9, i, j))
    + 93 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S7_ij_integrand_2, 340
* 1e-9, 650 * 1e-9, i, j))
    + 93 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S7_ij_integrand_3, 450 * 1e-9, 700 * 1e-9, i, j));
}
private static double S10_ij_integrand_1(double l, int i, int j)
{
    return r6_l(1) * t3_l(1) * k4(1) * Math.Exp(-1 * q_l(1) * L_ij(i, j));
}
private static double S10_ij_integrand_2(double l, int i, int j)
{
    return r6_l(1) * t3_l(1) * k5(1) * Math.Exp(-1 * q_l(1) * L_ij(i, j));
}
private static double S10_ij_integrand_3(double l, int i, int j)
{
    return r6_l(1) * t3_l(1) * k6(1) * Math.Exp(-1 * q_l(1) * L_ij(i, j));
}
private static double S10_ij(int i, int j)
{
    return 15 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S10_ij_integrand_1, 350 *
1e-9, 600 * 1e-9, i, j))
    + 15 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S10_ij_integrand_2, 340
* 1e-9, 650 * 1e-9, i, j))
    + 15 / Math.Pow(L_ij(i, j), 2) * (integrate(S10_ij_integrand_3, 450
* 1e-9, 700 * 1e-9, i, j));
}

```

```

    }
    //WYM
    private static double E21_j_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return r4_l(1) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(1) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(1) + r.b * m1(1) + r.c * psi4(1)) * k4(1) * t3_l(1);
    }
    private static double E21_j_integrand_2(double l, int i, int j)
    {
        return r4_l(1) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(1) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(1) + r.b * m1(1) + r.c * psi4(1)) * k5(1) * t3_l(1);
    }
    private static double E21_j_integrand_3(double l, int i, int j)
    {
        return r4_l(1) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(1) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(1) + r.b * m1(1) + r.c * psi4(1)) * k6(1) * t3_l(1);
    }
    private static double E21_j(int i, int j)
    {
        return 17 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E21_j_integrand_1, 350 * 1e-9, 600 * 1e-9, i, j)) +
        17 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E21_j_integrand_2, 340 * 1e-9, 650 * 1e-9, i, j)) +
        17 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E21_j_integrand_3, 450 * 1e-9, 700 * 1e-9, i, j));
    }
    private static double E24_j_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return r5_l(1) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(1) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(1) + r.b * m1(1) + r.c * psi4(1)) * k4(1) * t3_l(1);
    }
    private static double E24_j_integrand_2(double l, int i, int j)
    {
        return r5_l(1) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(1) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(1) + r.b * m1(1) + r.c * psi4(1)) * k5(1) * t3_l(1);
    }
    private static double E24_j_integrand_3(double l, int i, int j)
    {
        return r5_l(1) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(1) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(1) + r.b * m1(1) + r.c * psi4(1)) * k6(1) * t3_l(1);
    }
    private static double E24_j(int i, int j)
    {
        return 93 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E24_j_integrand_1, 350 * 1e-9, 600 * 1e-9, i, j)) +
        93 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E24_j_integrand_2, 340 * 1e-9, 650 * 1e-9, i, j)) +
        93 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E24_j_integrand_3, 450 * 1e-9, 700 * 1e-9, i, j));
    }
    private static double E18_j_integrand_1(double l, int i, int j)
    {
        return r6_l(1) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(1) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(1) + r.b * m1(1) + r.c * psi4(1)) * k4(1) * t3_l(1);
    }
    private static double E18_j_integrand_2(double l, int i, int j)
    {

```

```

        return r6_l(1) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(1) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(1) + r.b * m1(1) + r.c * psi4(1)) * k5(1) * t3_l(1);
    }
    private static double E18_j_integrand_3(double l, int i, int j)
    {
        return r6_l(1) * Math.Exp(-1 * Math.Exp(q_l(1) * h2_j(j)) * (1 + 0.25 *
j)) * (r.a * u1(1) + r.b * m1(1) + r.c * psi4(1)) * k6(1) * t3_l(1);
    }
    private static double E18_j(int i, int j)
    {
        return 15 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E18_j_integrand_1, 350 * 1e-9, 600 * 1e-9, i, j)) +
        15 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E18_j_integrand_2, 340 * 1e-9, 650 * 1e-9, i, j)) +
        15 / (Math.Pow(1 + 0.25 * j, 2) * Math.PI) *
(integrate(E18_j_integrand_3, 450 * 1e-9, 700 * 1e-9, i, j));
    }
    //ОТНОШЕНИЕ СИГНАЛ-ШУМ
    public static double mono_t(int i, int j)
    {
        return S8_ij(i,j)/(E12_j(i, j) + U1());
    }

