

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление 12.04.02 «Оптотехника»
 Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние света на накопление основных соединений в растениях

УДК : 535.21:581.19

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ91	Хуан Ицянь		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Корепанов В.И.	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук И.В.	к.т.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
«Оптотехника»	Полисадова Е.Ф.	д.ф.-м.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Способность формулировать цели, задачи научного исследования или разработки в области светотехники и фотонных технологий, и материалов, способность выделять и обосновывать критерии, на основании которых формируются модели принятия решений, составлять план работ, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи
P2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов
P3	Способность к профессиональной оценке проблем проектирования в области светотехники, оплотехники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы
P4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной, облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности
P5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля качества изготовления

	деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов.
P6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные светотехнические и оптические приборы и устройства, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Способность проявлять творческий, нестандартный подход, требующий абстрактного мышления, при решении конкретных научных, технологических и проектно-конструкторских задач в области фотонных технологий и материалов и светотехники, нести ответственность за принятые решения
P8	Способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
P9	Способность к инновационной инженерной деятельности, менеджменту в области организации освоения новых видов перспективной и конкурентоспособной оптической, оптико-электронной и световой, лазерной техники с учетом социально-экономических последствий технических решений
P10	Способностью к координации и организации работы научно-производственного коллектива, принятию исполнительских решений для комплексного решения исследовательских, проектных, производственно-технологических, инновационных задач в области светотехники и фотонных технологий и материалов
P11	Способность к оценке современного состояния развития науки и техники, владение иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P12	Способность к сбору сведений, анализу и систематизации знаний об исследуемом объекте

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление 12.04.02 «Оптотехника»
 Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Полисадова Е.Ф.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ91	Хуан Ицянь

Тема работы:

Влияние света на накопление основных соединений в растениях	
Утверждена приказом	№ 133-32/с от 12.05.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Статьи и материалы по теме диссертации 2. Объекты исследования – влияние спектрального состава светодиодного излучения на фотосинтетические процессы в растениях 3. Предмет исследования – накопление основных пигментов в рассаде огурца (сорт – Феникс плюс) при облучении излучением белыми, синими и красными светодиодами 4. Особенности облучения: переменное по спектру, пространственному распределению и времени светодиодное излучение
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор на тему «Влияние света на пигменты растений» 2. Фитотроны для выращивания растений 3. Экспериментальные методики 4. Спектры отражения и вегетационные индексы листьев растений. Анализ результатов. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Социальная ответственность
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Общая схема экспериментальной установки. Рисунки, графики и фотографии</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук И.В.
Социальная ответственность	Скачкова Л.А
Раздел ВКР на иностранном языке	Стрельникова А.Б.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Литературный обзор

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Корепанов В.И.	д.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ91	Хуан Ицянъ		

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

Студенту:

Группа 4ВМ91	ФИО Хуан Ицянь
-----------------	-------------------

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	12.04.02 Оптехника

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук И.В.	К.Т.Н		08.02.21

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ91	Хуан Ицянь		08.02.21

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 102 страниц, 48 рисунка и 24 таблиц, 45 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: фотосинтез, фитотрон, растения, светодиод, вегетационные индексы, спектр отражения.

Объектом исследования является влияние спектрального состава светодиодного излучения на фотосинтетические процессы в растении.

Предмет исследования – накопление основных пигментов в рассаде огурца (сорт – Феникс плюс) при облучении излучением белыми, синими и красными светодиодами.

Цель работы – исследовать влияние монохроматического светодиодного излучения различного спектрального состава на накопление пигментов в растениях.

В процессе работы проведены: сбор, обработка и систематизация литературных данных по оптическим свойствам растений, разработана оптимальная методика для выращивания растений в закрытых условиях (фитотронах) при воздействии различных комбинаций монохроматического и «белого» светодиодного облучения с контролем температуры, потока излучения и других параметров окружающей среды, позволяющая также оценивать величину и спектр поглощенного растениями актиничного излучения.

Методом спектроскопии отражения изучено влияние различных комбинаций спектрального состава светодиодного излучения с одинаковыми потоками фотонов на накопление основных пигментов при выращивании рассады огурца.

Степень внедрения: на основе проведенных исследований разработан малогабаритный, экономичный, удобный в эксплуатации фитотрон с возможностями определения и контроля спектров поглощенной радиации в пределах ФАР.

Область применения: научные исследования.

Экономическая значимость работы: в будущем планируется внедрение в реальный сектор производства.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

PAR (photosynthetically active radiation) – фотосинтетическая активная радиация (ФАР)

АДФ – аденозинтрифосфат

АТФ – аденозиндифосфат

НАДФ – никотинамидадениндинуклеотидфосфата

ВИ – Вегетационный индекс

NDVI – Нормализованный относительный вегетационный индекс

PPFD (photosynthetic photon flux density) – фотосинтетический фотонный поток

Оглавление

Введение.....	14
1 Литературный обзор	16
1.1 Спектральный состав и свойства естественного света	16
1.2 Фотосинтез.....	17
1.3 Спектры поглощения основными пигментами.....	19
1.3.1 Хлорофилл	19
1.3.2 Фикобилин	20
1.3.3 Каротиноид	20
1.4 Спектры отражения листьев растений	21
1.5 Вегетационные индексы (ВИ).....	24
1.5.1 Индекс «Зелености».....	24
1.5.2 Индекс содержания каротиноидов.....	25
1.6 Теплицы для растений	26
1.7 Светодиоды для облучения растений	27
2 Методика измерения спектров отражения	29
2.1 Компоненты оборудования	29
3 Экспериментальные результаты.....	33
3.1 Разработка фитотрона для выращивания растений.....	33
3.2 Разработка системы освещения растений	36
3.2.1 Выбор светодиодов	36
3.2.2 Комбинации светодиодов.....	37
3.3 Технология выращивания рассады	42
3.4 Влияние спектрального состава светодиодного излучения на спектры отражения рассады огурца	43
3.4.1. Влияние сочетаний красного и белого светодиодного излучений на спектры отражения рассады огурца	43

3.4.2. Влияние сочетаний синего и белого светодиодного излучений на спектры отражения рассады огурца	48
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	54
5 Социальная ответственность	74
Заключение и выводы	87
Список использованных источников	88
Приложение А	92

Введение

Свет является основой выживания и размножения живых организмов на земле так процесс фотосинтеза невозможен в отсутствии светового воздействия, а качество и урожайность сельскохозяйственных культур напрямую зависит от условий освещения. В природе свет солнца меняется в зависимости от географической широты, времени года и погодных условий. Поэтому досветка искусственными источниками излучения в современных системах сельскохозяйственного производства (теплицы и парники) стала важным средством повышения эффективности производства.

В настоящее время наиболее распространены в качестве искусственных источников света в тепличных комплексах натриевые лампы высокого давления, люминесцентные лампы, металл галогенные лампы, лампы накаливания и т.д. Эти источники света имеют большие спектральные компоненты света в инфракрасной и зеленой областях спектра. Однако красный и синий спектральные компоненты, необходимые для фотосинтеза растений, относительно малы. Это приводит к низким значениям коэффициента использования энергии света для фотосинтетических процессов, высоким энергопотреблением и высокими эксплуатационными расходами.

