TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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 подготовки 12.03.02 «Оптотехника»
Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния светодиодного облучения на оптические параметры листьев растений

УДК 635.074:621.383.52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В51	Былков Денис Васильевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Степанов Сергей Александрович	к. ф. – м. н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Туранов Сергей Борисович	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший Преподаватель	Скачкова Лариса Александровна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Степанов Сергей Александрович	к.ф. – м. н		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оптотехники
Р2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научнотехническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий
Р3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оптотехники
Р4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий
Р5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов
Р6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач
Универсальные компетенции	
Р7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оптотехники
Р8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности
Р9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
Р10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности
Р11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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 подготовки 12.03.02 «Оптотехника»
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ _____ Степанов С.А.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4В51	Былков Денис Васильевич

Тема работы:

Исследование влияния светодиодного облучения на оптические параметры листьев растений	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	21.05.2019, №4034/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(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.).*	Исследование отечественной зарубежной литературы в данном направлении. Объект исследования – кинетики возбуждения и затухания люминесценции растений, спектр отражения листьев растений. Предмет исследования – лист домашнего цветка антуриума. Аппаратура – фитотрон со светодиодными облучателями, спектрофотометр, монохроматор.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(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).*	1. Обзор литературы по данной тематике. 2. Изучение экспериментальной установки для исследований. 3. Разработка установки. 4. Разработка методики эксперимента. 5. Исследование параметров люминесценции
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	1. Результаты экспериментов. 2. Схемы экспериментальных установок. 3. Схема устройства спектрофотометра. 4. Фотографии спектров и кинетиклюминесценции

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.02.2019

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Степанов Сергей Александрович	к.ф. – м.н.		
Ассистент	Туранов Сергей Борисович	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В51	Былков Денис Васильевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4В51	Былкову Денису Васильевичу

Школа	Новых производственных технологий	**Отделение школы (НОЦ)**	**Материаловедения**
Уровень образования	Бакалавр	**Направление/специальность**	12.03.02 «Оптотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	*Материальные затраты:639,8 руб. Затраты на амортизацию оборудования:19 703 руб*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	*В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»; Минимальный размер оплаты труда в 2019 году составляет 9750*
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	Отчисления по страховым взносам – 27,1% от ФОТ
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения*	*Технико-экономическое обоснование научноисследовательской работы - Потенциальные потребители результатов исследования;*
2. *Планирование и формирование бюджета научных исследований*	*Планирование научно-исследовательского исследования (цели и результат исследования, перечень работ, определение трудоемкости работ, - Смета затрат на исследование*
3. *Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования*	*-Анализ и оценка научно-технического уровня проекта;*
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)***:**	
1. *Матрица SWOT* 2. *График проведения и бюджет НИ*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В51	Былков Денис Васильвич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4В51	Былкову Денису Васильевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение школ(НОЦ)	материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Оптотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Характеристика работы: анализ литературы по теме исследования, работы со спектральными приборами типа CaryEclipse и AvaSpec для спектроскопии
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– *К правовым мерам обеспечения безопасности относится ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.* – *ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).* – *ГОСТ 12.1.005 – 88. Категория работ по тяжести.* *Организация безопасности осуществляется по Трудовому кодексу Российской Федерации, действующего от 5.02.2019 г.*
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– *Для защиты исследователя проведен анализ показателя микроклимата в помещении, описаны мероприятия по обеспечению электробезопасности, риск получения удара током, из-за несоблюдения правил электробезопасности;* *риск оказаться в зоне действия пожара, из-за несоблюдения правил пожарной безопасности*
3. Экологическая безопасность:	*Данная работа наносит незначительный ущерб окружающей среде, посредством утилизации компонентов экспериментального оборудования*
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	*Существует вероятность возникновения пожара, поражения эл. током. В лаборатории предусмотрены средства пожаротушения: огнетушитель ручной углекислотный ОП-5 2шт. т пожарный кран с рукавом*
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В51	Былков Денис Васильевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 86 с., 34 рис., 19 табл., 25источников.

Ключевые слова: флуоресценция хлорофилла, кинетика флуоресценции, спектр флюоресценции, люминесценция, хлорофилл, фотосинтетически активная радиация.

Объектом исследования является флуоресценция хлорофилла при различных режимах облучения.

Цель работы — разработка методики люминесцентного анализа состояния растений.

В процессе исследования проводились сбор, обработка и анализ литературных данных о методиках исследования спектрально-кинетических характеристик люминесценции и о приборах, осуществляющих измерение этих характеристик, разработка схемы и методики их измерений на имеющемся оборудовании.

В результате исследования получены

Степень внедрения: результаты выполненной работы будут применяться в разработке способа оценки состояния растения оптическими методами и реализации адаптивного освещения на основе полученных результатов.

Область применения: анализ состояния растений на различных стадиях роста и развития оптическими методами.

Экономическая значимость работы обусловлена модернизацией имеющихся тепличных комплексов, что позволит существенно снизить энергозатраты на выращивание сельскохозяйственных культур, а также повысить продуктивность их выращивания.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ФАР – фотосинтетически активная радиация

БИК – ближний инфракрасный

ФСА – фотосинтетический аппарат

ИУ – исследовательская установка

КК – кривая Каутского

ФС I и ФСII– первая и вторая фотосистемы.
РЦ – реакционные центры.

Оглавление

Введение.....10
1. Обзор литературы по оптическим методам анализа растений. 13
1.1 Особенности строения растительной клетки. 13
1.2 Механизм фотосинтеза. 15
1.3 Оптические методы контроля состояния растений. 19
1.3.1 Флуоресценция хлорофилла. 20
1.3.2 Оценка состояния растения методами анализа отражения и поглощения.....23
1.3.3 Мультиспектральная съемка. 24
1.3.4. Определение возраста и состава растения с помощью комбинационного рассеяния.....27
1.4 Патентный обзор. 29
1.5 Выводы по главе. 34
2.Методика эксперимента.....36
2.1 Переменная флуоресценция. 38
2.1.1 Прямое измерение флюоресценции. 44
2.1.2 Измерение флуоресценции методом амплитудной модуляции. 53
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....58
4. Социальная ответственность.....73
Заключение. 83
Список литературы 84

Введение

На данный момент очень активно идет развитие тепличных комплексов, а также систем обеспечения, которыми оснащаются современные теплицы. Одной из самых перспективных задач современной светотехники является модернизация существующих и разработка новых энергоэффективных систем освещения тепличных комплексов. Это связано с тем, что выращивание растений в защищенном грунте является передовой отраслью в сельском хозяйстве. С каждым годом вопросам круглогодичного обеспечения населения свежими овощами и фруктами уделяется все больше внимания. В особенности остро эта проблема стоит в северных регионах страны, а также в Арктике по причине экстремальных погодных условий, непригодных для выращивания в открытом грунте.

К таким системам относятся системы полива, позволяющие максимально эффективно использовать питательные ресурсы и доставлять их растению в нужных количествах. Также применяются разнообразные осветительные системы, благодаря которым можно ускорять рост растений, повышать их продуктивность, регулировать питательный состав и управлять ростом.

В настоящее время существует большое количество различных ресурсоэффективных систем. Особенно интересны системы со светодиодным освещением. Они могут быть выполнены в самых разных вариациях. Этот факт дает большие возможности в проектировании данных систем, так как светодиоды позволяют подобрать буквально любой спектр для каждого растения, а тем более изменять спектр по мере роста растения. Таким образом светодиодные осветительные системы позволяют дать растению свет с благоприятным спектральным составом, способствующим активному развитию и повышению продуктивности.

Решающим фактором успешного культивирования является освещение. В процессе фотосинтеза, который используется растениями для преобразования электромагнитного излучения (света), они получают

химическую энергию, необходимую для их роста и развития. Все фотосинтетически активное излучение находится в спектральном диапазоне от 400 нм до 700 нм. Пик же его приходится на 420 нм и 620 нм. Зелёная и инфракрасная составляющие также влияют на фотосинтез и выполняют регуляторные функции, но при проектировании тепличных светодиодных световых приборов предпочитают использовать красные и синие светодиоды в соотношениях 7:1, 5:1 и др., что не позволяет в полной мере раскрыть потенциал светодиодного освещения[3]. Но несмотря на все преимущества светодиодных систем освещения тепличных комплексов, они не могут быть намного более эффективные чем люминесцентные или газоразрядные аналоги. Это вызвано тем, что до сих пор нет устройств, отвечающих за обратную связь освещаемого растения с системой освещения. Зная, что требуется растению на всем периоде вегетации, можно разработать адаптивную систему освещения, которая будет изменять световой поток и спектральный состав, подбирая необходимые параметры в зависимости от этапа роста. Таким образом возможен значительный прирост эффективности использования светодиодных систем освещения растений, что повысит популярность использования тепличных комплексов и их производных выращивания растений в искусственных условиях. Также разработав методику получения обратной связи с растениями, можно будет получать необходимую для выращивания информацию, что позволит внедрить методику запрограммированного роста, чтобы управлять такими параметрами, как урожайность, скорость роста и т.д.[3]

Решением для повышения эффективности использования светодиодных технологий для освещения растений может послужить использование адаптивных светодиодных облучательных установок, реализация которого позволит значительно повысить продуктивность роста и развития растений, снизить затраты на электроэнергию, максимально автоматизировать и упростить процессы управления и обслуживания тепличных комплексов[3].

Отслеживать состояние растения можно с применением оптических методов. Так какпри различных режимах освещения, а такжепри измененииипитания и условий микроклимата, меняется количество и состав хлорофилла в клетках растений, что приведет к изменению параметров отражения/поглощения и люминесценции[4].

Для изучения процессов, протекающих в растениях на всем периоде вегетации, применяется специальное устройство - фитотрон, способное воспроизвести условия схожие с естественными. Данная установка применяется для лабораторных исследований процессов вегетации различных растений. В нем есть возможность управлять такими параметрами как освещенность, спектральный состав освещения, микроклимат, которые являются ключевыми для роста и развития растения.

Целью данной работы является разработка методики измерения параметров флюоресценции хлорофилла листьев и плодов для контроля процессов вегетации растений при светодиодном облучении.

Данные методы позволят упростить процедуру отслеживания состояния растений в тепличных комплексах.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить ряд **задач**:

1. Проанализировать отечественную и зарубежную литературу по оптическим методам анализа состояний растений.
2. На основе полученной информации разработать методику исследования параметров флюоресценции хлорофилла.
3. Сконструировать установку для исследований флюоресценции хлорофилла.
4. Произвести показательные измерения параметров флуоресценции на изготовленных установках.

1. Обзор литературы по оптическим методам анализа растений.

Существует большое количество различных методик, позволяющих анализировать те или иные процессы, происходящие в живом организме, будь то человек, животные или растения. Одними из таких являются оптические методы, они позволяют узнать многое об организме. Это и химический состав, и различные реакции на те или иные раздражители. Так же имеется возможность получать эту информацию без вмешательства в организм.

Но для их использования или тем более для разработки новых методик, необходимо детально изучить физические процессы, протекающие в растительной клетке и понять то как функционирует клетка.

Этот раздел даст возможность сформировать картину, которая отражает механизм взаимодействия растения со светом. Таким образом зная и понимая процессы взаимодействия растения и света, можно грамотно пользоваться оптическими методами и сформировывать новые методики анализа растений на их основе.

1.1 Особенности строения растительной клетки.

Растения — это те организмы, состояние которых напрямую связано с изменениями не только параметров окружающей среды, но и параметров освещения. Именно фотосинтетический аппарат отвечает за преобразование световой энергии в организме растения и соответственно сигнализировать о том в каком состоянии пребывает организм растения. Чтобы понять, как свет влияет на растение и как он преобразуется самим растением, нужно исследовать строение клетки растения и изучить принципы фотосинтетических процессов[1].

Растения как известно, это многоклеточный организм. Который содержит в себе миллионы клеток, каждая из которых, их которых несет свою службу. Все клетки делятся по назначению и могут отличаться друг от друга, но так как растения это эукариотический организм, то все они содержат ядро в своем составе и имеют цитоплазму, ряд клеточных органелл и систему

мембран, которая не только отделяет клетку от окружающей среды, но и разделяет на отдельные компоненты ее внутреннее содержимое[1].

Клетки растений отличают от клеток других многоклеточных эукариотических организмов тем, что имеют в себе систему пластид, органоидов, которые отвечают за преобразование энергии, накоплении питательных веществ и фоторецепторные свойства. Также клетки растений имеют прочную межклеточную оболочку, которая удерживает содержимое клетки и определяет количество клетчатки - сухой массы плодов растений [1, 2].