    public static double mono_h(int i, int j)
    {
        return S4_ij(i, j) / (E1_j(i, j) + U1());
    }

    public static double mono_x(int i, int j)
    {
        return S5_ij(i, j) / (E4_j(i, j) + U1());
    }

    public static double di_h(int i, int j)

        return S2_ij(i, j) / (E25_j(i, j) + U2());
    }

    public static double di_x(int i, int j)
    {
        return S6_ij(i, j) / (E26_j(i, j) + U2());
    }

    public static double di_t(int i, int j)
    {
        return S9_ij(i, j) / (E27_j(i, j) + U2());
    }
    public static double tri_h(int i, int j)
    {
        return S3_ij(i, j) / (E21_j(i, j) + U3());
    }
    public static double tri_x(int i, int j)
    {
        return S7_ij(i, j) / (E24_j(i, j) + U3());
    }
    public static double tri_t(int i, int j)
    {
        return S10_ij(i, j) / (E18_j(i, j) + U3());
    }

```

```

public static int I { get { return 76; } }
public static int J { get { return 56; } }

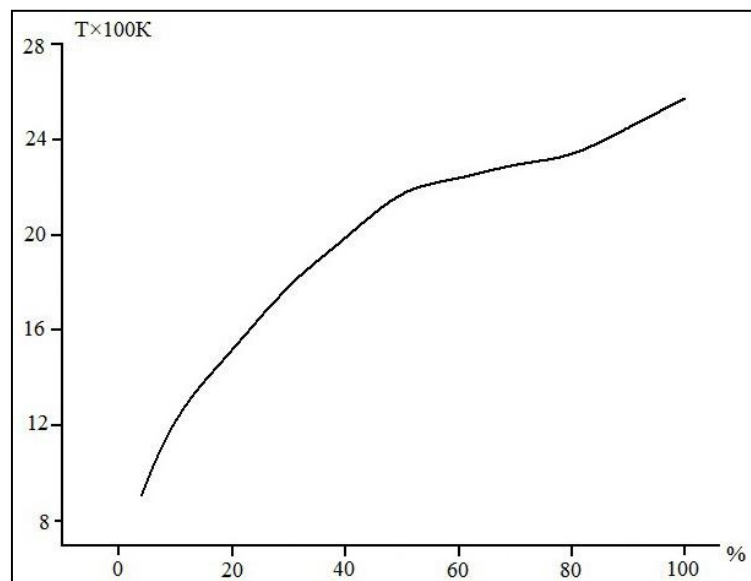
private static void int_function_1_func(double x, double xminusa, double bminusx,
ref double y, object obj)
{
    y = (((Container)obj).f)(x, ((Container)obj).i, ((Container)obj).j);
}