В последние годы быстро развивается светодиодная техника, которая может обеспечить низкое энергопотребление, высокую светоотдачу источника света, а также любой и легко регулируемый световой поток, высокое качество света любой цветовой гаммы для удовлетворения различных физиологических потребностей растениеводства. Поэтому LED (светодиод) считается наиболее перспективным искусственным источником света в области сельского хозяйства в 21 веке для повышения эффективности сельскохозяйственного производства и с хорошими перспективами дальнейшего развития.

Рост и развитие растений – это комплексное проявление различных физиологических и биохимических реакций в растениях, поэтому изменения в

физиологии и экологии растений влияют на рост растений. Для того чтобы в полной мере использовать потенциальные возможности производства сельскохозяйственной продукции, а также эффективно и качественно выращивать растения, текущую физиологическую и экологическую информацию о растениях можно эффективно использовать для контроля развития растений и управления этим процессом.

Возможность управления продукционными процессами может быть обеспечена только за счет применения при выращивании растений светодиодного излучения. Для этого требуется знать характер и степень изменения накопления различных продуктов в растении при варьировании параметрами (спектр, поток) светового поля.

Цель работы – изучить процессы накопления основных соединений в растениях при светодиодном облучении излучением разного спектрального состава.

Задачи:

1. Разработать устройства для выращивания растений в контролируемых условиях.
2. Разработать облучатели для выращивания растений.
3. Исследовать спектры отражения листьев растений при различных условиях выращивания (при различных условиях облучения).
4. Оценить накопление основных соединений в растениях и состояние роста растений путем расчета вегетационных индексов.
5. Сконструировать удобный для исследований фитотрон.

1 Литературный обзор

1.1 Спектральный состав и свойства естественного света

Спектральный состав солнечного света в основном находится в диапазоне 300 – 2000нм. Свет с диапазоном длин волн 400 – 700нм напрямую влияет на фотосинтез растений и называется фотосинтетически активной радиацией (ФАР) [1]. Для морфогенеза растений полезен свет в диапазоне длин волн от УФ до 800нм. В частности, ультрафиолетовый свет (длина волны < 380нм), синий свет (400 – 500нм), красный свет (600 – 700нм) и дальний красный свет (700 – 800нм). Влияние света на рост и развитие растений очень важно, синий (425 – 490нм) свет и красный свет (610 – 700нм) оказывают наибольшее влияние на фотосинтез, а синий (400 – 500нм) и фиолетовый (320 – 400нм) свет играют важную роль в движении котиледонов и пластид. Свет с длиной волны 520 – 610нм (зелёный) редко поглощается растениями. Свет с длиной волны более 800нм не может использоваться непосредственно растениями и играет роль только в регулировании температуры окружающей среды. Видно, что не весь свет способствует фотосинтезу растений [2].

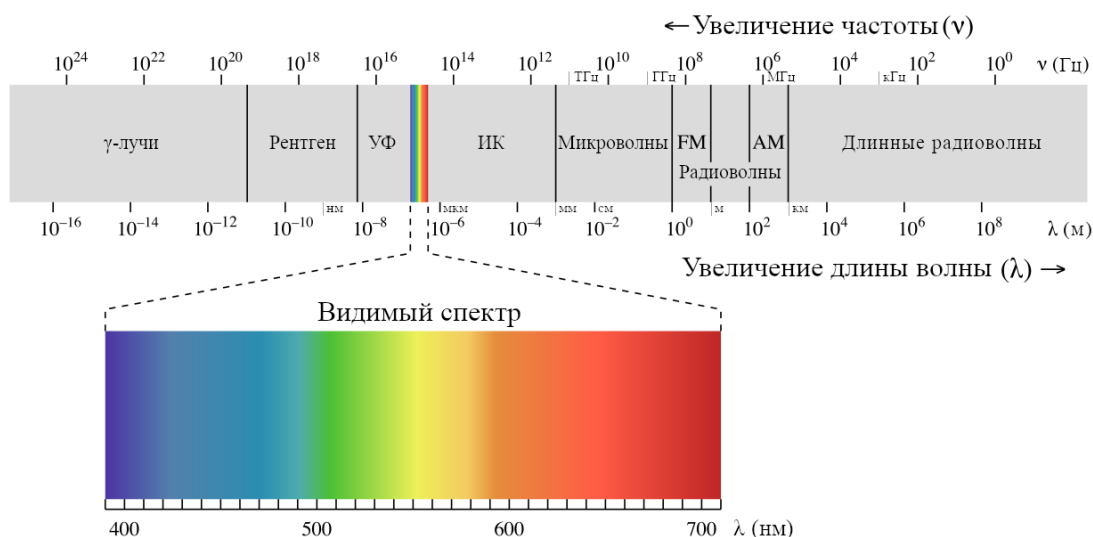


Рисунок 1.1 – Видимый спектр электромагнитного излучения [1]

1.2 Фотосинтез

Фотосинтез – это процесс, в ходе которого зеленые растения (включая водоросли) поглощают световую энергию и синтезируют углекислый газ и воду в органические вещества, выделяя при этом кислород [3].

Органом, способным к фотосинтезу, является лист. Мезофилл составляет большую часть внутренней части листа. Здесь происходит фотосинтез. Мезофилл состоит в основном из паренхиматозных клеток с хлоропластами. Вены состоят в основном из ксилемы и флоэмы. Они переносят воду и минералы к клеткам листьев и уносят растворенный сахар.

Эпидермис листа состоит из одного слоя плотно упакованных дермальных клеток. Они выделяют восковую кутикулу, чтобы предотвратить испарение воды с листа. В эпидермисе есть крошечные поры, называемые устьицами (единичная стома), которые контролируют транспирацию и газообмен с воздухом. Для фотосинтеза устьица должны контролировать транспирацию водяного пара и обмен углекислого газа и кислорода [4].

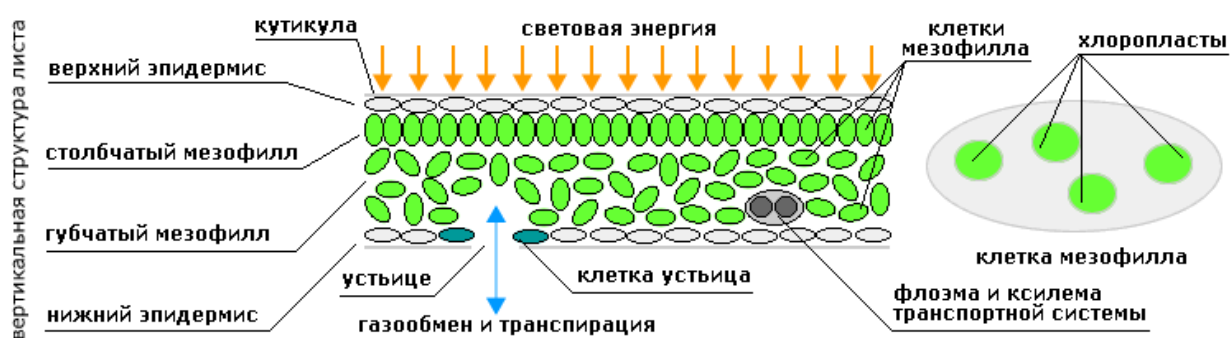


Рисунок 1.2 – Вертикальная структура листа как органа фотосинтеза [4]

Хлоропласты являются одним из видов пластид – круглых, овальных или дискообразных тел. Хлоропласты отличаются от других типов пластид своим зеленым цветом, который является результатом присутствия двух пигментов, хлорофилла а и хлорофилла в. Эти пигменты предназначены для поглощения световой энергии в процессе фотосинтеза. Другие пигменты, такие как каротиноиды, также присутствуют в хлоропластах и служат дополнительными

пигментами, улавливая солнечную энергию и передавая ее хлорофиллу. У растений хлоропласты встречаются во всех зеленых тканях, хотя они сконцентрированы особенно в клетках паренхимы мезофилла листа [5].