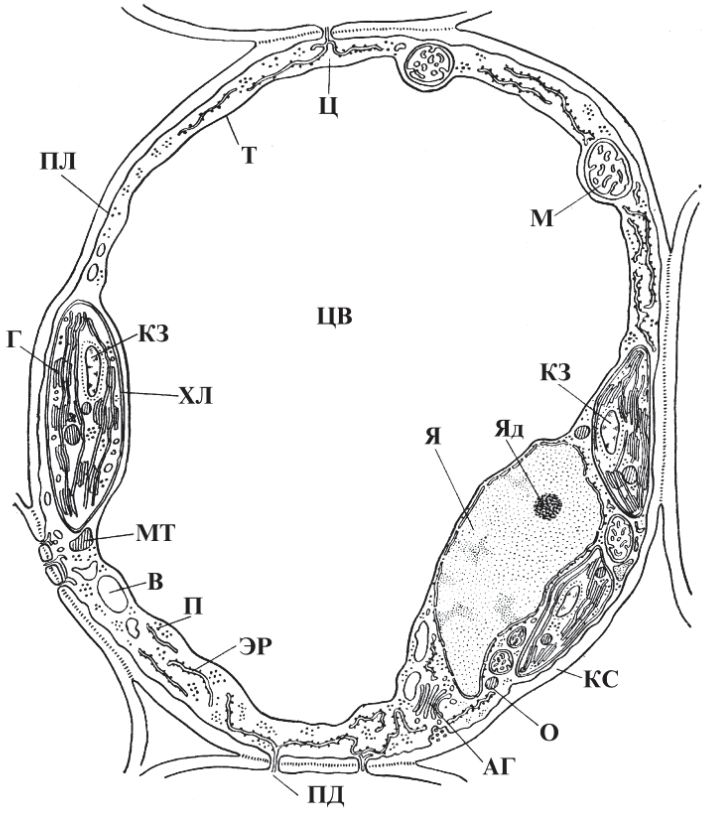

Рисунок 1 - Схема строения клетки листа липы: М - митохондрия; ЦВ - центральная вакуоль; Ц - цитоплазма; Т - тонопласт; ПЛ - плазмалемма; Г - грана; КЗ - крахмальное зерно; ХЛ - хлоропласт; МТ - микротело; В - цитоплазматическая вакуоль; П - полисома; ЭР - эндоплазматический ретикулум; ПД - плазмодесма; АГ - аппарат Гольджи; О - олеосома; КС - клеточная стенка; Я - ядро; Яд – ядрышко[1]

Как уже было сказано выше, основными органоидами растительной клетки являются такие как: ядро, рибосомы, пластиды, митохондрии и аппарат Гольджи. Наибольший интерес из всех клеточных органоидов представляют пластиды, клетки, которые классифицируются по наличию или отсутствию в них пигментов. Более подробно следует описать хлоропласты, так как это те клетки, которые участвуют в фотосинтезе[1, 2].

Хлоропласты содержат хлорофилл и участвуют в фотосинтезе. Пластиды, которые содержат больше каротиноидов, чем хлорофиллов, называют *хромопластами*. Именно хромопласты обусловливают желтую, красную или оранжевую окраску многих цветов, плодов и осенних листьев. Хлоропласты могут превращаться в хромопласты при старении листьев и созревании плодов, в некоторых случаях этот процесс является обратимым. К непигментированным пластидам относят этиопласты, лейкопласты и пропластиды.Фотосинтезирующими элементами клеток высших растений и ряда зеленых водорослей являются хлоропласты - пластиды размером 4 - 6 мкм. У некоторых водорослей хлоропласты могут быть больше 4 - 6 мкм (например, у хламидомонады они могут достигать 50 мкм)[1].

1.2 Механизм фотосинтеза.

Начальные процессы фотосинтеза можно разделить на несколько этапов: поглощение световой энергии, передача энергии к реакционным центрам (РЦ), разделение зарядов и миграцию электронов. Энергия электронов запасается в химических связях [2]. В РЦ энергия возбуждения поступает посредством улавливания световой энергии светособирающими антеннами, которые эффективно поглощают световую энергию. Затем эта энергия поступает в фотосистемы ФС II иФС II, каждая из которых, возбуждаясь предает энергию все ближе к РЦ резонансным способом[18].

Данный процесс описывается так называемой Z - схемой нециклического и циклического транспорта электронов при фотосинтезе.

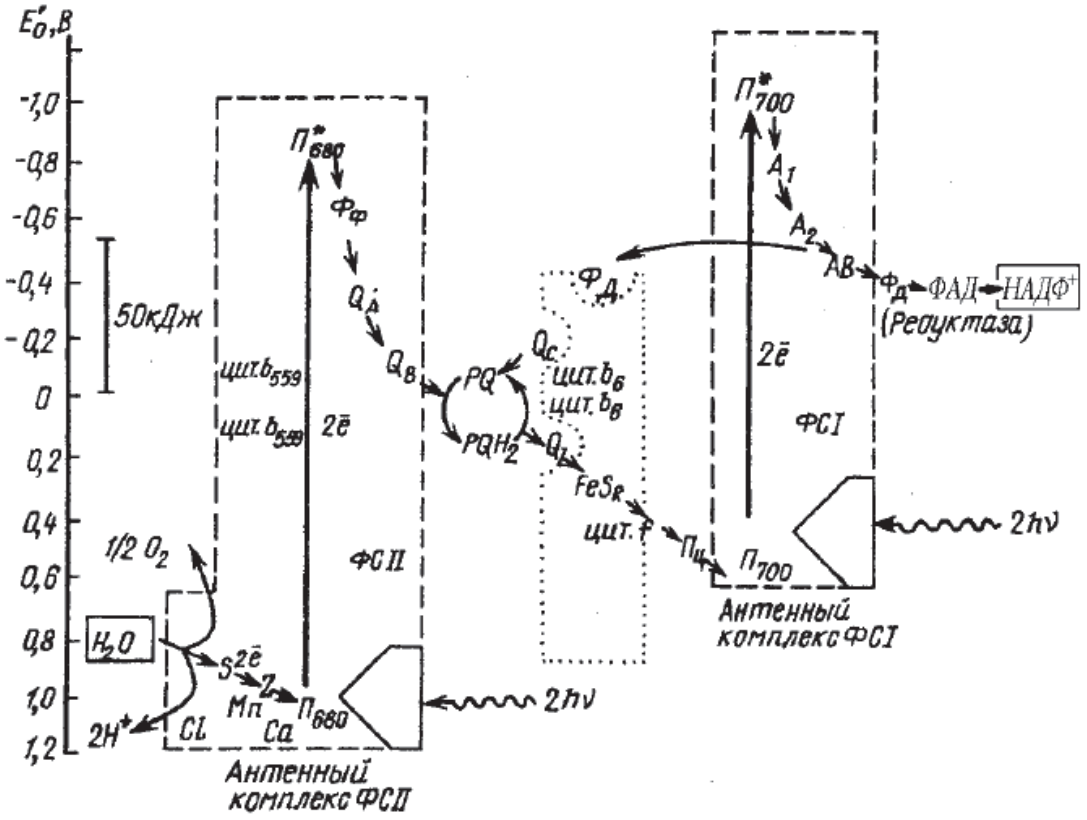

Рисунок 2 - Схема транспорта электронов (Z–схема)[18]

В основе теории транспорта электронов лежит несколько принципов. Первый из которых гласит, что каждый из двух РЦ имеет свою собственную ССА. Следующий принцип объясняет механизм передачи энергии от антенн к РЦ. В нем говорится, что каждая ФС конкурирует с соседней и энергия переливается к открытой ФС, таким образом двигаясь все ближе к РЦ [18].

Фотосинтез — это процесс преобразования неорганических соединений в органические вещества под действием солнечной энергии. Процесс фотосинтеза уникален по своей природе. Это биологическое явление протекает с накоплением и увеличением свободной энергии. Процесс преобразования солнечной энергии осуществляет посредством пластид – хлоропластов[1],[2].

Хлоропласт содержит внутри себя сложную систему мембран. Такое строение позволяет упорядочить работу реакционного центра и разделить быстрые фотофизические процессы, протекающие со скоростями (10^{-9} – 10^{-12}

с.) от более медленных химических процессов (10^{-4} – 10^{-2} с.), а также отделить восстановленные и окисленные продуктыфотосинтеза. Хлоропласты большинства растений способны перемещаться в клетке в зависимости от интенсивности освещения и его направления. Сильный свет вызывает движение хлоропластов, обуславливая их перемещение к боковым стенкам клеток. При ослаблении светового потока хлоропласты распределяются по клетке равномерно[2]. Хлоропласт имеет способность поглощать и преобразовывать световое излучение благодаря наличию пигмента хлорофилла. Существует два вида – хлорофилл, а и хлорофилл b, которые одновременно участвуют в процессе поглощения и преобразования световой энергии.

Хлорофиллы имеют два максимума поглощения света — в синей (430—460 нм) и красной (650—700 нм) областях спектра[1],[2].

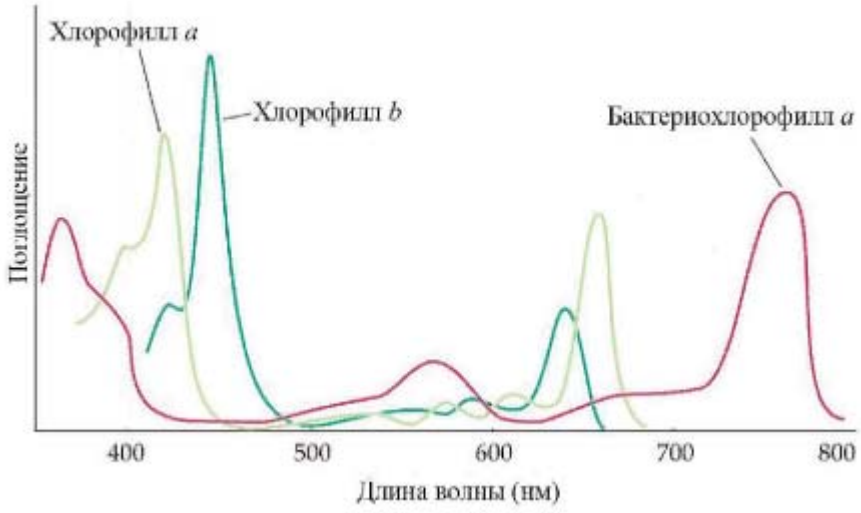

Рисунок 3 -Спектры поглощения хлорофиллов[1]

Молекула хлорофилл является оптическим сенсибилизатором, то есть способна возбуждаться квантами света. Хлорофилл принимает энергию света и становится донором энергии, передавая ее акцепторным молекулам – приемникам энергии. Таким образом хлорофилл может участвовать в окислительно – восстановительных реакциях, то есть может принимать или отдавать электроны[2, 5].

Молекула хлорофилла получая энергию от кванта света преобретает возбужденный вид. Этот процесс уже можно рассматривать как преобразование энергии и ее запасание. Однако эта энергия быстро (за 10^{-13} – 10^{-11} с) растрачивается в виде тепла или переизлучается обратно во внешнюю среду. Но из-за того, что хлорофилл — это достаточно сложная молекула, то энергия в ней может запасаться на длительное время, все потому что электроны в связях молекулы хлорофилла делокализованы, это значит, что энергия запасается на более длительное время благодаря возбужденным состояниям молекул. Молекулы хлорофилла имеет в своем строении чередование одинарных и двойных связей, что является причиной появления вокруг него делокализованныхэлектронов, которые легко переходят в возбужденное состояние при поглощении света. Именно эта система из 18 сопряженных двойных связей является фотоактивной, и может поглощать кванты света в видимом диапазоне. Принцип запасания энергии состоит в том, что молекула хлорофилла поглощает энергию кванта света и переходит из основного состояния в возбужденное[1, 2, 4, 7].