private static double integrate(Integrand f, double xmin, double xmax, int i = 0,
int j = 0)
{
    double res;
    alglib.autogkstate s;
    alglib.autogkreport rep;
    alglib.autogksmooth(xmin, xmax, out s);
    Container cont = new Container();
    cont.i = i;
    cont.j = j;
    cont.f = f;
    alglib.autogkintegrate(s, int_function_1_func, cont);
    alglib.autogkresults(s, out res, out rep);
    return res;
}
}
}

```

Приложение Г (информационное)

Паспортизация селективного источника оптического излучения



Зависимость температуры нити накала вольфрамовой лампы от процентной мощности

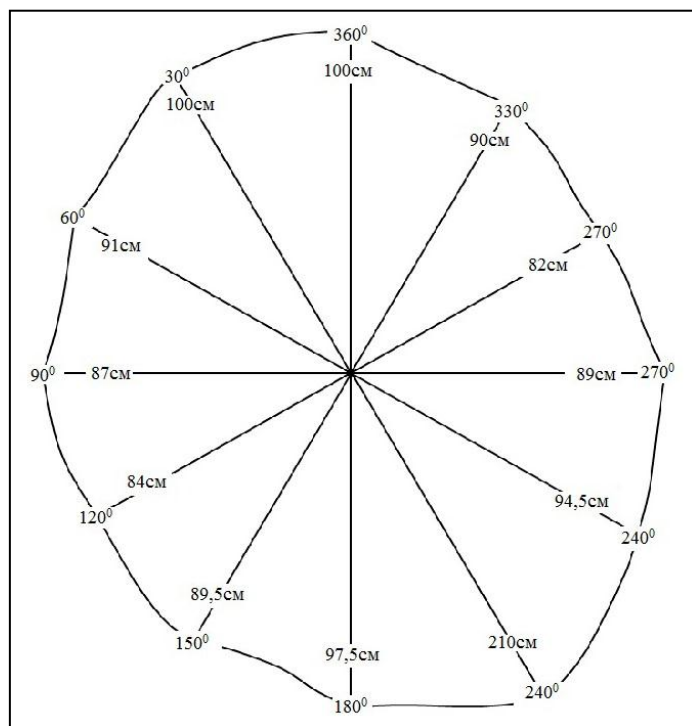
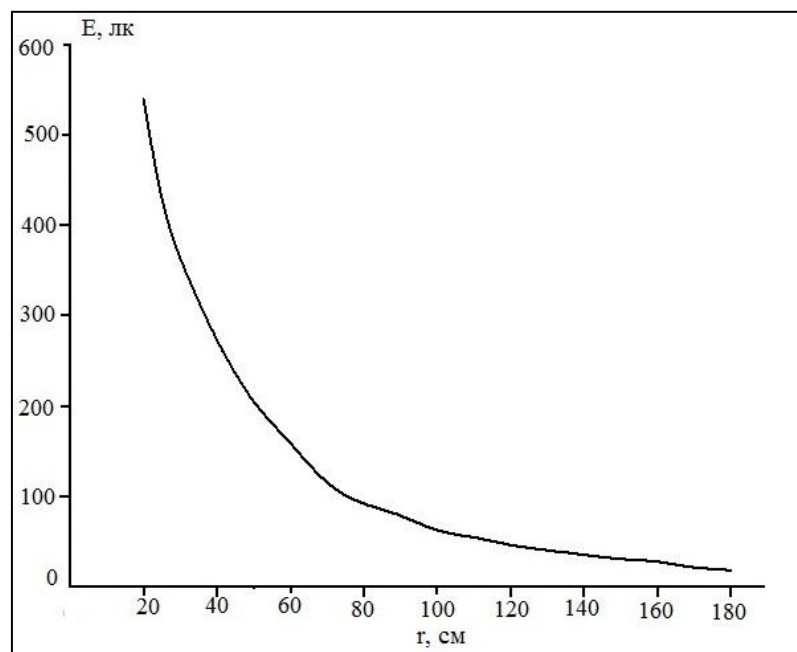


Диаграмма направленности вольфрамовой лампы



Изменение освещенности, создаваемой лампой с вольфрамовой нитью накала с расстоянием

Приложение Д (обязательное)

Проверка адекватности математической модели

Таблица 1 – Значение пропускной способности канала передачи информации насекомым с трихромным типом зрения в период проведения эксперимента

10-11	9-10	8-9	7-8	6-7	5-6	4-5	Π		
9	11	13	14	27	68	413	Π	1	15.май
9	12	13	14	27	66	411	Π	2	16.май
9	12	13	14	26	65	409	Π	3	17.май
8	11	12	13	25	65	406	Π	4	18.май
9	10	13	14	23	65	403	Π	5	19.май
8	11	13	14	23	64	400	Π	6	20.май
8	10	13	14	25	64	395	Π	7	21.май
8	10	11	13	22	62	377	Π,	8	22.май
8	10	11	13	22	60	374	Π	9	23.май
8	10	11	13	21	58	372	Π	10	24.май
7	10	11	12	20	56	370	Π	11	25.май
9	11	12	13	19	54	368	Π	12	26.май
10	12	13	14	18	51	365	Π	13	27.май
10	12	13	14	18	49	363	Π	14	28.май
9	10	12	14	19	48	360	Π,	15	29.май
9	10	12	13	18	47	359	Π	16	30.май
9	10	11	13	16	46	358	Π	17	31.май
9	10	12	13	16	45	357	Π	18	01.июн
9	10	12	13	16	44	356	Π	19	02.июн
9	10	12	13	16	43	355	Π	20	03.июн
9	10	12	13	16	42	354	Π	21	04.июн
8,7	10,6	12,1	13,4	20,6	55,3	377,4			

19-20	18-19	17-18	16-17	15-16	14-15	13-14	12-13	11-12
413	68	27	14	13	11	9	9	7
411	66	27	14	13	12	10	9	8
409	65	26	14	13	12	10	9	7
406	65	25	13	13	11	9	8	7
403	65	23	13	13	11	9	9	8
400	64	23	14	13	11	9	8	7
395	64	25	14	13	10	9	8	7
377	62	22	13	11	10	8	8	7
374	60	22	13	11	10	8	8	7
372	58	21	13	11	10	9	8	7
370	56	20	12	11	10	8	7	6
368	54	19	13	12	11	8	8	9
365	51	18	14	13	12	10	10	9
363	49	18	14	13	12	10	10	9
360	48	19	14	12	10	8	9	9
359	47	18	13	12	10	8	9	9
358	46	16	13	11	10	9	9	8
357	45	16	13	12	10	9	9	8
356	44	16	13	12	10	9	9	8
355	43	16	13	12	10	9	9	8
354	42	16	13	12	10	9	9	8
377,4	55,3	20,6	13,3	12,2	10,6	8,9	8,7	7,8

Таблица 2 – Результаты замеров количества пойманных в ловушку насекомых (производительность установки)

N	15.май	16.май	17.май	18.май	19.май	20.май	21.май	22.май	23.май	24.май	25.май	26.май	27.май	28.май	29.май	30.май	31.май	01.июн	02.июн	03.июн	04.июн	
4-5	54	53	51	51	49	51	48	47	51	44	46	47	42	40	42	40	39	38	40	39	38	45,2
5-6	27	26	26	25	24	26	23	23	23	20	25	23	20	20	19	21	19	18	21	21	16	22,2
6-7	13	12	10	10	10	10	12	10	10	10	8	10	10	10	8	8	6	7	8	10	7	9,5