Фотосинтез растений делят на две стадии – световую (фазу фотореакции) и темновую (рис.1.3).

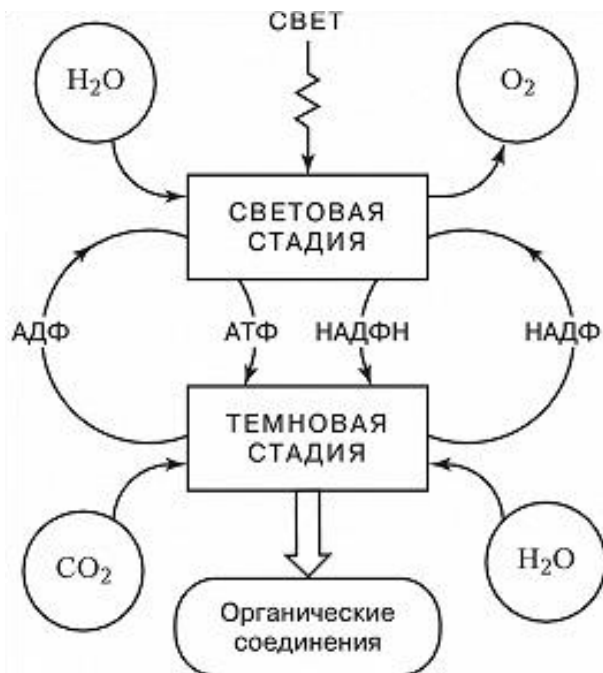


Рисунок 1.3 – Упрощенные схемы и продукты световых и темновых реакций фотосинтеза [6]

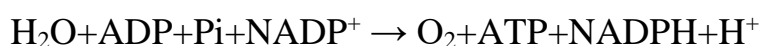
АДФ – аденозинтрифосфат; АТФ – аденозиндифосфат;

НАДФ – никотинамидадениндинуклеотидфосфата.

Фаза фотореакции требует энергии света и реализуется в мембранах хлоропластов – тилакоидах, в которые встроены молекулы пигментов и переносчиков электронов – пластохинона и пластоцианина. На первой (световой) стадии происходит распад молекулы воды (фотолиз) на водород и кислород и восстановление никотинамидадениндинуклеотидфосфата НАДФ⁺ (NADP⁺) до НАДФН (NADPH). Одновременно с этим благодаря формированию на мембранах тилакоидов электрохимического градиента протонов происходит образование из АДФ богатого энергией АТФ (фотофосфорилирование). То есть

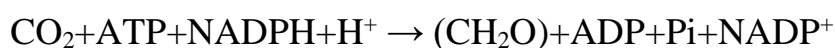
световая энергия преобразуется в химическую энергию и сохраняется в АТФ, которая затем участвует в химических реакциях во второй фазе фотосинтеза. Водород переносится также на матрицу в хлоропласте в качестве активного восстановителя, участвующего в химической реакции на второй стадии. Кислород O₂ выделяется в атмосферу [3, 4, 6].

Фотореакции:

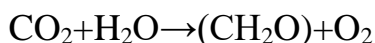


Темная фаза – это ассимиляция углерода с помощью световых реакций для производства NADPH и АТФ для восстановления газообразного диоксида углерода до сахара. Поскольку эта стадия, по сути, не зависит напрямую от света, а только от наличия NADPH и АТФ, ее называют стадией темновой реакции.

Темновые реакции:



Общее уравнение реакции фотосинтеза:



1.3 Спектры поглощения основными пигментами

Свет поглощается специальными фоторецепторами, в основном пигментами, которые расположены в пластидах: хлорофиллы, фикобилины и каротиноиды.

1.3.1 Хлорофилл

Хлорофилл, основной пигмент фотосинтеза растений, расположен в тилакоидной мембране. Хлорофилл поглощает большую часть красного и синего света, но отражает зеленый свет, поэтому хлорофилл выглядит зеленым и играет центральную роль в поглощении света при фотосинтезе. В случае хлорофилла а максимальное поглощение в красной области составляет 680нм, а в синей области – 440нм. Для хлорофилла b максимумы поглощения приходятся на спектральные области 650нм и 460нм (рис.1.4) [7,8].

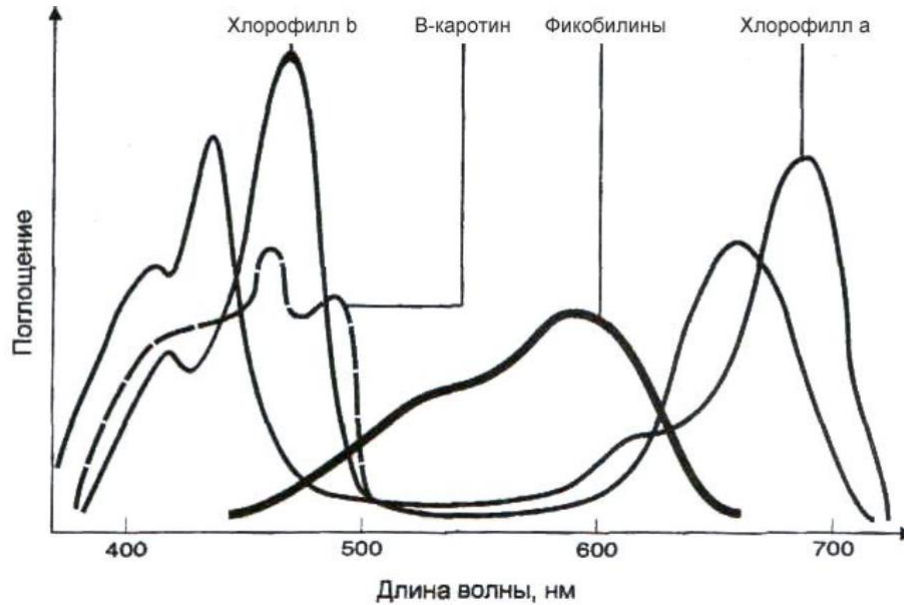


Рисунок 1.4 – Спектры поглощения пигментов пластида [8]

1.3.2 Фикобилин

Фикобилидин – вспомогательный пигмент для фотосинтеза, обнаружен только в водорослях. Максимумы поглощения света у этого пигмента находятся между максимумами поглощения у хлорофилла (в оранжевой, желтой и зеленой частях спектра) [33].