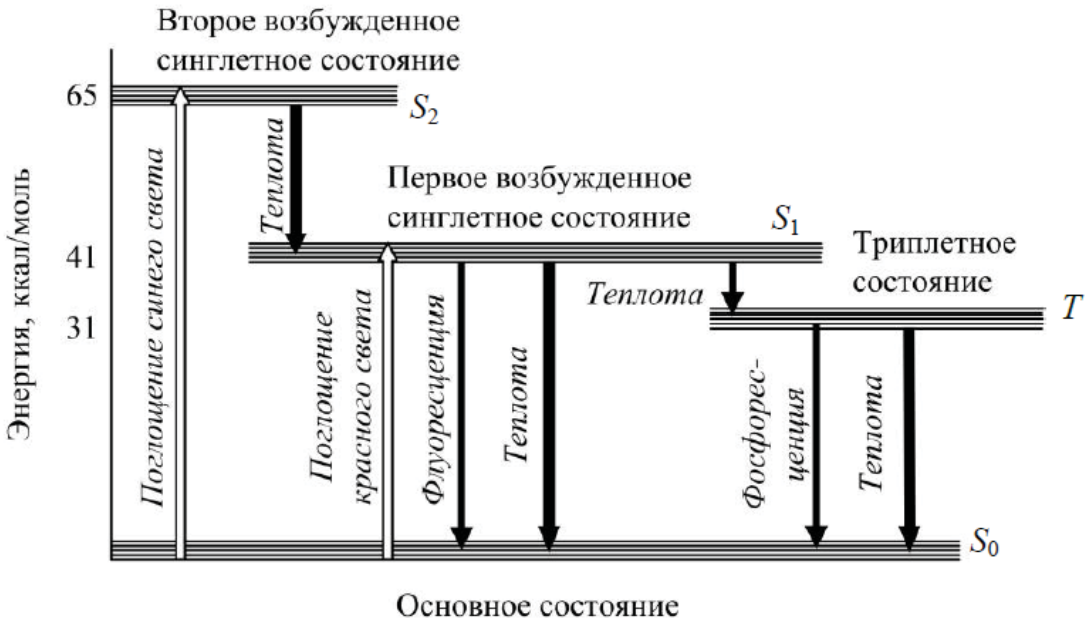

Рисунок 4 - Энергетические уровни состояния молекулы хлорофилла[1]

Поглощая свет, молекула хлорофилла переходит в синглетное (S_2или S_1) возбужденное состояние. Так как это возбужденное состояние нестабильно, электрон молекулы не может находиться в этом состоянии долгое время, и быстро (за 10^{-12} с) переходит на первое синглетное состояние (S_1), теряя при этом энергию возбуждения в виде тепла. С первого синглетного уровняS_1 электрон может перейти в исходное состояние S_0несколькими путями:

Во – первых, электрон может отдать часть энергии в виде тепла, а другую часть переизлучить в виде кванта света, такое явление называется *флуоресценция*, переизлученный квант света при этом имеет большую длину волны чем поглощенное излучение.

Во – вторых, электрон может поменять свой знак спина и перейти в триплетное возбужденное состояние (Т), где может находиться гораздо большее время (порядка 10^{-5} – 10^{-3} с) нежели на других возбужденных уровнях. Это происходит из-за того, что электрон в возбужденном состоянии меняет знак, и он становится таким же, как и у невозбужденного, это не позволяет ему занять электронную дырку на основном уровне и перейти в основное состояние пока не произойдет смена знака спина согласно принципу Паули. Из триплетного (Т) возбужденного состояния электрон переходит в основное, испуская квант светас большей длиной волны чем при переходе из (S_1) состояния, это явление *фосфоресценции.*

*В – третьих*энергия, образовавшаяся при переходе с первого синглетного уровня, идет на образование химических связей органических соединений[1].

1.3 Оптические методы контроля состояния растений.

В процессе жизнедеятельности растение непременно взаимодействует с внешней средой. В зависимости от того каким образом внешние условия влияют на состояние растения меняется химический состав растения и его, следовательно, его оптические свойства. Отличительным продуктом жизнедеятельности растения является накапливание пигмента хлорофилла в

клетках хлоропластах, а результатом влияния внешней среды на растение является изменение хлорофилла в клетках растения. В природе, когда условия для растений благоприятны, у них увеличивается площадь поверхности листа, укрепляются стебли, все это помогает растению плодоносить и развиваться. Но в когда наступают неблагоприятные времена, растение научилось компенсировать недостаток одних параметров другими. Так, например, при плохом освещении или же неподходящем спектральным составом, растение компенсирует этот недостаток усиленным ростом осевых органов, увеличением площади листьев[1, 4, 7].Таким образом зная, что распространение светового излучения в тканях растения — это процессы флуоресценции, поглощения и многократного рассеяния, а также отражение от поверхности растения. Эти процессы могут изменяться под действием внешней среды. Этот факт дает возможность использовать оптические методы для контроля состояния растения. Проведя ряд экспериментов в частности по изучению влияния спектрального состава излучения источника света, можно выявить зависимости изменения оптических характеристик растения (отражения, поглощения, флуоресценции)[2, 3].

1.3.1 Флуоресценция хлорофилла.

На данный момент анализ флуоресценции является одним из самых прогрессивных и перспективных методов контроля состояния растений и их ФСА. Принцип такого анализа состоит в том, чтобы отслеживать процессы происходящие в организме растения путем анализа параметров флуоресценции. Вкратце уменьшение эффективности преобразования энергии света растением ведет к увеличению уровня флуоресценции. [2]

Та энергия света, которая не была использована в фотосинтезе по каким-либо причинам, излучается растениями в виде флуоресценции. В основном флуоресценция которая излучается растениями происходит в результате синглет – синглетного перехода при первом синглетом возбуждении [1, 2].

Вследствие высокой эффективности перехода электрона из возбужденного состояния и разделения зарядов в реакционном центре, флуоресценция характеризуется низкими значениями квантового выхода (1–3%) и времени затухания (100–200 пс). Однако по изменению этих величин можно судить об эффективности основного фотосинтетического запасания энергии электронного возбуждения в различных условиях. Во время фотосинтеза энергия, излучаемая при люминесценции мала, а любое нарушение процесса фотосинтеза понижает его эффективность, что приводит к значительному увеличению люминесценции. Флюоресценцию можно разделить на две составляющие. Те растения, которые предварительно были выдержаны в темноте и адаптировались к ней переизлучают свет в виде флюоресценции которая имеет характерную динамику, которая называется индукционная кривая флюоресценции. Ее можно разделить на две фазы – быструю фазу нарастания, которая проявляется в момент включения осветительной установки, и медленную фазу затухания относительно максимума стационарного уровня флюоресценции. Эти процессы нарастания и затухания флуоресценции отражают кинетику процессов в фотосинтетическом аппарате растения [2].

Для измерений флюоресценции необходимо понимать два основных вида тушения фотохимическое и нефотохимическое (выделение тепла). Это достигается путём остановки фотохимических реакций, что позволяет исследователям измерить флуоресценцию в присутствии только нефотохимического тушения. Растение, которое предварительно выдержали в темноте освещают мощной вспышкой света, в результате РЦ частично закрываются, и энергия не может быть передана по электронной цепи [1, 2]. Нефотохимическое тушение не оказывает влияния, если вспышка достаточно короткая. Во время вспышки (или после резкого выноса растения на свет из темноты) происходит насыщение реакционных центров светом с переходом в закрытое состояние. В таких условиях, когда отсутствует какое-либо фотохимическое тушение, а не фотохимическое тушение пренебрежительно

мало, флуоресценция достигает своего максимального уровня, обозначаемого как максимум флуоресценции F_m. Эффективность фотохимического тушения, по которому определяют эффективность работы ФСII, можно оценить сравнивая F_mсо стационарным уровнем флуоресценции на свету $\boldsymbol{F_t}$и фоновый уровень флуоресценции F_0в отсутствие света пригодного для фотосинтеза. Эффективность нефотохимического тушения изменяется в зависимости от различных внутренних и внешних факторов. Его усиление ведёт к повышению тепловыделения и снижению F_m.[2].

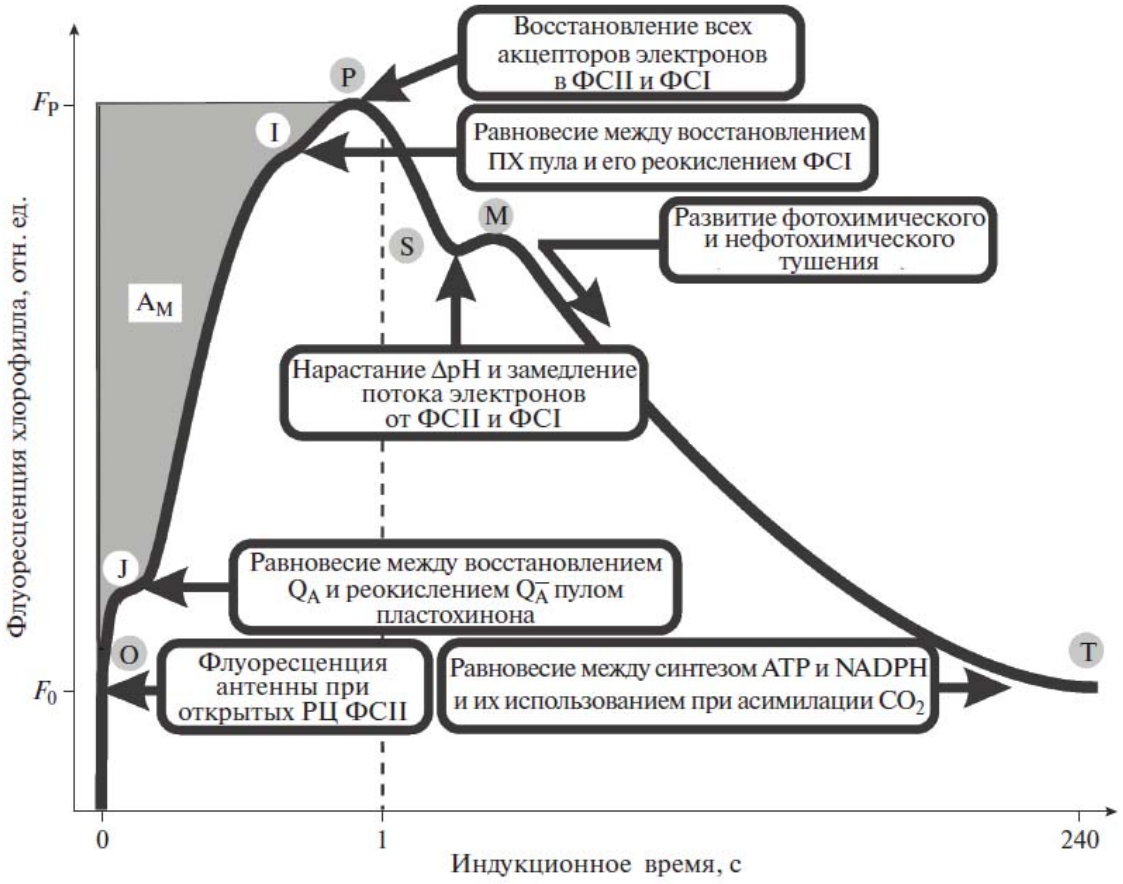

Рисунок 5 -Реперные точки флуоресценции[7]

Таким образом отслеживая динамику изменения параметров люминесценции можно отслеживать процессы протекающие в клетках растения, а также мгновенно получать информацию о том благоприятные ли условия для растения или нет. Так же методики анализа растений на основе люминесценции очень информативны в плане подбора благоприятного

освещения для растения и позволяют сразу получить информацию о скорости фотосинтеза, что позволяет узнать о правильности подбора спектрального состава освещения.

1.3.2 Оценка состояния растения методами анализа отражения и поглощения.

Методики такого рода применяются для оценки состояния растения по некоторым параметрам или же для детектирования состояния фотосинтетического аппарата растения. Существует несколько методик фиксации оптических параметров отражения и поглощения ткани растений. Для того чтобы оценить состояние растения, а соответственно уследить ответную реакцию растения на изменения условий внешней среды применяют метод пропускания света различной длины через ткань растения как правило это листья растений[1, 2].

Для данного рода методик применяются приборы с селективными фотоприемниками это позволяет оценить микроструктуру ткани растений и фотосинтетическую активность.

Просвечивание листа, исследуемого растения производится на разных длинах волн. Каждый диапазон применим для своего круга исследований. Для просвечивания и дальнейшего анализа поглощенного и отраженного света применяется свет в видимом диапазоне, БИК диапазон, УФ диапазон.

Для оценки и исследования водного состояния листа растения используется излучение в полосе 935 нм, которая находится в области резонансного поглощения воды в диапазоне 900 – 1000 нм. Для исследования могут применяться различные спектрометры или лазерные фотометры. В исследованиях листа на содержание хлорофилла в тканях используется световое излучение в видимом диапазоне, поэтому, если в роли поглощающей субстанции или «растворенного вещества» в видимой области спектра выступают пигменты, то в БИК-области таковой является вода[4].

Процедура измерений оптических параметров листа состоит в регистрации падающей, отраженной и проходящей радиации, а коэффициент поглощения традиционно вычисляется по формуле:

$$A = 100 - (T + R), \quad (1)$$

где A - поглощение (коэффициент поглощения, %);

T - прохождение, %;

R - отражение, %[4].

Но лист отражает и поглощает по-разному. Так, например, падающий на верхнюю часть листа свет поглотится в большей степени нежели чем на нижнюю, порядка на 10% больше. Объясняется это, прежде всего, тем, что у большинства растений нижняя сторона листа значительно светлее верхней. Благодаря этому отражение лучистой энергии на 10-12% больше. Прохождение излучения также зависит от особенностей анатомии листа, от того, в какие ткани сначала попадает лучистая энергия. Если лист освещается сверху, на пути лучистой энергии сначала встретится столбчатая паренхима, а затем губчатая, и количество прошедшей энергии будет на 2-3% меньше, чем при освещении нижней поверхности листа[2, 3, 4]. Все эти особенности необходимо учитывать для достижения достоверных результатов.

1.3.3 Мультиспектральная съемка.