7-8	9	9	8	8	8	8	8	9	9	10	8	9	9	8	7	6	6	6	6	6	6	7,8
8-9	8	8	6	6	6	6	6	5	5	9	9	5	9	8	8	8	8	5	8	8	5	7,0
9-10	8	9	6	6	6	6	7	7	7	8	5	7	5	3	5	5	3	3	5	6	3	5,7
10-11	6	7	7	7	7	7	7	6	5	5	5	6	3	2	2	1	1	1	1	0	1	4,1
11-12	3	1	2	1	1	3	2	2	0	2	3	2	0	0	2	1	0	1	1	1	0	1,3
12-13	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	3	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0,5
13-14	2	0	0	0	1	0	0	1	0	3	4	1	3	3	2	2	2	3	2	2	3	1,6
14-15	7	6	7	7	7	7	8	8	8	7	7	8	7	7	7	7	6	6	7	5	6	6,9
15-16	10	8	9	11	10	9	9	9	9	9	9	9	7	7	6	6	7	8	6	6	8	8,2
16-17	10	8	7	8	9	7	7	7	7	12	9	7	11	9	10	9	10	11	9	9	8	8,8
17-18	15	13	12	12	9	12	13	13	14	14	10	13	14	22	12	12	9	9	12	14	9	12,5
18-19	25	24	24	27	25	24	22	22	20	24	22	22	24	24	24	22	18	19	22	22	17	22,5
19-20	57	56	52	52	52	52	56	56	53	48	45	51	46	43	38	42	41	39	42	37	40	47,5

Таблица 3 – Усредненный коэффициент пропорциональности для каждого часа замеров

Наименование параметра	Значение параметра	Время
K1	8,342105	4-5
K2	2,493562	5-6
K3	2,175879	6-7
K4	1,723926	7-8
K5	1,746575	8-9
K6	1,85	9-10
K7	2,103448	10-11
K8	5,821429	11-12
K9	16,54545	12-13
K10	5,5	13-14
K11	1,537931	14-15
K12	1,488372	15-16
K13	1,521739	16-17
K14	1,646388	17-18
K15	2,45666	18-19
K16	7,940882	19-20

Таблица 4 – Расчетные данные параметра пропускной способности канала передачи информации П для интервала с 05.06.13г. по 13.06.13г.

	05.июня	06.июня	07.июня	08.июня	09.июня	10.июня	11.июня	12.июня	13.июня	14.июня	15.июня
	П, бит/с	П, бит/с	П, бит/с	П, бит/с	П, бит/с	П, бит/с	П, бит/с	П, бит/с	П, бит/с	П, бит/с	П, бит/с
4.00	352	352	350	349	347	347	347	347	347	345	342
5.00	40	40	39	39	38	38	37	37	35	33	30
6.00	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	14
7.00	13	13	13	13	11	11	11	11	11	10	10
8.00	12	12	11	11	10	10	10	10	10	9	9
9.00	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10.00	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8
11.00	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
12.00	9	9	9	9	7	7	7	7	7	7	7
13.00	9	9	9	9	7	7	7	7	7	7	7
14.00	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8
15.00	12	12	11	12	10	10	10	10	10	10	9
16.00	13	13	13	13	11	11	11	11	11	11	10
17.00	16	16	16	17	15	15	15	15	15	15	14
18.00	40	40	39	39	38	38	37	37	35	33	30

19.00	352	352	350	349	347	347	347	347	347	345	342
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица 5 – Результаты замеров и расчета количества, пойманных в ловушку насекомых для интервала времени

	05.06		06.06		07.06		08.06		09.06		10.06		11.06		12.06		13.06		14.06		15.06	
	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКСП}	N _{ТЕОР}
4.00	38,0	42,2	35,0	42,2	36,0	42,0	35,0	41,8	37,0	41,6	37,0	41,6	36,0	41,6	34,0	41,6	32,0	41,6	34,0	41,4	30,0	41,0
5.00	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,6	17,0	15,6	17,0	15,2	17,0	15,2	16,0	14,8	12,0	14,8	10,0	14,0	12,0	13,2	11,0	12,0
6.00	7,0	7,4	8,0	7,4	8,0	7,4	8,0	7,4	8,0	6,9	8,0	6,9	8,0	6,9	9,0	6,9	8,0	6,9	9,0	6,9	9,0	6,4