1.3.3 Каротиноид

Каротиноиды – это общий термин для класса важных природных пигментов, которые обычно встречаются в желтых, оранжево-красных или красных пигментах животных, высших растений, грибов и водорослей. Каротиноиды являются основным источником витамина А. Они также обладают антиоксидантным, иммунным, противораковым и антивозрастным действием. Спектры поглощения каротиноидов характеризуются двумя полосами в фиолетово-синей и синей области от 400 до 500 нм (рис.1.4) [7-9].

1.4 Спектры отражения листьев растений

Пигменты неразрывно связаны с физиологической функцией листьев. Хлорофиллы поглощают световую энергию и передают ее в фотосинтетический аппарат. Каротиноиды (желтые пигменты) также могут вносить энергию в фотосинтетическую систему. Однако, когда энергия падающего света превышает энергию, необходимую для фотосинтеза, каротиноиды, составляющие цикл ксантофилла, рассеивают избыточную энергию, тем самым предотвращая повреждение фотосинтетической системы. Антоцианы (розовый, пурпурный и красный пигменты) также могут защищать листья от избыточного света или от ультрафиолета [10].

Из-за важности пигментов для функции листьев различия в содержании пигментов могут предоставить информацию о физиологическом состоянии листьев. Хлорофилл имеет тенденцию уменьшаться быстрее, чем каротиноиды, когда растения находятся в состоянии стресса или во время старения листьев.

Традиционные методы анализа пигментов путем экстракции и спектрофотометрии требуют разрушения измеренных листьев и, таким образом, не позволяют измерять изменения содержания пигментов в течении всего времени роста одного листа. Кроме того, эти методы требуют больших затрат времени и средств, что делает невозможным оценку общего состояния растительности ландшафтов и экосистем. Напротив, измерение спектральной отражательной способности является неразрушающим, быстрым методом и может применяться как в лабораторных, так и в пространственных масштабах [10,11].

Соловченко А.Е и его коллеги использовали оптоволоконный спектрометр отражения для измерения спектров отражения листьев растений осенью. Осенью листья растений находятся в состоянии старения, и пигментный состав в листьях сильно меняется [12]. В представленных на рисунке 1.5, результатах наглядно видно – как изменяется состав пигментов в листьях в процессе их старения. Содержание хлорофилла уменьшается, поэтому

спектральная отражательная способность увеличивается в красной области. Поскольку каротиноиды все еще присутствуют, спектральная отражательная способность слабо изменяется в синей области спектра.

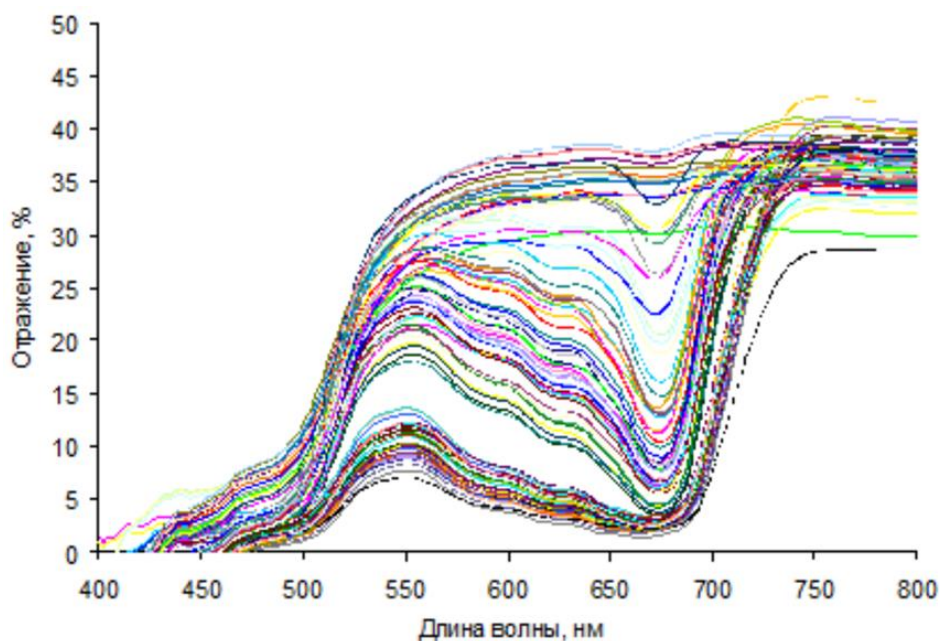


Рисунок 1.5 – Спектры отражения листьев березы [12]

Максимальные значения коэффициента отражения характерны для ближней инфракрасной области, где пигменты не поглощают. Наименьшие коэффициенты отражения обнаружены в полосах поглощения хлорофилла (синяя и красная области спектра) и каротиноидов (в синей области).

На рис.1.6 показан спектр отражения листа липы на котором показаны характерные области поглощения основными компонентами в клетке растения.

В видимых диапазонах коэффициент отражения относительно низкий, поскольку большая часть света поглощается пигментами листьев. Хлорофилл сильно поглощает энергию синих и красных длин волн и отражает больше зеленых длин волн. Поэтому здоровая растительность кажется зеленой.

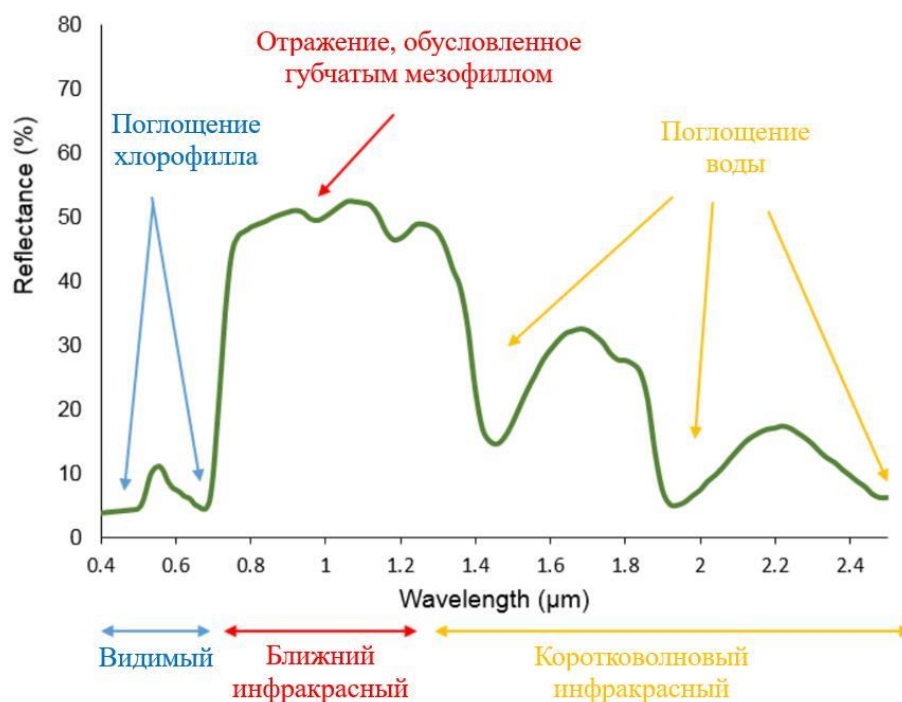


Рисунок 1.6 – Спектр отражения листа липы [13]

Для здоровой растительности коэффициент отражения в ближней инфракрасной (NIR) области намного выше, чем в видимой области, из-за клеточной структуры листьев, в частности, губчатого мезофилла. Поэтому здоровую растительность можно легко идентифицировать по высокой отражательной способности в ближней инфракрасной области и, как правило, низкой отражательной способности видимого света.