Данный вид съемки позволяет получить изображение объекта в различных участках длин волн оптического диапазона. Мультиспектральная съемка позволяет определить качество растительности на поверхности земли, что дает возможность обнаруживать аномальные участки на поверхности.

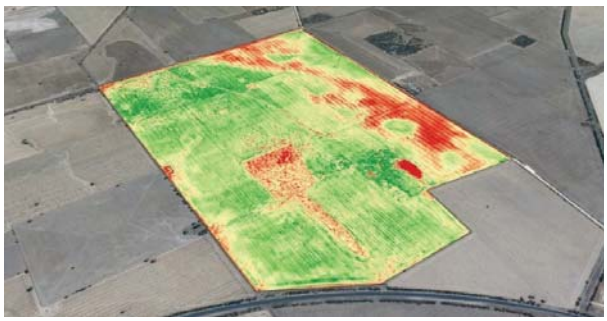

Рисунок 6 - Вид на поле пшеницы сделанный с помощью мультиспектральной камеры[11]

Мультиспектральная съемка, позволяет вести мониторинг земной поверхности, а именно вести наблюдение за состоянием сельскохозяйственных посадок, лесов и полей.

Мультиспектральная съемка - осуществляется с помощью мультиспектральной камеры. При такой съемке формируются одновременно несколько изображений одной и той же территории в различных зонах спектра электромагнитного излучения[11]. Различные комбинации этих изображений позволяют выявить процессы и явления, которые сложно или невозможно определить на снимке в видимом спектре. Эта камера воспринимает свет несколько иначе нежели обычная цифровая камера или человеческий глаз. Дело в том, что обычные камеры или же наш глаз воспринимают три цветовых канала, из которых состоит видимый свет. А именно красный, зеленый и синий цвета. В то время как мультиспектральная камера может «видеть» более трех цветовых каналов. Таким образом, такая камера позволяет увидеть объект одновременно в нескольких спектральных диапазонах, причем эти изображения будут программно наложены друг на друга.

Камера для мультиспектральной съемки может быть устроена несколькими путями, либо применением специальных фильтров или же устройством цифровой матрицы.

Например, существуют камеры, которые имеет в своем устройстве несколько объективов, каждый их которых предназначен для ведения съемки в своем спектральном диапазоне.

Рисунок 7 - Мультиспектральная камера с несколькими объективами[10]

Следующий вид камер содержит в своих цифровых матрицах не три световых фильтра как обычно, а больше. Это позволяет разбить один пиксель на несколько спектральных участков. Мультиспектральные снимки внешне не сильно отличаются от обычных снимков, но если мы возьмём обычный снимок, то любой пиксель с него можно разбить на компоненты. Каждый пиксель, это n-мерная модель, где n – это количество спектральных каналов.

Рисунок 8 -Компоновка матрицы мультиспектральной камеры[10]

Также существуют камеры, в которых применяются материалы с разной спектральной чувствительностью, на основе которых конструируются матрица, отдельные участки которых предназначены для съемки в своем оптическом диапазоне.

1.3.4. Определение возраста и состава растения с помощью комбинационного рассеяния.

На сегодняшний день бурно развиваютсяметоды анализа на основе явления комбинационного рассеяния. С помощью этого явления ученые исследуют различные материалы, узнают химический состав органических и неорганических веществ. Что немало важно это неинвазивные методы анализа, и они могут применяться в исследовании живых организмов и медицине[13].

Это явление основано на появлении спектральных линий в спектре излучения, в то время как, этих линий нет в спектре возбуждающего света. Это связано с тем, что электрическое поле света индуцирует в молекуле колебательные движения, связанные с частотой света. В связи с этим появляется осциллирующий диполь, который излучает свет с частотой осцилляции[13].

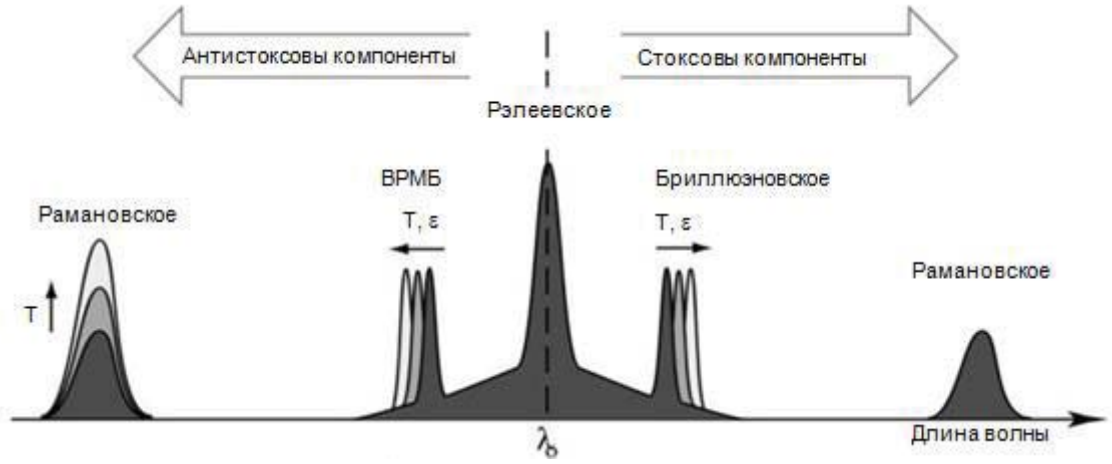

Рисунок 9 - Компоненты сигнала обратного рассеяния света[12]

Так, например, существует статья, которая посвящена исследованию. В ней описывается метод определения возраста красной свеклы и количества содержания в ней бета аланина[12].

Идея метода основана на том, что по мере роста свеклы в ней накапливается бета аланин, спектр излучения которого преобладает над остальными. В связи с этим бета аланин в свекле подходит в качестве хорошего биомаркера, что позволяет с помощью комбинационного рассеяния определить его концентрацию в свекле и соответственно ее возраст[8].

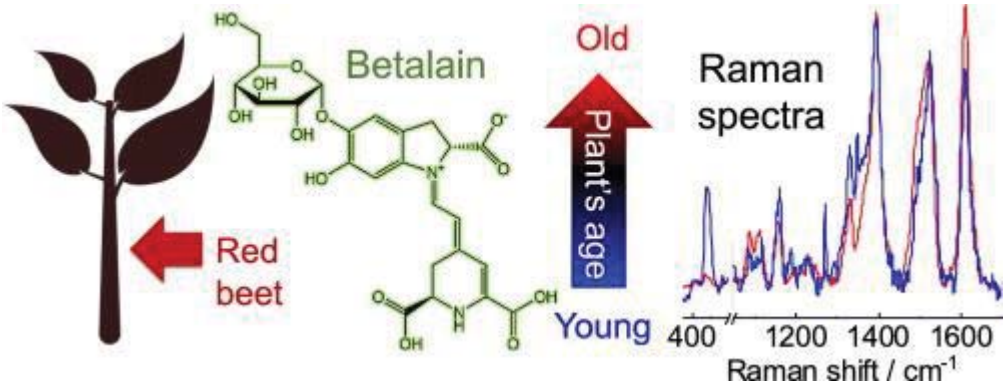

Рисунок 10 - Наглядная иллюстрация метода определения возраста свеклы[8]

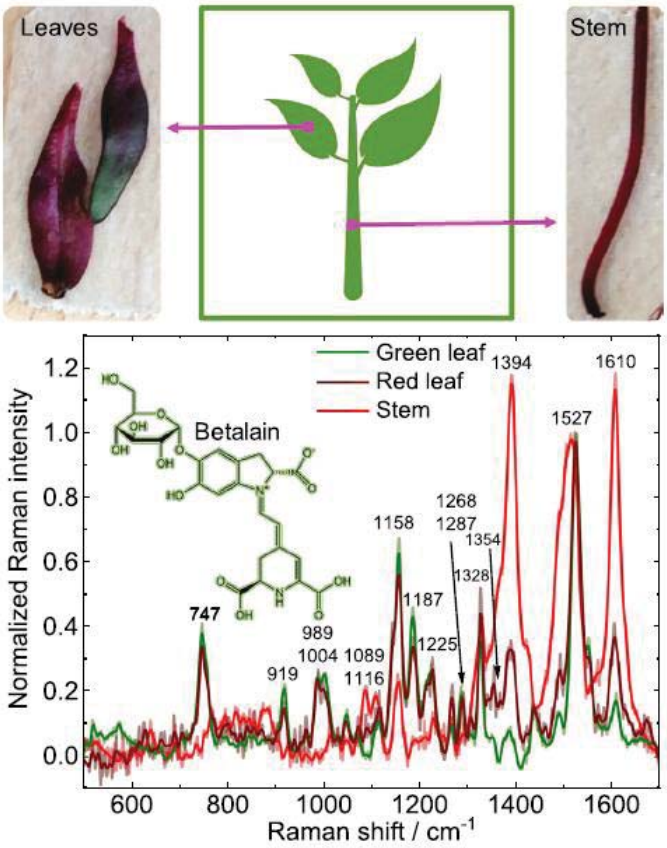

Рисунок 11 -Рамановский сигнал с пиками, характеризующиебеталанин[8].

В растениибеталаинвстречается вместе с бетаксантином, желтым или оранжевым красителем. Среднееколичество беталаинов составляет около 1% от массы тела. Несмотря на относительно низкую концентрация в растениях, беталаин демонстрирует сильный рамановский сигнализ-за высокого оптического поглощения [8].

1.4 Патентный обзор.

1.5.1 G01N 21/64 (2006.01) – способ дистанционного определения функционального состояния фотосинтетического аппарата растения.

Предлагаемый способ кроме дистанционного определения содержания хлорофилла дополнительно решает задачу дистанционного определения фотосинтетической активности растения.

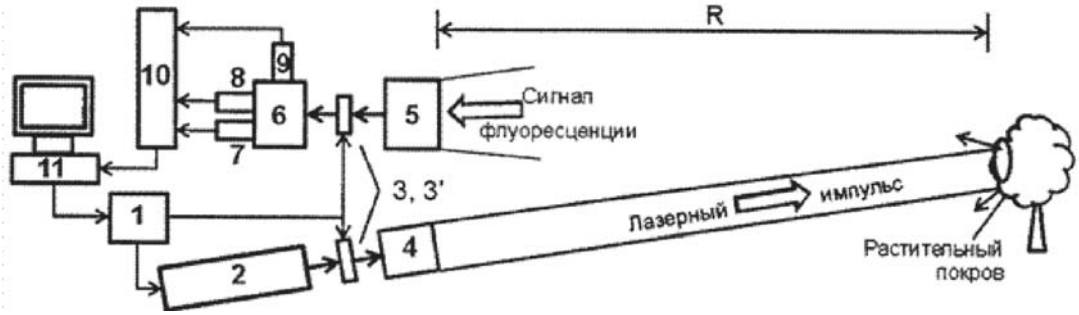

Рисунок 12 - Устройство детектора флуоресценции [14]

Изобретение относится к исследованию материалов с помощью оптических средств и может быть использовано в экспериментальной биологии и лесном хозяйстве. Принцип действия установки основан на лазерном индицировании флуоресценции растения. В установке используется диодный лазер. В ночное время посылаются два разных лазерных импульсов. Использование установки в ночное время обусловлено тем, что в ночное время активируется процесс фотосинтеза только лазерным пучком, чтобы отследить флуоресценцию уже имеющегося хлорофилла. Первичный лазерный импульс длительностью 10 мкс посылается на исследуемое растение, причем импульс предварительно ослабляется. Интенсивность облучения составляет 1 мкмоль/м^2, такая интенсивность применяется для того,

чтобы не вызвать фотосинтез, затем принимают излучение флуоресценции. Затем вторым этапом посылают следующий лазерный импульс, который не подвергают ослаблению, интенсивность которого уже составляет более 2000 мкмоль/м2 с (> 480 Вт/м2) для измерения уровня флуоресценции Fm, а принятое излучение флуоресценции ослабляют перед спектральной селекцией до уровня регистрации отдельных импульсов фототока.по измеренным в двух этапах уровням флуоресценции F0 и Fm на длине волны 685 нм определяется максимальный квантовый выход первичного разделения зарядов в ФСII:kPI=(Fm-F0)/Fm;

где: kPI - максимальный квантовый выход первичного разделения зарядов в фотосистеме ФСП;

F0 - уровень флуоресценции хлорофилла при максимально открытых реакционных центрах в условиях адаптации фотосинтетического аппарата растения к темноте, когда фотосинтеза нет и он не активизируется;

Fm - максимальный уровень флуоресценции хлорофилла при полностью закрытых реакционных центрах под действием насыщающего импульса света в условиях адаптации фотосинтетического аппарата растения к темноте, когда фотосинтеза нет [14].

Данная исследовательская установка отличается от уже используемых вариантов следующими особенностями:

1) Для индицирования флуоресценции используется диодный лазер с управлением амплитуды модуляции импульсов.

2) Лазерный пучок проходит через коллиматор, что позволяет добиться малой расходимости и получить неизменную площадь поперченного сечения пучка.