7.00	6,0	7,5	6,0	7,5	5,0	7,5	5,0	7,5	5,0	6,4	5,0	6,4	5,0	6,4	5,0	6,4	4,0	6,4	5,0	5,8	5,0	5,8
8.00	5,0	6,9	5,0	6,9	5,0	6,3	5,0	6,3	5,0	5,7	5,0	5,7	5,0	5,7	5,0	5,7	5,0	5,7	5,0	5,2	5,0	5,2
9.00	3,0	5,4	3,0	5,4	2,0	5,4	1,0	5,4	1,0	5,4	1,0	5,4	1,0	5,4	1,0	5,4	1,0	5,4	1,0	5,4	1,0	5,4
10.00	1,0	4,3	1,0	4,3	0,0	4,3	0,0	4,3	1,0	4,3	1,0	4,3	0,0	4,3	1,0	4,3	0,0	4,3	0,0	4,3	0,0	3,8
11.00	0,0	1,4	1,0	1,4	1,0	1,4	0,0	1,4	0,0	1,4	0,0	1,4	0,0	1,4	1,0	1,4	1,0	1,4	0,0	1,4	1,0	1,4
12.00	0,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,0	0,5	1,0	0,4	1,0	0,4	0,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,4
13.00	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	1,3	3,0	1,3	2,0	1,3	2,0	1,3	2,0	1,3	2,0	1,3	3,0	1,3
14.00	6,0	6,5	6,0	6,5	8,0	6,5	9,0	6,5	8,0	6,5	8,0	6,5	5,0	6,5	5,0	6,5	5,0	6,5	5,0	5,9	6,0	5,2
15.00	8,0	8,1	8,0	8,1	8,0	7,4	8,0	8,1	8,0	6,7	8,0	6,7	8,0	6,7	8,0	6,7	8,0	6,7	8,0	6,7	8,0	6,0

	05.06		06.06		07.06		08.06		09.06		10.06		11.06		12.06		13.06		14.06		15.06	
	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}	N _{ЭКП}	N _{ТЕОР}
16.00	8,0	8,5	8,0	8,5	7,0	8,5	7,0	8,5	7,0	7,2	7,0	7,2	8,0	7,2	7,0	7,2	7,0	7,2	7,0	7,2	7,0	6,6
17.00	9,0	9,7	9,0	9,7	9,0	9,7	9,0	10,3	8,0	9,1	8,0	9,1	8,0	9,1	8,0	9,1	10,0	9,1	9,0	9,1	8,0	8,5
18.00	17,0	16,3	15,0	16,3	15,0	15,9	15,0	15,9	13,0	15,5	13,0	15,5	12,0	15,1	16,0	15,1	12,0	14,2	15,0	13,4	14,0	12,2
19.00	40,0	44,3	39,0	44,3	39,0	44,1	39,0	43,9	43,0	43,7	34,0	43,7	30,0	43,7	30,0	43,7	34,0	43,7	30,0	43,4	32,0	43,1

Приложение Е

(информационное)

Программный комплекс для расчета параметров оптического канала с внешней фильтрацией

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using MathExpressions;

namespace OEParams
{
    public partial class pbChart : Form
    {
        public pbChart()
        {
            InitializeComponent();

            private void relHeight_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
            {
                if (relHeight.Checked)
                {
                    label5.Text = "Высота (м):";
                    label6.Text = "Расстояние (м):";
                }
                else
                {
                    label5.Text = "Граница высоты (м):";
                    label6.Text = "Граница расстояния (м):";
                }
            }

            public void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
            {
                comboBox1.Text = "";
                this.comboBox1.Items.Clear();
                this.comboBox1.Items.AddRange(new object[] {
                    "Монохромное",
                    "Дихромное",
                    "Трихромное"});
            }

            private void btCalc_Click(object sender, EventArgs e)
            {
                SOLVE();
            }

            public void SOLVE()
            {
                string errorsList = "";