Коэффициент отражения в коротковолновом инфракрасном диапазоне зависит от содержания воды в растительности и ее структуре. Вода имеет сильные полосы поглощения около 1,45, 1,95 и 2,50 мкм. Вне этих полос поглощения в коротковолновой инфракрасной области коэффициент отражения листьев обычно увеличивается, когда содержание воды в листьях уменьшается.

Растительность имеет уникальную спектральную характеристику, разные типы растительности различаются по своей отражательной способности. Из описанных результатов исследований видно, что использование спектроскопии отражения позволяет неразрушающим образом отслеживать накопление

основных пигментов в листьях растений и, следовательно, рост и развитие растений в любое время вегетации.

1.5 Вегетационные индексы (ВИ)

Вегетационные индексы эффективно используются в спутниковом мониторинге сельскохозяйственных культур путем спектрального анализа спутниковых изображений высокого разрешения. Он используется на разных полях или для отдельных культур и позволяет отслеживать положительную и отрицательную динамику развития растений. Разница в динамике вегетационного индекса указывает на несбалансированность развития внутри одной и той же культуры или поля. Это указывает на необходимость дополнительных сельскохозяйственных работ на определенных участках, поэтому данная технология относится к методам точного земледелия [14,15].

Вегетационный индекс – показатель, который рассчитывается в результате определения различных видов соотношения коэффициентов отражения листьев растительности в разных областях спектра отражения и связан с параметрами определяющими состояние растительности. Расчет большинства вегетационных индексов основан на двух наиболее устойчивых участках кривой спектральной отражательной способности растений. Эти индексы выведены, главным образом, эмпирически. В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов [16,17,18].

1.5.1 Индекс «Зелености»

Нормализованный относительный вегетационный индекс NDVI – это мера состояния здоровья растений, основанная на том, как растение отражает свет на определенных частотах (некоторые части спектра поглощаются, а другие отражаются). На красную область спектра (0,62 – 0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечного излучения хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75 – 1,3 мкм) приходится максимум отражения энергии

клеточной структурой листа. Когда растение обезвожено, поражено болезнями и т.д., губчатый слой разрушается и растение поглощает больше ближнего инфракрасного света, а не отражает его. Таким образом, наблюдение за тем, как изменяется ближний инфракрасный свет по сравнению с красным светом, дает достаточно точное представление о наличии хлорофилла, что коррелирует со «здоровьем» растений [15,16,17]. Этот индекс вычисляется по формуле:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

где ρ_{NIR} – отражение в ближней инфракрасной области спектра; ρ_{RED} – отражение в красной области спектра.

На рисунке 1.7 показаны значения NDVI здоровых и стареющих листьев.

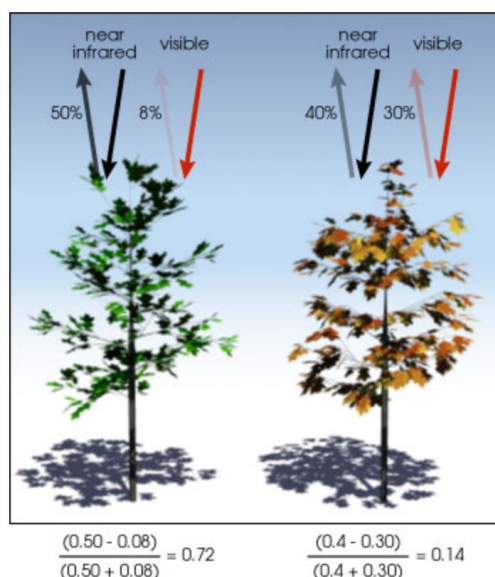


Рисунок 1.7 – Значения NDVI здоровых и стареющих листьев [19]

Высокие значения NDVI указывают на зеленую и здоровую растительность, в то время как низкие значения указывают на отставание в развитии или подверженную стрессу растительность.

1.5.2 Индекс содержания каротиноидов

Каротиноиды участвуют в процессах поглощения света растениями, а также защищают растения от вредного воздействия слишком большого количества света. Поэтому содержание определенной концентрации

каротиноидов является показателем стрессовости растительности. Более высокие значения CRI1 означают большую концентрацию каротиноидов по сравнению с хлорофиллом [20].

Показатель отражения каротиноидов 1 (Carotenoid Reflectance Index 1)

$$CRI1 = \left(\frac{1}{\rho_{510}} \right) - \left(\frac{1}{\rho_{550}} \right)$$

1.6 Теплицы для растений

Теплицы для растений предназначены для улучшения производства, качества и эффективности растений путем использования различных методов для создания оптимальной среды для роста растений. Теплица для растений обладает высокой экологической стабильностью, не занимает сельскохозяйственные земли, продукт безопасен и не загрязняет окружающую среду, а урожайность на единицу площади может достигать в десятки и даже сотни раз больше, чем при выращивании в открытом грунте. С развитием общества и сельскохозяйственной промышленности площадь пахотных земель значительно сократилась, а загрязнение, вызванное широкомасштабным использованием химических удобрений, пестицидов и гербицидов, серьезно угрожает здоровью и выживанию людей. Поэтому развитие теплиц для растений является источником экологически чистых: продовольствия, овощей, фруктов и цветов.

Поэтому тепличные комплексы имеют большое значение для повышения эффективности использования сельскохозяйственных ресурсов и защиты окружающей среды [21,22]. Такой способ производства сельскохозяйственной продукции является важным методом решения проблем народонаселения, нехватки ресурсов и защиты окружающей среды в 21 веке. Развитие теплиц для растений началось в некоторых развитых странах, таких как Европа и Америка, в 1950-х годах. После 70 лет развития они стали важной частью современной сельскохозяйственной высокотехнологичной промышленности. Поскольку

преимущества теплиц для растений постепенно признаются, страны всего мира вкладывают значительные средства в исследования и разработку теплиц для растений, их продвижение и применение [23].



Рисунок 1.8 – Автоматизированные вертикальные фермы для производства салатов

1.7 Светодиоды для облучения растений

Светодиод представляет собой полупроводниковый источник света. Когда подходящий ток подается на выводы, электроны способны рекомбинировать с дырами внутри устройства, выделяя энергию в виде фотонов. Этот эффект называется электролюминесценцией [24,25].

Потребление световой энергии составляет около 20-40% эксплуатационных расходов теплиц, и вопрос энергопотребления является важным ограничивающим фактором в распространении теплиц. Выбор искусственного источника света напрямую связан с качеством растительной продукции и эксплуатационными расходами, и является одной из ключевых технологий тепличного хозяйства. Традиционное освещение растений – это, как правило, люминесцентные лампы, металлогалогенные лампы, натриевые лампы высокого давления и лампы накаливания. Главными недостатками этих традиционных источников света являются высокое потребление энергии и высокие эксплуатационные расходы. В последние годы исследования и

разработки в области светодиодных источников света предоставляют хорошую возможность для модернизации облучательных систем в теплицах [26-29].