Недостатком этого способа так же является неоднозначность спектров флуоресценции разных видов растений и их флуоресцентного отклика на стрессовые воздействия. Кроме того, получаемая информация о содержании хлорофилла столь же неоднозначно характеризует функциональное состояние фотосинтетического аппарата растения. Например, при увеличении

содержания хлорофилла может происходить как увеличение фотосинтетической активности, так и ее снижение при перераспределении энергии на усиление адаптационных механизмов на стрессовое воздействие. Наиболее объективным критерием функционального состояния фотосинтетического аппарата растения независимо от видовой принадлежности является его фотосинтетическая активность. Этот параметр не измеряется [14].

G01N 21/84 (2006.01) - устройстводляуправленияростомилисвойствами растений.

Изобретение предназначено для улучшения роста и продуктивных характеристик растения. С его помощью можно управлять параметрами от которых зависит развитие растения. С помощью многочисленных датчиков можно отслеживать состояние растения на всем вегетативном этапе, таким образом подбирается оптимальный режим облучения и микроклимата.

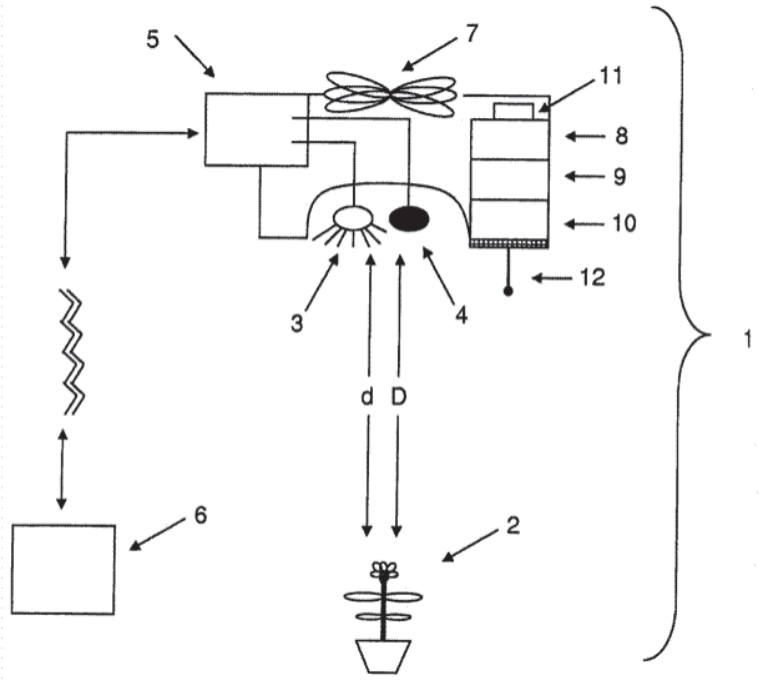

Рисунок 13 - Устройство для управления ростом растения [15]

В устройстве контролируются следующие параметры внешней среды:

1. Скорость ветра, или скорость перемещения воздуха, или перемещение воздушных масс вокруг листьев;

2. Оценка температуры листьев;

3. Интенсивность внешнего освещения;

4. Широкополосное начальное (INITIAL) или общее (TOTAL) световое излучение (от УФ до ИК) в отсутствие листьев или в присутствии широкополосного оставшегося (REMAINING) светового излучения растений;

5. Освещенность или ФАР (фотосинтетически активная радиация (400-700 нм));

6. Переменная флуоресценция хлорофилла (3 различных масштаба времени);

7. Многоспектральный коэффициент отражения растений /листьев под лампой;

8. Показатели другого газового датчика/датчиков (присутствие или отсутствие газа и его концентрация, скорость увеличения);

9. Температура в зоне выращивания.

Устройство содержит по меньшей мере один светоизлучающий прибор, такой как светоизлучающий диод, предназначенный для освещения по меньшей мере одной части растения, по меньшей мере один светочувствительный датчик для измерения света, идущего от указанной по меньшей мере одной части растения, средства передачи информации, предназначенные для облегчения связи между указанным по меньшей мере одним светочувствительным датчиком, по меньшей мере одним светоизлучающим прибором и процессором. Процессор с помощью средств передачи информации считывает данные, поступившие от указанного по меньшей мере одного датчика, генерирует управляющий сигнал на основе полученных данных и исходной информации и затем на основе указанного управляющего сигнала с помощью средств передачи информации осуществляет управление указанным по меньшей мере одним светоизлучающим прибором для обеспечения улучшения роста и свойств

растения. Светочувствительный датчик выполнен с возможностью контроля биохимических свойств растения путем измерения интенсивности падающего света в сочетании с измерением коэффициента отражения и/или световой флуоресценции. Процессор выполнен с возможностью изменения и улучшения биохимических свойств растения [15].

A01G 7/04 (2006.01) оптический способоценкифункциональногосостояния растений.

Изобретение относится к области экспериментальной биологии, растениеводству, сельскому и лесному хозяйствам. В данном способе регистрируют динамику изменения светорассеяния в среде, содержащей хлорофилл. Данные измерения проводятся с использованием монохроматического излучения на длинах волн 460-480 нм и 650-660 нм первого и второго максимума поглощения хлорофилла соответственно. Сначала проводят засветку на первом максимуме поглощения хлорофилла (475 нм) на протяжении 30 секунд с плотностью мощности 600 Вт/м2. После первой засветки включался источник красного излучения (655 нм) с плотностью мощности 4200 Вт/м2, экспонирующий ту же самую зону листа в течение последующих 120 секунд. О фотосинтетической активности и устойчивости к фотодеструкции судят по величине и знаку показателей α и β, которые рассчитываются по формулам: $I_{01}t^a$и $I_{02}t^b$, где |α| - скорость изменения интенсивности светорассеяния в течение засветки оптическим излучением синей области спектра ; I_{01} - средняя интенсивность светорассеяния в первые 1-3 секунды засветки оптическим излучением синей области спектра ; |β| - скорость изменения интенсивности светорассеяния в течение засветки оптическим излучением красной области спектра ; I_{02} - средняя интенсивность светорассеяния в первые 1-3 секунды засветки оптическим излучением красной области спектра ; t - текущее время; при этом чем выше значение модулей данных показателей при отрицательном знаке, тем выше фотосинтетическая активность и устойчивость к фотодеструкции, и чем выше

значение модулей показателей α и β при положительном знаке, тем слабее фотосинтетическая активность и устойчивость к фотодеструкции [16].

A01G 7/00 (2006.01) – Оптический способ оценки устойчивости растений к фотоингибированию и фотодеструкции.

Оптический способ оценки устойчивости растений к фотоингибированию и фотодеструкции, включающий измерение оптических показателей фотосинтезирующих тканей растений и плодов до и после светового воздействия, отличающийся тем, что процесс облучения и измерения совмещают и в качестве оптического показателя используют динамику светорассеяния небольшого участка фотосинтезирующей ткани растения в процессе засветки интенсивным монохроматическим оптическим излучением синей или красной области спектра, при этом об устойчивости растений к фотоингибированию судят по параметру УФИ=$dA_{cn} \cdot T_{cn}$, где $dA_{cn}=(I_{max}-I_{min})/I_{min}$- относительная амплитуда спада интенсивности светорассеяния начального этапа засветки, T_{cn} - длительность спада, а об устойчивости к фотодеструкции - по параметру УФД=T_n - длительность времени с начала засветки до момента подъема интенсивности светорассеяния [17].

1.5 Выводы по главе.

В ходе проведения литературного обзора была получена необходимая информация, объем которой достаточен для того чтобы приступить к исследованиям. Изучен принцип исследований подобного рода, понимание которого дает возможность разработки и обоснования собственной методики исследований.

На данный момент существует множество методик, позволяющих отследить и оценить различные процессы происходящие в организме растения, что в последствие даст возможность регулировать их.

Отслеживание состояния растений может проводиться в фитотронах – специальных установках для моделирования условий выращивания растений. [3]. Такой вариант позволяет непосредственно отследить и понять механизм

реакции растения на различные изменения внешних условий, в данном случае параметров освещения. Но этот вариант исследования является очень затратным по времени из-за скорости роста растений. Эксперименты будут вестись продолжительное время, что влечет за собой некоторые ограничения и неудобства.

Другой же вариант — это отслеживание изменения характеристик люминесценции в зависимости от параметров внешней среды. Изменение внешних условий поводит к изменению характеристик люминесценции растения. Видна тенденция и динамика этих изменений, но на данный момент нет четкой зависимости влияния внешних условий напараметры люминесценции.Таким образом исследования, представленные в данной работе, дадут возможность разработки методик по оцениванию состояния растений с помощью люминесценции и в последствии подбора оптимального спектрального состава освещения.

2.Методика эксперимента.

Вещества способны излучать свет под действием нагрева, а также в результате люминесценции. По определению люминесценция - это спонтанное излучение радиации электронно- или вибрационно- возбужденными молекулярными частицами или вибрационно-возбужденными, но не находящимися в тепловом равновесии с окружающейсредой молекулярными частицами. Люминесценция как процесс принципиально отделен от теплового механизма излучения. Люминесценция может быть вызвана разными способами, будь то химическая реакция – хемилюминесценция или при протекании электрического тока – электролюминесценция. Так или иначе, эти процессы вызваны переводом молекулы вещества в возбужденное состояние. Часть энергии возбужденноймолекулы расходуется на колебательные движения ядер и поступательное движение молекулрастворителя, т.е. рассеивается в тепло и молекула релаксирует до самого низкоэнергетическоговибрационного уровня электронно-возбужденного состояния. Как правило это синглетно возбужденные молекулы, испускание света которых происходит при обратном переходе с возбужденного S_1 состояния в основное S_0.[2, 3] Но также наблюдается излучательный переход и в триплетно – возбужденных молекулах. Этот процесс носит название фосфоресценция, отличная от обычной люминесценции временем свечения, также этот процесс называют замедленной флуоресценцией.

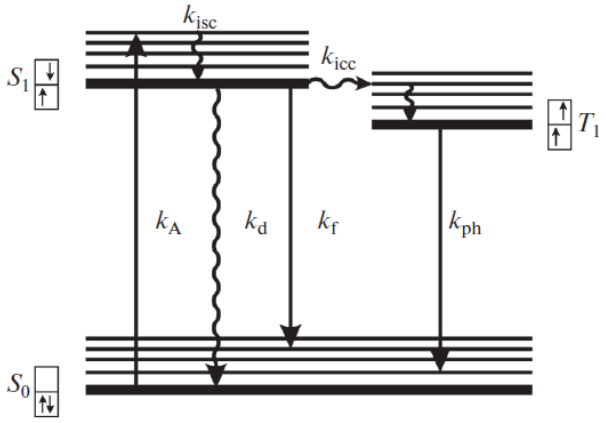

Рисунок 14 - Электронные и вибрационные энергетические уровни молекул, и переходы между ними [7]

Таким образом используя и анализируя эти два вида люминесценции можно многое узнать о ФСА растения, а, следовательно, и о его состоянии.Как правило основным параметром растения является скорость фотосинтеза, которая зависит от множества внешних факторов, будь то спектральный состав освещения или условия питания растения. Основным пигментом в практически всех оксигенныхфотосинтезирующих организмах является молекула хлорофилла *a*. Флуоресценция хлорофилла*a* является вторичным излучением световой энергии. Но не весь свет используется для фотосинтеза, часть теряется в виде флуоресценции, по интенсивности которой можно судить о различных процессах, происходящих в организме растения.

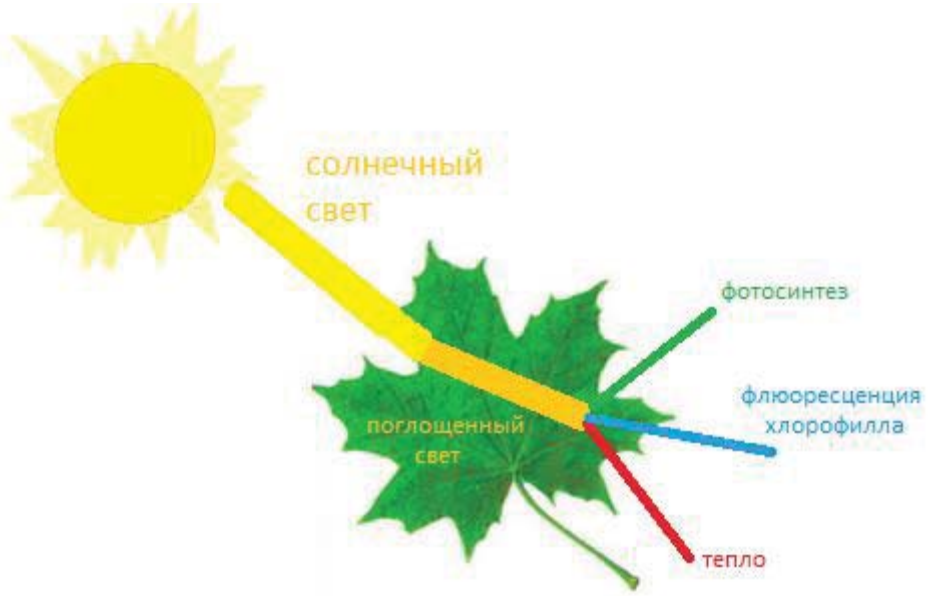

Рисунок 15 - Распределение световой энергии в листе растения

Интенсивность флуоресценции зависит от множества факторов, которые вызывают ее тушение. Например, часть энергии может расходоваться в тепло, а это несвязанный с фотохимической реакцией процесс, такое тушение называется «нефотохимическим». А та часть, которая используется в фотохимических реакциях носит название «фотохимического тушения»[7], являясь основным параметром, который прямо влияет на квантовый выход люминесценции и связывает его с процессами внутри ФСА растения.