```

```

if ((double.Parse(tbLatitude.Text) < 0) || (double.Parse(tbLatitude.Text) > 90))
{
    errorsList = errorsList + "В качестве географической широты введено недопустимое значение.\n";
}

if (errorsList != "")
{
    MessageBox.Show(errorsList);
    this.Close();
}

int typeOfVision = comboBox1.SelectedIndex + 1;
int typeOfLamp = comboBox2.SelectedIndex + 1;
int typeOfTerrain = listTypeOfTerrain.SelectedIndex;
int n = listSeason.SelectedIndex;
int f = int.Parse(tbLatitude.Text);
int typeOfFilter = comboBox3.SelectedIndex + 1;
double waveLength, third;
MathExpressions.MathExpressions k = new MathExpressions.MathExpressions();

switch (n)
{
    case 0:
    {
        n = 0;
        break;
    }
    case 1:
    {
        n = 90;
        break;
    }
    case 2:
    {
        n = 170;
        break;
    }
    case 3:
    {
        n = 270;
        break;
    }
}

if (relHeight.Checked)
{
    double length = double.Parse(tbDistance.Text);
    double height = double.Parse(tbHeight.Text);
    double localSignal = 0, signalMax = 0, WLMax = 0, thirdMax = 0;
    double localNoize = 0, noizeMax = 1000;
    double extrDistance = 0, extrHeight = 0;

    for (waveLength = 350E-9; waveLength <= 700E-9; waveLength += 50E-9)
    {
        for (third = 50E-9; third <= 350E-9; third += 50E-9)
        {
            localSignal = k.SIGNAL(typeOfVision, typeOfLamp, length, typeOfFilter, waveLength, third);
            localNoize = k.NOIZELamp(typeOfVision, typeOfLamp, height, typeOfTerrain, typeOfFilter,
waveLength, third);

            if ((localSignal >= signalMax) && (localNoize <= noizeMax))
            {