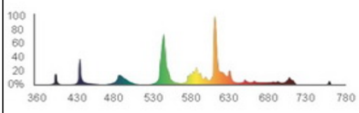
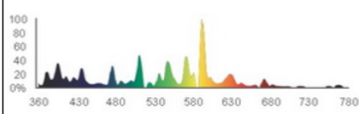
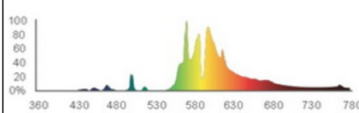
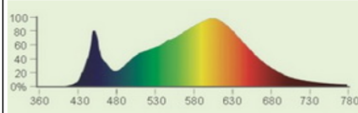
	Спектры	Управляемость	Гибкость дизайна	Эффективность (μmol/J)	Температура	срок службы (час.)
Люминесцентные лампы		Низкая	Низкая	1,0	Низкая	< 20,000
Металлогалогенные лампы		Низкая	Низкая	1,4	Высокая	< 20,000
Натриевые лампы высокого давления		Низкая	Низкая	1,8	Высокая	< 30,000
Светодиоды		Высокая	Высокая	> 2,5	Низкая	> 50,000

Рисунок 1.9 – Сравнение искусственных источников света

Светодиодный источник света имеет эксплуатационные преимущества, по сравнению с традиционными источниками света, в основном, следующие:

1. С помощью светодиодов можно создать световое поле (спектр, поток и др.) в соответствии с потребностями на разных стадиях роста и развития растений, что может повысить эффективность использования энергии света и эффективность фотосинтетических процессов в растениях, а также снизить затраты электроэнергии;

2. Светодиод обладает характеристиками защиты окружающей среды, энергосбережения и длительного срока службы, по сравнению с люминесцентными лампами эффект энергосбережения увеличен в 2 раза, а срок службы – в 10 раз;

3. Светодиоды являются источниками холодного света, небольшого размера и могут быть расположены близко к растениям, что облегчает формирование многосегментных компактных моделей культивирования и может улучшить использование пространства в теплице;

4. Светодиод постоянного тока позволяет легко управлять потоками и спектральными характеристиками излучения, точно дозировать интенсивность света, качество света, световой цикл и т. д. в сельскохозяйственном производстве.

2 Методика измерения спектров отражения

Для измерения спектральной отражательной способности листьев растений, использовались оптоволоконный спектрометр AvaSpec-2048 от фирмы Avantes, дейтериево-галогенный источник света, интегрирующая сфера и оптоволоконный кабель этой же фирмы. Схема измерения показана на рисунке 2.1.

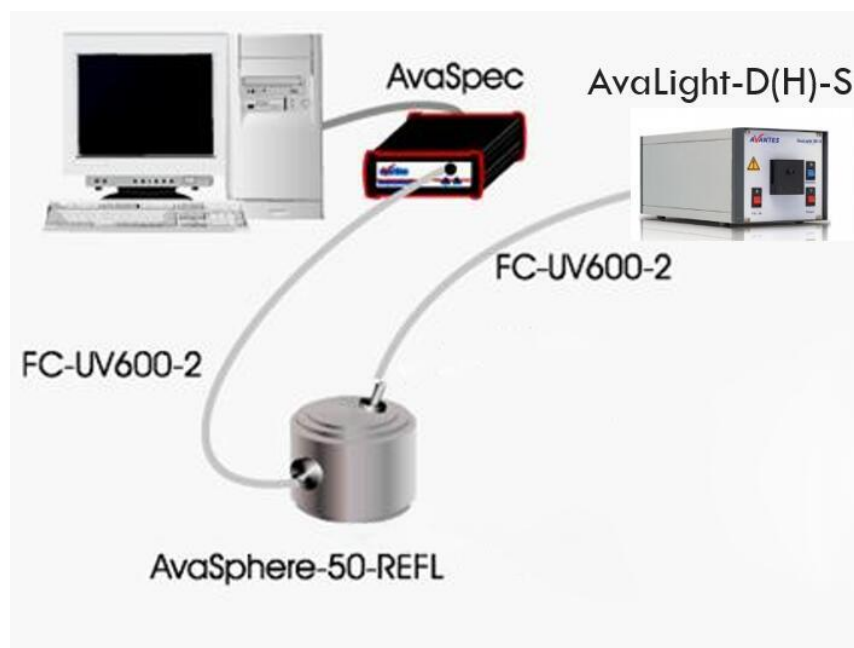


Рисунок 2.1 – Схема измерения спектров отражения

2.1 Компоненты оборудования

1. Спектрометр



Рисунок 2.2 – Высокочувствительный оптоволоконный спектрофотометр AvaSpec-2048 фирмы Avantes

AvaSpec-2048 – в оптоволоконный спектрофотометр для аналитических исследований в спектральном диапазоне 200 – 1100нм с высокой чувствительностью и оптическим разрешением от 0,04 нм.

AvaSpec-2048 построен на базе AvaBench-75 платформы с симметричной оптической скамьей Czerny-Turner и приемником излучения – 2048 элементной CCD детекторной матрицы. Базовая комплектация спектрометра состоит из оптических элементов: входной оптоволоконный SMA коннектор, дифракционная решетка, коллимирующее и фокусирующее зеркала [31].

Сигнал с 2048 элементной CCD детекторной матрицы снимается микропроцессором с помощью электронной платой спектрофотометра и по USB/RS-232 интерфейсу передается в персональный компьютер.

Таблица 1. Характеристики оптоволоконного спектрометра AvaSpec-2048

Детектор	CCD линейная матрица, 2048 элементов
Области применения	UV/VIS/NIR (ультрафиолет, видимый свет, ближний инфракрасный диапазон)
Измерительный диапазон	200 – 110нм
Оптическое разрешение	0.025 – 20нм в зависимости от оптической щели и дифракционной решетки
Устройство отображения и обработки информации	Персональный компьютер

Питание	По умолчанию питание от USB, 350 mA или внешний источник питания SPU2 12VDC, 350mA
Размеры	175x110x44мм