2.1 Переменная флуоресценция.

Дополнительная флуоресценция,излучаемая фотосинтезирующими объектами ипревышающая уровень минимальной флуоресценции называется «переменной флуоресценцией».[7]

Флуоресценция хлорофилла*a* является мерой неиспользованных в процессе фотосинтеза фотонов. При нормальной и эффективной работе флуоресценция остается на достаточно низком уровне, а любое нарушение ФСА и снижение его эффективности ведет к резкому увеличению флюоресценции [2, 3, 7]. При адаптации растения в темноте и последующим его освещением актиничным светом происходит изменение интенсивности флюоресценции во времени. Флюоресценция приобретает характерную динамику, которая называется индукцией переменной флуоресценции или кривой Каутского.

КК можно разделить на две фазы – быструю фазу нарастания уровня флуоресценции и медленную фазу затухания флуоресценции и возврата ее к прежнему стационарному уровню. Процессы нарастания и затухания как правило многофазны и имеют характерные участки на кривой. Форма фотоиндуцированных переходов индукционной кривойфлуоресценции отражает кинетику процессов вфотосинтетическом аппарате, влияющих на квантовый выход флуоресценции.

Кривая несет в себе достаточно много информации. Условно ее можно поделить на ряд параметров, анализ которых даст четкое представление о процессах, происходящих в ФСА растения. В первую очередь это скорость фотосинтеза, ведь любые отклонения будь то физиологические или отклонения внешних условий непременно влияют на эффективность фотосинтеза, что непременно сказывается на квантовом выходе люминесценции.

Рассмотрим КК подробнее.

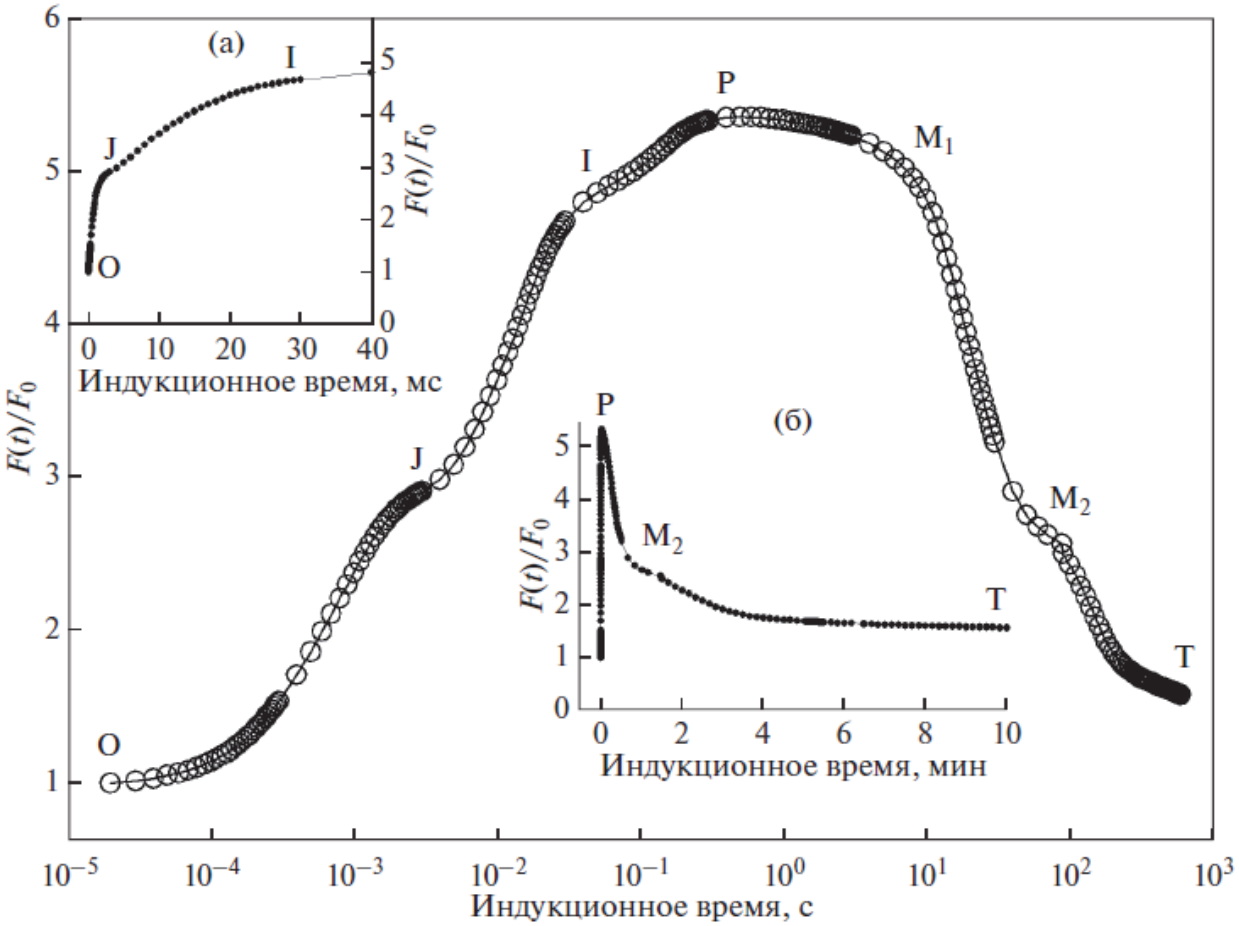

Рисунок 16 -Индукционные кривые переменной флуоресценции адаптированных к темноте листьев[7]

На вставках показаны кинетики флуоресценции различных участков основного графика. Верхний график отражает динамику изменения флуоресценции в первые 40 мс. Нижний график показывает, как меняется уровень флуоресценции на протяжении 10 минут[7].

Как говорилось ранее график несет в себе информацию о флуоресценции. В графике различают такие параметры как:

F_0 – начальная флуоресценция;

$F_м$ – максимальная флуоресценция;

$F_v = F_м – F_0$ - переменная флуоресценция;

$F_v/F_м$ – максимальная квантовая эффективность ФС II;

t_{FM} – время достижения $F_м$;

A_M – площадь поверхности над индукционной кривой флуоресценции хлорофилла.

Рассмотрим эти параметры в отдельности:

F_0–начальная флуоресценция объектов, адаптированных к темноте.

Начальная флуоресценция — это первая реперная точка на графике индукции переменной флуоресценции.Этот параметр является индикатором энергетических потерь при передаче энергии возбуждения от ССА к реакционным центрам. После адаптации в темноте, в момент, когда все РЦ открыты и готовы принимать энергию, исследуемый образец растения облучается актиничным светом небольшой интенсивности порядка нескольких десятков мкмоль/м^{2}с. Высокие значения F_0указывают на менее эффективную передачу энергии возбуждения междупигментными молекулами в светособирающейантенне ФС II, например, при тепловом или солевом стрессе [7].

F_M – максимальная флуоресценция

Данный параметр определяется после адаптации растений к темноте. После чего исследуемый образец освещают мощным импульсом порядка нескольких тысяч мкмоль/м^2 насыщающего света длительностью от 1с до 2с. Таким образом насыщаютсяфотохимические реакции в реакционном центре ФС II. Вэтих условиях все молекулы пластохинона в ФСII восстановлены, все реакционные центры фотосистемы II временно закрыты и не могут принимать дополнительные электроны [7]. При насыщающем импульсе $F_м$ зависит от содержания хлорофилла в тканях исследуемого растения. Уменьшение$F_м$указывает на то, что исследуемый фотосинтезирующий объект находится в состоянии стресса,а это означает, что не все акцепторы электроновФС II могут быть полностью восстановлены.

t_{FM}– время достижения максимального уровня флуоресценции хлорофилла.

Этот параметр показывает насколько эффективно передается энергия от ССА к ФСI и ФСIIи к РЦ. Измерение этого параметра проводятся при мощной засветке, для получения $F_м$. Время за которое флюоресценция хлорофилла достигает максимального уровня равно примерно 500 – 800 мс. Под влияниемстрессовых факторов, которые замедляют транспорт высокоэнергетических электронов от реакционного центра к пластохинонам, этот параметрзначительно увеличивается [7].

$F_v = F_M – F_0$ – переменная флуоресценция.

Измерения данного параметра производятся также после темновой адаптации растения. Представляя собой разность двух уровней флуоресценции максимального и начального, этот параметр показывает эффективность переноса возбуждения от ФСIIк РЦ. Снижение этого параметра указывает на уменьшение эффективности ФСII, а, следовательно, рассеивание энергии возбуждения в виде тепла. Такие события могут быть вызваны разрушением тилакоидов под действием стрессовых факторов окружающей среды, таких как высокая или низкая температура [7].

$A_м$ – площадь над кривой индукции флуоресценции хлорофилла.

Чем быстрее рост уровня флуоресценции, тем меньше площадь над кривой индукции. Этот параметр показывает скорость восстановления акцепторов электронов, что также отражает активность ФС, и соответственно содержание активного хлорофилла*а* в исследуемом объекте [7].

F_T – стационарная флуоресценция.

Данный параметр измеряется при постоянном влиянии актиничного света. При этом перед измерениями растение адаптируются к темноте. Динамика достижения стационарной флуоресценции отражает эффективность процесса фотосинтеза, другими словами, как быстро растение выходит на рабочий режим, при котором все РЦ открыты и активно потребляют световую

энергию без потерь. По этому параметру можно судить о правильности подбора интенсивности освещения [7].

$F'_м$ –максимальная флуоресценция хлорофилла *a* в листьях, адаптированных к свету.

При измерении данного параметра применяются мощные вспышки света на фоне актиничного света. Освещаются растения вспышками для частичного насыщения РЦ. С помощью этого параметра можно вычислить ту часть флуоресценции тушение которой происходит в результате фотохимических реакций. Таким образом можно точнее отследить куда уходит энергия в свет или в нефотохимические процессы.

Таким образом при анализе флуоресценции и причин изменения ее уровня можно понять в результате чего вызвано это изменение, а точнее в результате процессов тушения. Есть два вида тушения люминесценции: фотохимическое и нефотохимическое [3, 7]

Нефотохимическое тушение — это те процессы, которые производят тепло в результате преобразования световой энергии во время фотосинтеза. Данные процессы имеют место быть тогда, когда лист растения получает много света (тогда уместно говорить о фотодеструкции или фотоингибировании, т. е. разрушения РЦ под действием света) и в те моменты, когда растение повреждено или находится в стрессе.

Фотохимическое тушение происходит тогда, когда РЦ насыщены. И изменение уровня флюоресценции вызвано закрытием РЦ за счет насыщения фотосинтеза актиничным светом.

Для того чтобы измерить уровень флюоресценции хлорофилла, необходимо отделить измеряемый свет от активного, который возбуждает флюоресценцию. Для измерения флуоресценции хлорофилла используют спектрофлуориметры. На сегодняшний день существует два основных способа измерения флуоресценции, это прямое измерение и модулированная флюоресценция [7].