```

```

        signalMax = localSignal;
        extrDistance = length;

        noizeMax = localNoize;
        extrHeight = height;

        WLMax = waveLength;
        thirdMax = third;
    }
}

richTextBox1.Text = comboBox1.SelectedItem.ToString() + " зрение" + "\n" +
"_____ " + "\n\n"
    + "Выбранная лампа: " + comboBox2.SelectedItem.ToString() + "\n"
    + "Выбранный фильтр: " + comboBox3.SelectedItem.ToString() + "\n"
    + "Значение сигнала без фильтра: " + k.SIGNAL_NON_FILTERED(typeOfVision,
typeOfLamp, length).ToString() + "\n"
    + "Значение сигнала с фильтром: " + k.SIGNAL(typeOfVision, typeOfLamp, length,
typeOfFilter, WLMax, thirdMax).ToString() + "\n"
    + "Уровень шума от лампы без фильтра: " +
k.NOIZELamp_NON_FILTERED(typeOfVision, typeOfLamp, height, typeOfTerrain).ToString() + "\n"
    + "Уровень шума от лампы с фильтром: " + k.NOIZELamp(typeOfVision, typeOfLamp,
height, typeOfTerrain, typeOfFilter, WLMax, thirdMax).ToString() + "\n"
    + "Параметры фильтра:\n\tДлина волны: " + WLMax.ToString() + "\n"
    + "\tДисперсия/Ширина полосы пропускания: " + thirdMax.ToString();

richTextBox1.Text = richTextBox1.Text + "\n\nОтношение СИГНАЛ/ШУМ при данных параметрах
равно:\n\n";
for (int i = 1; i <= 24; i++)
{
    richTextBox1.Text = richTextBox1.Text + i.ToString() + ":00: " +
        k.SIGNAL(typeOfVision, typeOfLamp, length, typeOfFilter, WLMax,
thirdMax).ToString() +
        " / (" + k.NOIZE(i, n, f, typeOfVision, typeOfTerrain) +
        " + " + k.NOIZELamp(typeOfVision, typeOfLamp, height, typeOfTerrain, typeOfFilter,
WLMax, thirdMax) + " ) = " +
        (k.SIGNAL(typeOfVision, typeOfLamp, length, typeOfFilter, WLMax, thirdMax) /
(k.NOIZE(i, n, f, typeOfVision, typeOfTerrain) + k.NOIZELamp(typeOfVision, typeOfLamp, height, typeOfTerrain,
typeOfFilter, WLMax, thirdMax))).ToString() + "\n\n";
}
}
else
{
    double heightMax = double.Parse(tbHeight.Text);
    double distanceMax = double.Parse(tbDistance.Text);
    double distance, height, extrDistance = 0, extrHeight = 0;
    double localSignal = 0, signalMax = 0, WLMax = 0, thirdMax = 0;
    double localNoize = 0, noizeMax = 1000;

    for (distance = 0.5; distance <= distanceMax; distance += 0.5)
    {
        for (height = 0.5; height <= heightMax; height += 0.5)
        {
            for (waveLength = 350E-9; waveLength <= 700E-9; waveLength += 50E-9)
            {
                for (third = 50E-9; third <= 350E-9; third += 50E-9)
                {
                    localSignal = k.SIGNAL(typeOfVision, typeOfLamp, distance, typeOfFilter, waveLength,
third);
                    localNoize = k.NOIZELamp(typeOfVision, typeOfLamp, height, typeOfTerrain, typeOfFilter,
waveLength, third);