2. Интегрирующая сфера

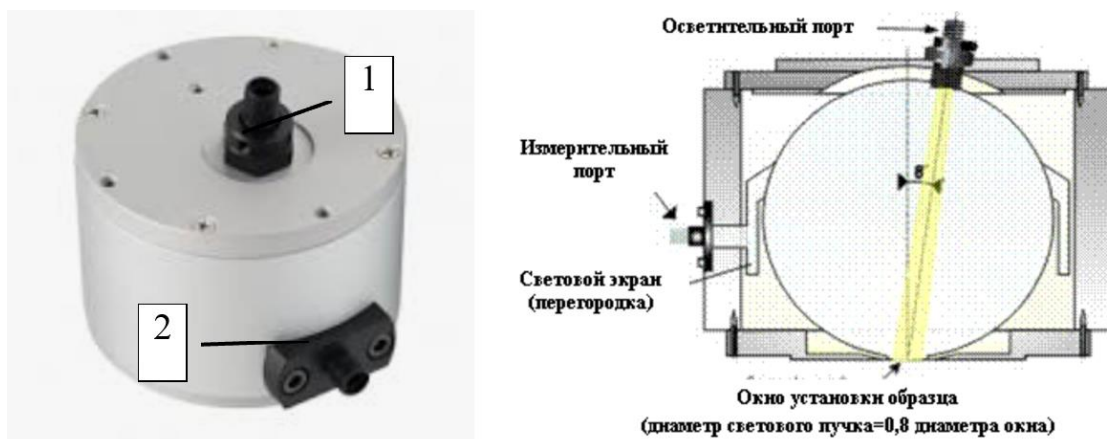


Рисунок 2.3 – Интегрирующая сфера AvaSphere-50

Основная функция интегрирующей сферы при измерениях спектров отражения – собирание света из полусферы, в которую излучается отраженный от листьев свет. Собранный свет может использоваться как распределённый источник освещения или как источник измерения. Интегрирующая сфера AvaSphere-50 главным образом используется как источник измерения.

Принцип действия интегрирующей сферы заключается в том, что свет, входящий в сферу через входной порт (1) под углом 8 градусов относительно плоскости входного порта, отражается от образца, испытывает многократные диффузные отражения и равномерно распределяется во внутреннем объёме сферы. Приёмный оптоволоконный кабель присоединяется к SMA-разъёму (2), под углом 90 градусов относительно плоскости входного порта. Отражённое излучение, распределённое по сфере и отделённое экраном (перегородкой) от прямого попадания света на разъем. Это обеспечивает независимость освещённости входной апертуры приёмного кабеля от углового распределения

света. Перегородка предотвращает попадание первых отражений в приёмное оптоволокно [31].

3. Источник излучения

В качестве источника света для измерения спектров отражения использовался дейтериево-галогенный источник, который дает достаточно высокий поток излучения в исследуемой области спектра 200 – 1100 нм.

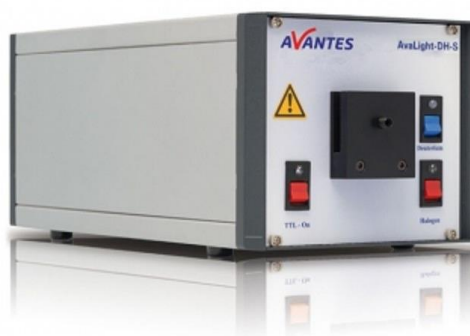


Рисунок 2.4 – Дейтериево-галогенный источник AvaLight-D(H)-S

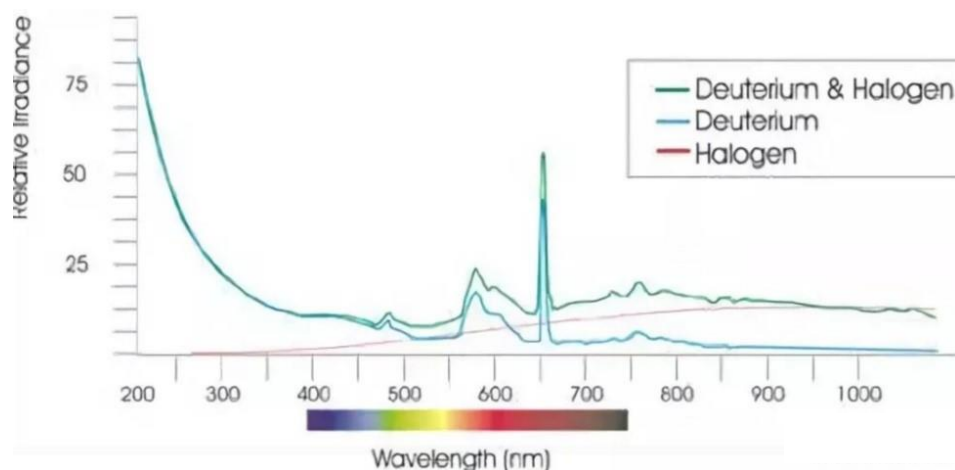


Рисунок 2.5 – Спектр излучения дейтериево-галогенный источника AvaLight-D(H)-S

На выходном разьеме формируется поток излучения, спектр которого показан на рисунке 2.5. Выходная мощность AvaLight-DH-S соответствует выходу из волокна с диаметром сердечника до 600 мкм. В источнике есть также

ТТЛ-затвор и держатель фильтра для пластин с размерами до 50x50 мм и толщиной до 5.0 мм [32].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Проект, который мы изучали, заключался в использовании спектроскопии отражения для анализа роста растений при светодиодном облучении растений с разным спектральным составом и световыми потоками. В этой статье мы проведем исследование рынка этого проекта, чтобы оценить рыночный спрос и ценность этого проекта. Мы разработаем план проекта для управления и планирования проекта. Затем мы планируем время, затраты, персонал и средства, необходимые в проекте, чтобы полностью оценить весь план проекта.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Для рассматриваемого исследования целевым рынком является сельскохозяйственная отрасль в общем и растениеводческие хозяйства разных величин, в частности. Проведём сегментирование рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и тип посадок (теплица, открытые поля).

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка

Размер компании	Тип посадок		
	Открытые поля	Тепличные хозяйства	Фитотроны
Крупные	Фирма А		

Средние	Фирма Б	Фирма Г	
Мелкие	Фирма В	Фирма Д	Фирма Е

Из таблицы видно, что основной группой пользователей на этом рынке являются малые и средние сельскохозяйственные компании, поэтому наиболее перспективным направлением является предоставление методов контроля роста растений малым и средним сельскохозяйственным компаниям. Сегментом рынка, привлекательным для предприятия в будущем, является предложение методики контроля средним компаниям. Выходить на рынок крупных компаний не представляется возможным ввиду неприспособленности методики.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Для оценки рынка необходимо провести детальный анализ конкурирующих разработок. Его удобно провести с помощью оценочной карты. Для этого сравним с конкурентной разработкой – спектрометром для растений фирмы Green Talk. Обозначим его как К1.

Таблица 4.2 –Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	4	5	0,4	0,5
2. Удобство в эксплуатации	0,05	5	5	0,25	0,25
3. Портативность	0,03	2	4	0,06	0,12
4. Надежность	0,06	5	3	0,3	0,18
5. Безопасность	0,07	4	4	0,28	0,28
6. Потребность в ресурсах памяти	0,05	5	3	0,25	0,15
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	3	4	0,15	0,2
8. Простота эксплуатации	0,1	4	3	0,4	0,3
9. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,07	5	4	0,35	0,28
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена	0,12	4	1	0,28	0,12

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
2. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	5	0,16	0,2
3. Финансирование научной разработки	0,06	1	4	0,06	0,24
4.Предполагаемый срок эксплуатации	0.18	5	4	0,9	0,72
5.Уровень проникновения на рынок	0,02	1	5	0,02	0,1
Итого	1			3,86	3,64

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что данная разработка может конкурировать с уже имеющимися на рынке, хотя и не является наиболее оптимальной. Основное достоинство разрабатываемой установки заключается в её низкой стоимости. Важными недостатками этой разработки являются отсутствие финансирования и крайне низкий уровень проникновения на рынок.