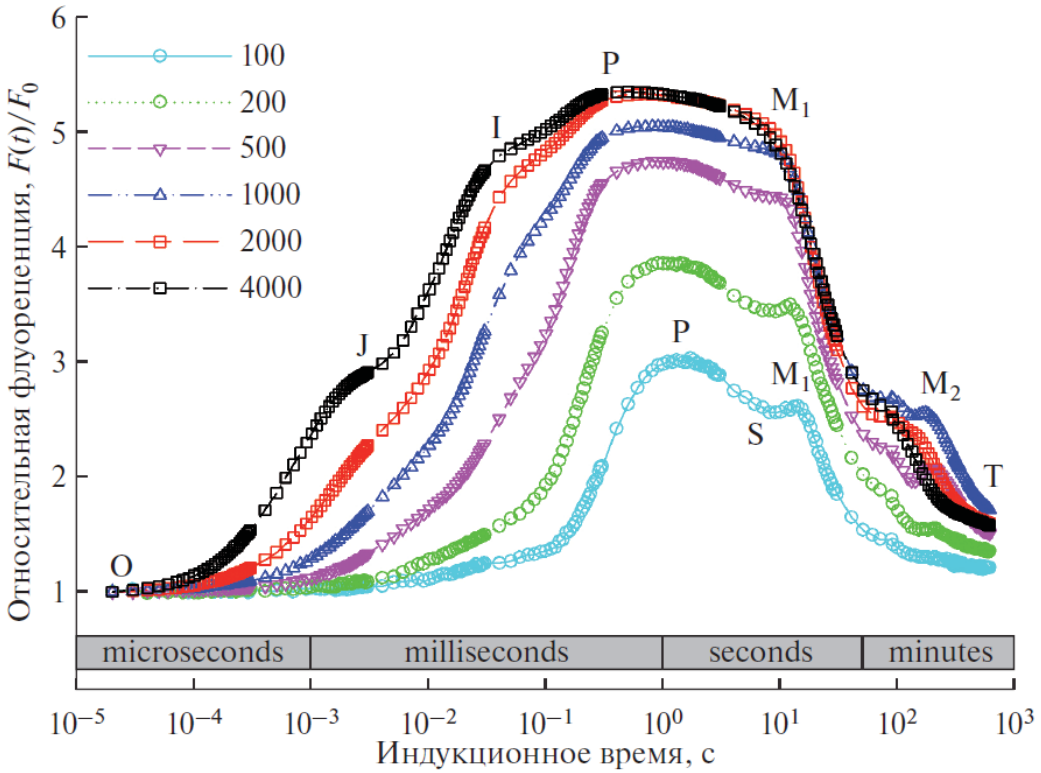

Рисунок 17 - График люминесценции хлорофилла измеренной прямым способом [7]

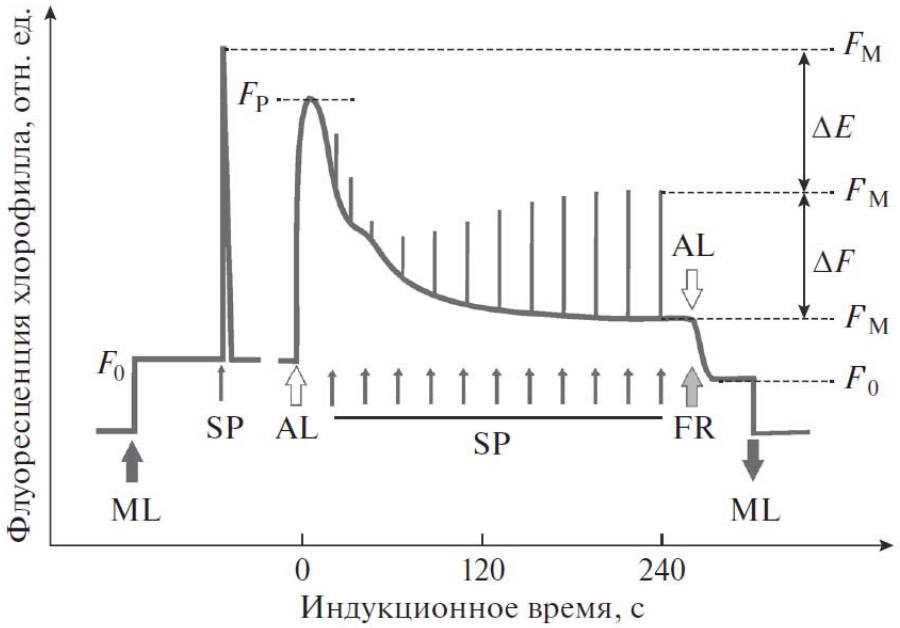

Рисунок 18 - График люминесценции хлорофилла измеренной методом амплитудной модуляции [7]

Эти два метода позволяют получить индукционные кривые флуоресценции и кинетики на различных участках этих кривых. Однако,

метод с амплитудной модуляцией более надежен и технологичен, ведь он позволяет производить измерения кинетики в присутствии различных засветок. Благодаря модуляции спектрофлуориметр улавливает только сигнал флуоресценции, возбуждаемой модулированный светом.Именно этот сигнал флуоресценции усиливается в

электронном виде, а другие, не импульсные сигналы, игнорируются.

2.1.1 Прямое измерение флюоресценции.

Данная методика ведется с постоянной подсветкой образца светом на длине волны возбуждения флуоресценции. Как правило это 420 – 670 нм, эти длины волн достигаются использованием светодиодов или оптических фильтров. Спектрофлуориметр регистрирует свет флуоресценции на длинах волн равных 680 – 760 нм.В конце фазы индукции Фл хлорофилла (достижения постоянного уровня *F*T) при непрерывном освещенииобразца флуориметр измеряет стационарную интенсивность флуоресценции хлорофилла. Измерение предусматривает предварительную адаптацию исследуемых растений в темноте в течении 20 – 30 минут.

Для применения данного метода и его отработки, необходимо определиться с допустимыми параметрами будущей установки. А именно в нашем случае при конструировании стенда для исследований необходимо было спроектировать его таким образом, чтобы исследуемое растение оставалось живым, исследования проводились без срывания листьев, для удовлетворения условий исследования неинвазивным способом. Установка должна иметь грубую и точную подстройку значений тока и напряжения для питания светодиодов. Также для корректной работы осветительной установки необходимо иметь теплоотводящий радиатор для светодиодной платы.

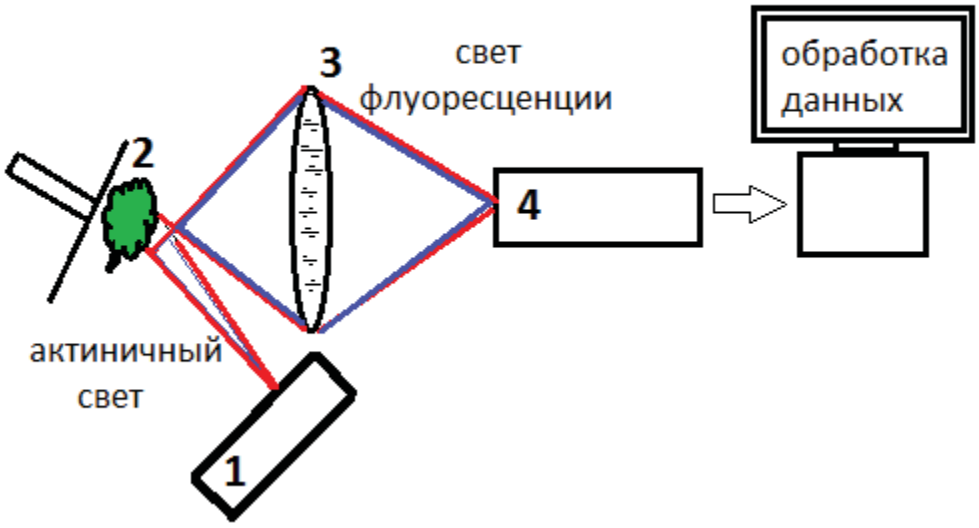

Рисунок 19 -Схема установки. 1) Источник света; 2) исследуемый образец; 3) собирающая линза; 4) монохроматор

Составные части:

1. Осветительная установка – предназначена для облучения образца светом с необходимыми характеристиками такими как: облученность ФАР, спектральный состав света, время засветки. Осветительная установка обеспечивает засветку в нескольких режимах облучения, которые представлены в таблице:

Таблица 1 – Зависимость облучательной способности и напряжения красного светодиода от тока.

Ток, А	Напряжение, В	Облученность, Вт/м^2	Облученность в энергетических единицах, мкмоль/м^2
0.1	3.645	3.47	18.8
0.2	3.855	7.06	38.3
0.3	4.023	10.8	58.3
0.4	4.201	14.1	76.2
0.5	4.399	18.1	97.2
0.6	4.541	21.1	114.2
0.7	4.645	24.3	131.7

Таблица 2 - Зависимость облучательной способности и напряжения синего и белого светодиодов от тока.

Ток, А	Напряжение, В	Облученность, Вт/м^2 (красн.)	Облученность, Вт/м^2 (син.)	Облученность, Вт/м^2 (зел.)	Облученность ФАР мкмоль/м^2 (красн.)	Облученность ФАР мкмоль/м^2 (син.)	Облученность ФАР мкмоль/м^2 (зел.)
0.1	5.575	0.519	2.42	1.07	2.7	9.3	5
0.2	5.786	1.05	4.65	2.08	5.6	17.8	9.6
0.3	5.984	1.59	6.8	3.11	8.5	26	14.4
0.4	6.174	2.04	8.69	3.97	10.8	33.2	18.4
0.5	6.341	2.46	10.5	4.77	13	39.9	22.1
0.6	6.505	2.85	12.1	5.54	15.1	46.3	25.6
0.7	6.561	3.34	13.8	6.43	17.8	52.6	29.7

Таблица3 - Зависимость облучательной способности и напряжения красного, белого и синего светодиодов от тока.

Ток, А	Напряжение, В	Облученность, Вт/м^2 (красн.)	Облученность, Вт/м^2 (син.)	Облученность, Вт/м^2 (зел.)	Облученность ФАР мкмоль/м^2 (красн.)	Облученность ФАР мкмоль/м^2 (син.)	Облученность ФАР мкмоль/м^2 (зел.)
0.1	9.23	3.94	2.56	1.19	21.4	9.8	5.5
0.2	9.652	7.92	5	2.4	43	19.1	11.1
0.3	10.036	11.8	7.39	3.56	64.1	28.2	16.5
0.4	10.392	15.5	9.24	4.48	84.1	35.3	20.8
0.5	10.739	19.2	11.5	5.61	104.8	44.1	25.9
0.6	11.062	22.5	13.1	6.39	121.4	49.8	29.5
0.7	11.292	26	14.5	7.11	141.9	55.3	33

В состав осветительной установки входят:

1) Фото затвор – в основе конструкции лежит советский фотоаппарат «Зенит ЕМ», затвор которого используется для управления временем засветки.Механический затвор может работать в нескольких временных режимах спуска: 1/30, 1/65, 1/250, 1/500 секунды, а также в режиме постоянной засветки.

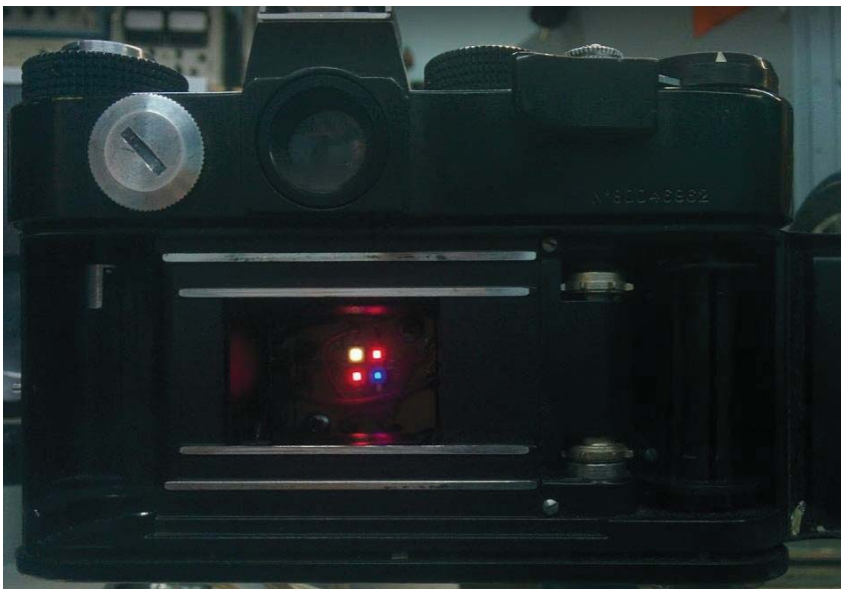

Рисунок 20 - Фотоаппарат со снятой крышкой

2) Светодиодный облучатель – состоит из четырех светодиодов: белогоCree XTEAWT, синего Cree XTEARY и двух красныхCree XPEPHR, мощностью два и один ватт соответственно.

3) Плата – алюминиевая пластина с нанесенным на него диалектическим покрытием и электропроводным слоем меди. Алюминий обеспечивает эффективный теплоотвод от светодиодов.

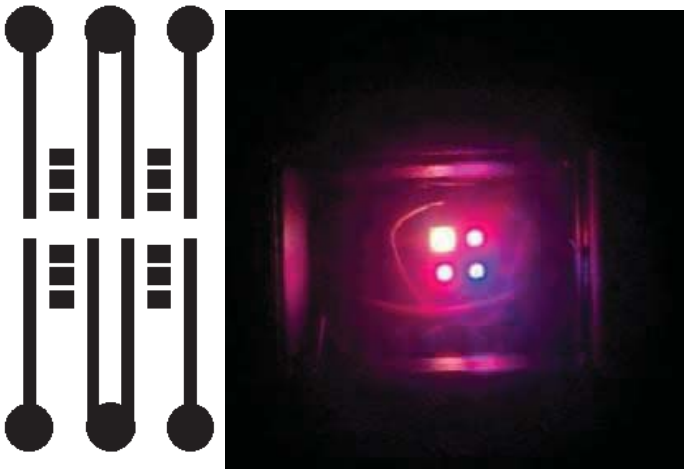

Рисунок 21 - Светодиодная плата: чертеж (слева), с работающими светодиодами (справа)

Запитана осветительная установка от двухканального блока питания постоянного тока – GWinstekGPD-X303, который обеспечивает работу светодиодов в различных диапазонах тока и напряжения. Подстройка необходима для достижения различных режимов облучения путем изменения тока на тех или иных светодиодах.