```

```

if ((localSignal >= signalMax)&&(localNoize <= noizeMax))
{
    signalMax = localSignal;
    extrDistance = distance;

    noizeMax = localNoize;
    extrHeight = height;

    WLMax = waveLength;
    thirdMax = third;
}
}
}
}

richTextBox1.Text = comboBox1.SelectedItem.ToString() + " Đ?Ñ?eĐ?Đ?e" + "\n" + "_"

```

Приложение Ж
(информационное)

Практическая значимость

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2011612494

Программный комплекс для расчета характеристик
канала передачи оптической информации
дневным летающим насекомым

Правообладатель(ли): *Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Астраханский государственный университет» (АГУ) (RU)*

Автор(ы): *Плешкова Юлия Александровна,
Лихтер Анатолий Михайлович, Рогожина Юлия Николаевна,
Шагаутдинова Ильмира Тауфиковна (RU)*

Заявка № 2011610861
Дата поступления 11 февраля 2011 г.
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
25 марта 2011 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2012610365

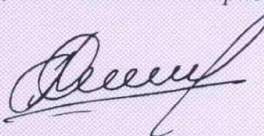
**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА
ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА С ВНЕШНЕЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ ПРИ
ПЕРЕДАЧЕ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НАСЕКОМЫМ**

Правообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Астраханский государственный университет» (ФГБОУ ВПО «АГУ») (RU)*

Автор(ы): *Плешкова Юлия Александровна,
Лихтер Анатолий Михайлович (RU)*

Заявка № **2011618794**
Дата поступления **18 ноября 2011 г.**
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
10 января 2012 г.

 Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам


Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 93221

**УСТРОЙСТВО ПРИВЛЕЧЕНИЯ НАСЕКОМЫХ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЛЕКТИВНОГО ИСТОЧНИКА
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
"Астраханский государственный университет" (АГУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № **2009114183**

Приоритет полезной модели **14 апреля 2009 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации **27 апреля 2010 г.**

Срок действия патента истекает **14 апреля 2019 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам*



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2417588

**СПОСОБ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОТ
КРОВОСОСУЩИХ ЛЕТАЮЩИХ НАСЕКОМЫХ И
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
"Астраханский государственный университет" (АГУ) (RU)*

Автор(ы): *с.м. на обороте*

Заявка № 2009120243

Приоритет изобретения 27 мая 2009 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 10 мая 2011 г.

Срок действия патента истекает 27 мая 2029 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

«Утверждаю»

Первый проректор – проректор по
основной деятельности ФГБОУ ВПО
«Астраханского государственного
университета», профессор
Стефанова Г.П.

«___» _____ 20 г.

Акт

о внедрении результатов научной работы в учебный процесс

Настоящим актом подтверждается внедрение результатов диссертационного исследования Плешковой Юлии Александровны «Математическое моделирование эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым» в учебный процесс подготовки бакалавров по направлениям 011200.62 «Физика» и 201000.62 «Биотехнические системы и технологии»; магистров по направлениям 020100.68 «Биология» программа «Биотехнология» и 201000.68 «Биотехнические системы и технологии» программа «Менеджмент и управление качеством в здравоохранении».

Результаты исследования используются лично автором и преподавателями кафедры общей физики при проведении лекционных, практических и лабораторных занятий по курсам «Оптика», «Электричество и магнетизм», «Оптические свойства твердых тел», а также в научно-исследовательских работах студентов и магистрантов, указанных выше направлениях подготовки.

Декан физико-технического
факультета, к.ф.-м.н., доцент



Н.А. Выборнов

Декан биологического факультета,
д.б.н., профессор



Е.И. Кондратенко

УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор
ООО «Локуста», г. Астрахань
ФИО

2013г.

Акт
об использовании результатов диссертационной работы
Плешковой Юлии Александровны

Комиссия в составе:

председатель: А.А. Макухин

члены комиссии: И.Т. Шагаудтинова

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Математическое моделирование эффективных систем передачи оптического сигнала насекомым», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в деятельности Общества с ограниченной ответственностью «Локуста» при разработке механизированных комплексов для борьбы с насекомыми-вредителями культурных растений (колорадский жук, саранча) в виде:

1. Математической модели процесса передачи оптического сигнала насекомым.
2. Методики расчета эффективных параметров оптико-электронных систем передачи оптического сигнала насекомым с различными типами зрения.
3. Рекомендаций по составлению графиков суточных и месячных рабочих циклов эксплуатации технологических комплексов.

Результаты внедрялись при выполнении НИР по темам:

1. Разработка технологического комплекса на основе физических полей для управления поведением насекомых в сельскохозяйственных целях.
2. Разработка роботизированного комплекса для борьбы с колорадским жуком.

Использование указанных результатов позволяет повысить производительность установок на 20% и сократить затраты на проведение защитных мероприятий.

Председатель комиссии

А.А. Макухин

Члены комиссии:

И.Т. Шагаудтинова