4.1.3 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Дешевизна проекта.	Сл1. Технология является тестовым стендом.
С2. Возможность экспресс-исследований.	Сл2. Отсутствие бюджетного финансирования.
С3. Более широкий спектр применения.	Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
С4. Неразрушающий метод.	Сл4. Необходима ручная обработка результатов измерений.
	Сл5. Оптическое волокно легко повреждается.
Возможности	Угрозы
В1. Отсутствие решения защиты оптического волокна.	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.
В2. Отсутствие производства подобных приборов в России.	У2. Уширение спектра применения конкурентных товаров.
В3. Глубокое знание методики.	У3. Отсутствие юридически-оформленного заказчика.
	У4. Отсутствие устройства для защиты волоконной оптики.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.4–4.7.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

		Сильные стороны проекта			
		С1	С2	С3	С4
Возможности проекта	В1	-	-	-	-
	В2	+	-	-	-
	В3	-	-	-	-

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

		Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	В1	-	-	-	-	+
	В2	-	-	-	-	-
	В3	-	-	+	-	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

		Сильные стороны проекта			
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	-	-	-
	У2	+	-	+	-
	У3	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-

Таблица 4.7 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

		Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-
	У3	-	+	-	-	-
	У4	+	-	-	-	+

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Дешевизна проекта. С2. Возможность экспресс-исследований. С3. Более широкий спектр применения. С4. Неразрушающий метод.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Технология является тестовым стендом. Сл2. Отсутствие бюджетного финансирования. Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию. Сл4. Необходима ручная обработка результатов измерений. Сл5. Оптическое волокно легко повреждается.</p>
<p>Возможности В1. Отсутствие решения защиты оптического волокна. В2. Отсутствие производства</p>	<p>Направления развития В2С1. Стать основным поставщиком фитоспектрометра для теплиц на отечественном рынке.</p>	<p>Сдерживающие факторы В3Сл3. Глубокое знание методики компенсирует необходимость использование высокой квалификации оператора.</p>

<p>подобных приборов в России. В3. Глубокое знание методики.</p>		
<p>Угрозы У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Уширение спектра применения конкурентных товаров. У3. Отсутствие юридически-оформленного заказчика. У4. Отсутствие устройства для защиты волоконной оптики.</p>	<p>Угрозы развития У2С1С3. Поддерживание конкурентоспособности путём широкого функционала и сравнительно малой стоимости</p>	<p>Уязвимости: У3Сл2. Отсутствие спроса и заказчика усиливает недофинансирование проекта. У4Сл5. Отсутствие соответствующего патентного дизайна.</p>

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.9.

Для выполнения научного исследования формируется рабочая группа. В ее состав входят профессор кафедры ЛиСТ (далее — руководитель) и 1 инженер.

Таблица 4.9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Руководитель инженер
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Магистранты
	4	Выбор методов исследования	Руководитель инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Руководитель инженер
	6	Подготовка эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Руководитель инженер

Оформление отчета по НИР	10	Анализ результатов отчета, формулировка выводов	Инженер
	11	Представление результатов для отчета по НИР	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.3)$$

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

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

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожс}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	3	3	4	1,8	3,4	3,4	4









3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	6,8	7
6. Подготовка эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,8	5
10. Анализ результатов отчета, формулировка выводов	-	8	-	10	-	8,8	8,8	13
11. Представление результатов для отчета по НИР	-	4	-	6	-	4,8	4,8	7
Итого:	7	59	15	84	10,2	73,8	76,6	109

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	█												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	█												
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		█											

№	Вид работ	Исп	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
4	Выбор методов исследования	Исп2	6													
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7													
6	Подготовка эксперимента	Исп2	9													
7	Проведение эксперимента	Исп2	25													
8	Обработка полученных данных	Исп2	18													
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5													
10	Анализ результатов отчета, формулировка выводов	Исп2	13													
11	Представление результатов для отчета по НИР	Исп2	7													

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты на выполнение исследования включают в себя стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В данной работе такими затратами являются расходы на приобретение семян, земли, светодиоды и емкостей для выращивания.

Материальные затраты, необходимые для данного исследования, занесены в таблицу 4.12.

Таблица 4.12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Семена	шт.	10	15	150
Земля	л	20	10	200
Ёмкость	шт.	15	35	525
Светодиоды	шт.	30	40	1200
Итого:				2075

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 4.13 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	Н _л , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	AvaSpec фирмы Avantes	1	5	1	20	218000	908,33
2	Компьютер	1	7	1,5	14	250000	2187,5
Итого:		3095,83 руб.					

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

где $Z_{он}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_\delta} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_δ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: 10,4

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{осн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.15 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{\text{мс}}$, руб	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	k_p	Z_m , руб	$Z_{\text{осн}}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	10,2	22117,19
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	73,8	128640,78
Итого:								150757,97

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 22117,19 = 3317,58 \text{ руб} \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 128640,78 = 19296,12 \text{ руб} \quad (4.13)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (22117,19 + 3317,58) = 7630,43 \text{ руб} \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (128640,78 + 19296,12) = 44381,07 \text{ руб} \quad (4.15)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (4.16)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 4.16 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
3095,83	2075	150757,97	22613,70	52011,5	230554	7377,73	237931,73

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Влияние света на накопление основных соединений в растениях» по форме, приведенной в таблице 4.17. В таблице также представлено определение бюджета затрат одного конкурирующего научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.17 – Расчет бюджета затрат НТИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	
		Текущий Проект	Исп.2
1	Материальные затраты НИР	2075	4508
2	Затраты на специальное оборудование	3095,83	21000,25
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	150757,97	149887,13
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22613,70	22482,96
5	Отчисления во внебюджетные фонды	52011,5	51710,81
6	Накладные расходы	7377,73	7493,25

Бюджет затрат НИР	237931,73	257082.4
-------------------	-----------	----------

Где:

Исп.2 – Аналог 1

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат 2 вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

1. Спектрометр для растений фирмы Green Talk.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 237931,73$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 257082.4$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.пр.}} = 237931,73/257082.4=0,92;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = 257082.4/257082.4=1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по двум вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,2	4	4
3. Энергосбережение	0,2	5	3
4. Надежность	0,3	5	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	4
ИТОГО	1	4,65	3,8

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,80;$$

4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}} \quad (4.18)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,94} = 4,94; \quad I_{исп.2} = \frac{3,8}{1} = 3,8$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.19).

Таблица 4.19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,92	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,94	3,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,79

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В данном разделе бакалаврской работы был проведен анализ потенциальных потребителей разработки, анализ конкурентных решений, выполнено планирование исследовательских работ и бюджета НИИ, определена эффективность разработки.

Анализ потенциальных потребителей показал, что разработка может быть распространена среди компаний мелких размеров. Анализ конкурентных решений выявил, что данная разработка не имеет явных преимуществ перед другими, но, тем не менее, является конкурентоспособной на рынке.

В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей.

Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 237931,73 руб;

Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,92, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,8;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,94, по сравнению с 3,8, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.