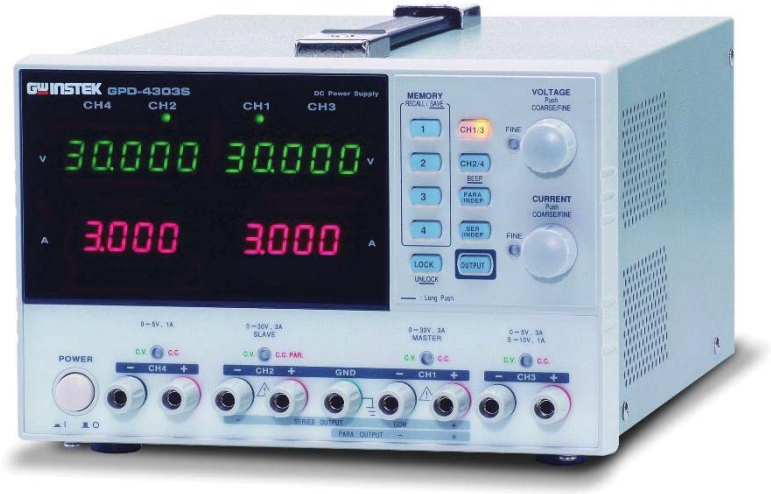

Рисунок 22 -Внешний вид блока питания

2. Держатель - в связи с условиями неразрушающего контроля была предложена идея использования прижимного механизма для удержания листа растения. Его механизм очень прост. Он состоит из двух планок, одна из которых можетдвигаться по вырезу, благодаря чему осуществляется прижимание листа.

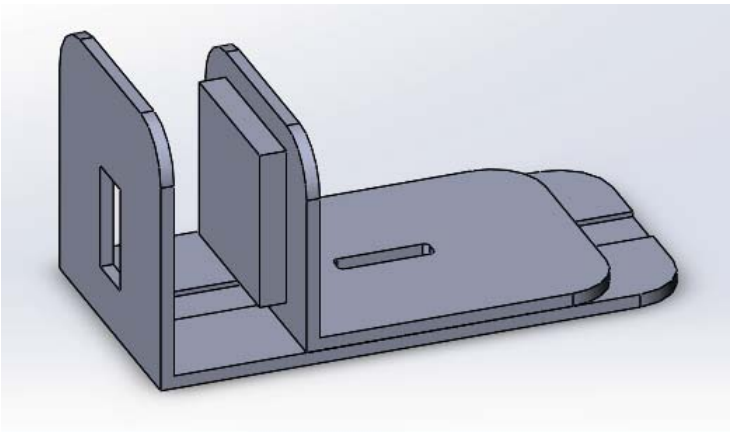

Рисунок 23 - Устройство держателя

3. Фокусирующая линзас фокусным расстоянием 200мм – собирает лучи, идущие от исследуемого образца в фокальной плоскости, щель монохроматора при этом устанавливается в фокальной плоскости.

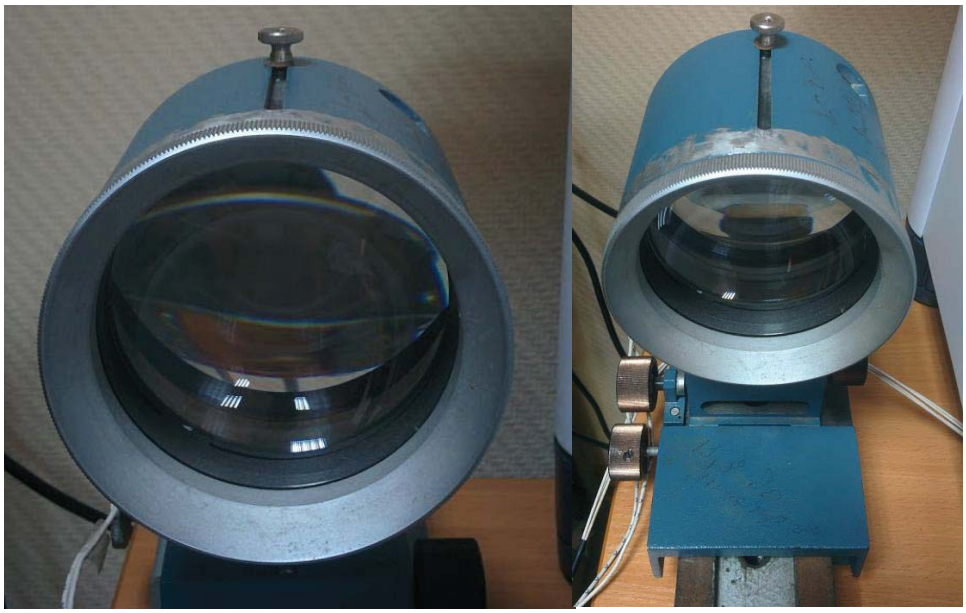

Рисунок 24 - Собирающая линза в составе установки

4. Монохроматор МДР 204 – предназначен для измерений спектров излучения и кинетических измерений. Устройство монохроматора предусматривает возможность непосредственного подключения к монохроматору внешней ЭВМ через последовательный порт RS232 для управления и регистрации спектров. Для работы с внешней ЭВМ используется программное обеспечение

Рисунок 25 - Монохроматор МДР 204 на оптическом рельсе

Таблица - 4Технические характеристики монохроматора:

Спектральный диапазон, нм	190 - 5000
Оптическая схема	Эберта-Фасти
Фокусное расстояние объектива, мм	300
Относительное отверстие	1/6
Размеры дифракционной решетки, мм	40x50
Ширина щелей, мм	0-4
Количество выходных щелей	1
Обратная линейная дисперсия*, нм/мм	2,6
Разрешающая способность*	12000
Погрешность установки длины волны*, нм	0,5
Сходимость установки длины волны*, нм	0,1
Габаритные размеры, мм, не более	370x240x170
Масса, кг, не более	7.5

В результате была собрана экспериментальная установка, позволяющая отработать методику измерения флуоресценции хлорофилла, *a* способом прямой регистрации. Для апробации установки и подтверждения ее пригодности для ведения исследований флуоресценции, необходимо было получить кривую Каутского и выявить на ней характерные участки кинетики флуоресценции.

Настройка установки:

Прежде чем приступить к измерениям необходимо было настроить установку, а именно добиться необходимых параметров облучения на исследуемом образце растения. Необходимым условием было смешение всех цветов источника света. Для этого расстояние от выходного зрачка осветительной установки было подобрано так, чтобы освещенность на образце была не менее 200 мкмоль/м^{2}с, а размер пятна засветки незначительно отличался от диаметра выходного зрачка, при этом обеспечивалось смешение всех цветов источника света. При условии, что $d_{вых}$=15мм, пятно засветки этом получилось 30мм. Для достижения этого условия был использован спектрофотометр ТКА спектр. Он позволил измерить уровень облученности и зафиксировать спектральный состав, тем самым подтвердив выполнения необходимых условий.

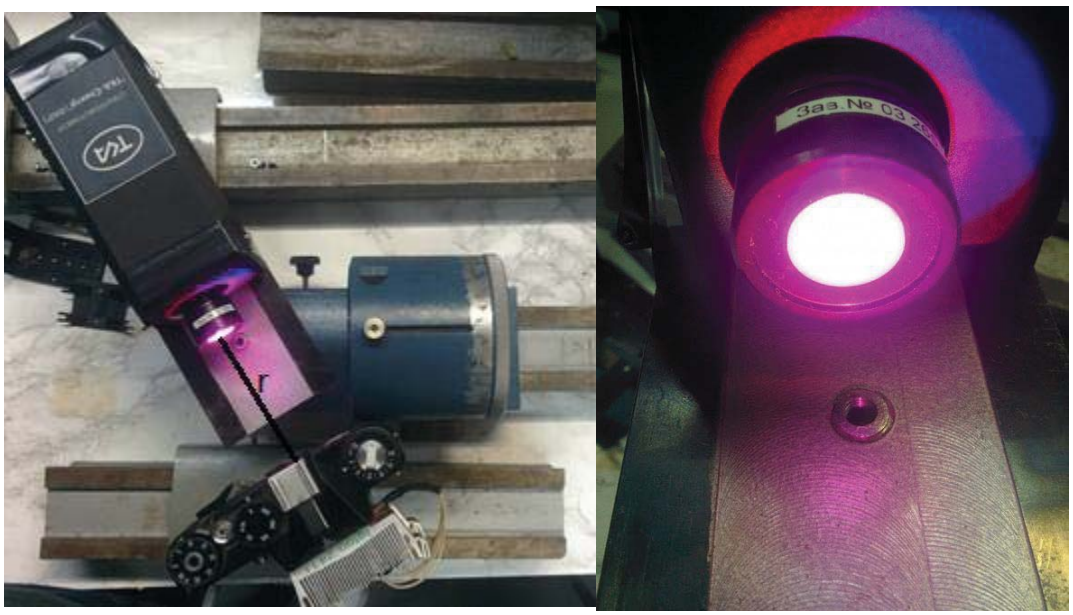

Рисунок 26 - Настройка осветительной установки с помощью спектрофотометра

Видно, что нарасстоянии r = 85ммдостигается необходимый уровень облученности и спектральный состав, что подтверждается показаниями, снятыми с помощью спектрофотометра «ТКА спектр»

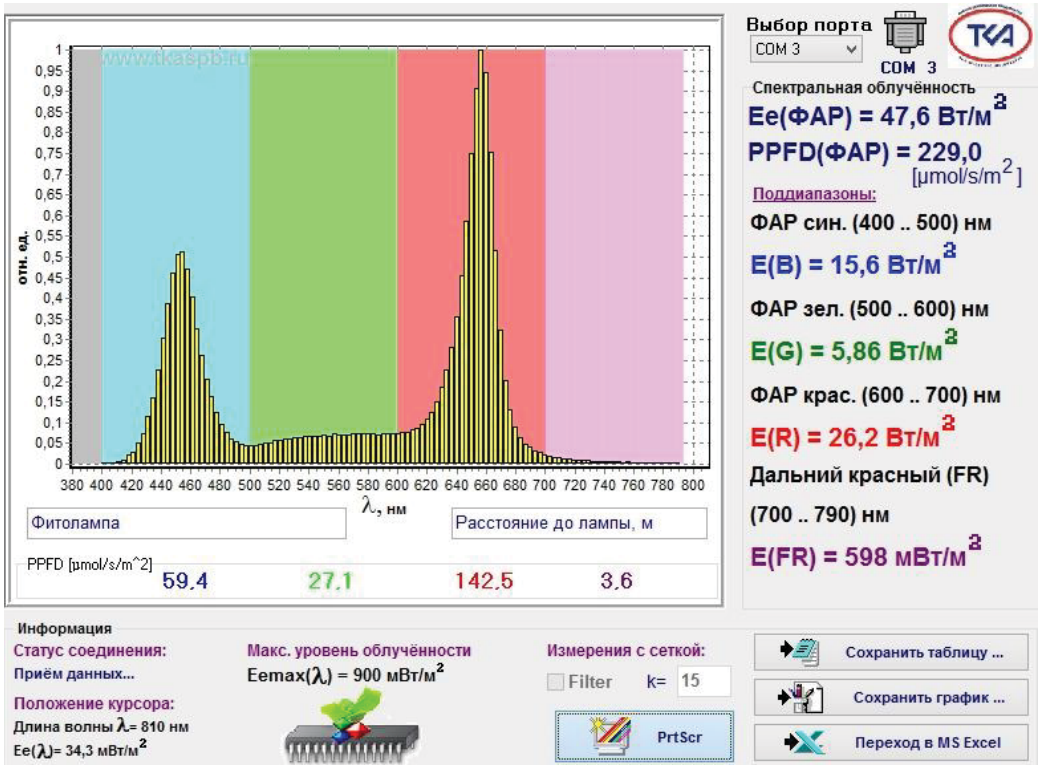

Рисунок 27 -Спектральный состав и облученность осветительной установки

Также данный размер пятна удовлетворяет условиям и в полной мере покрывает образец.

Измерения:

Для апробации и подтверждения работоспособности установки необходимым условием было добиться индукционной кривой флуоресценции хлорофилла. Для этого взяли образец растения (листок комнатного цветка антуриума) и измеряли кинетику флуоресценции. Возбуждение производилось на длине волны 430нм, щель 2.5.

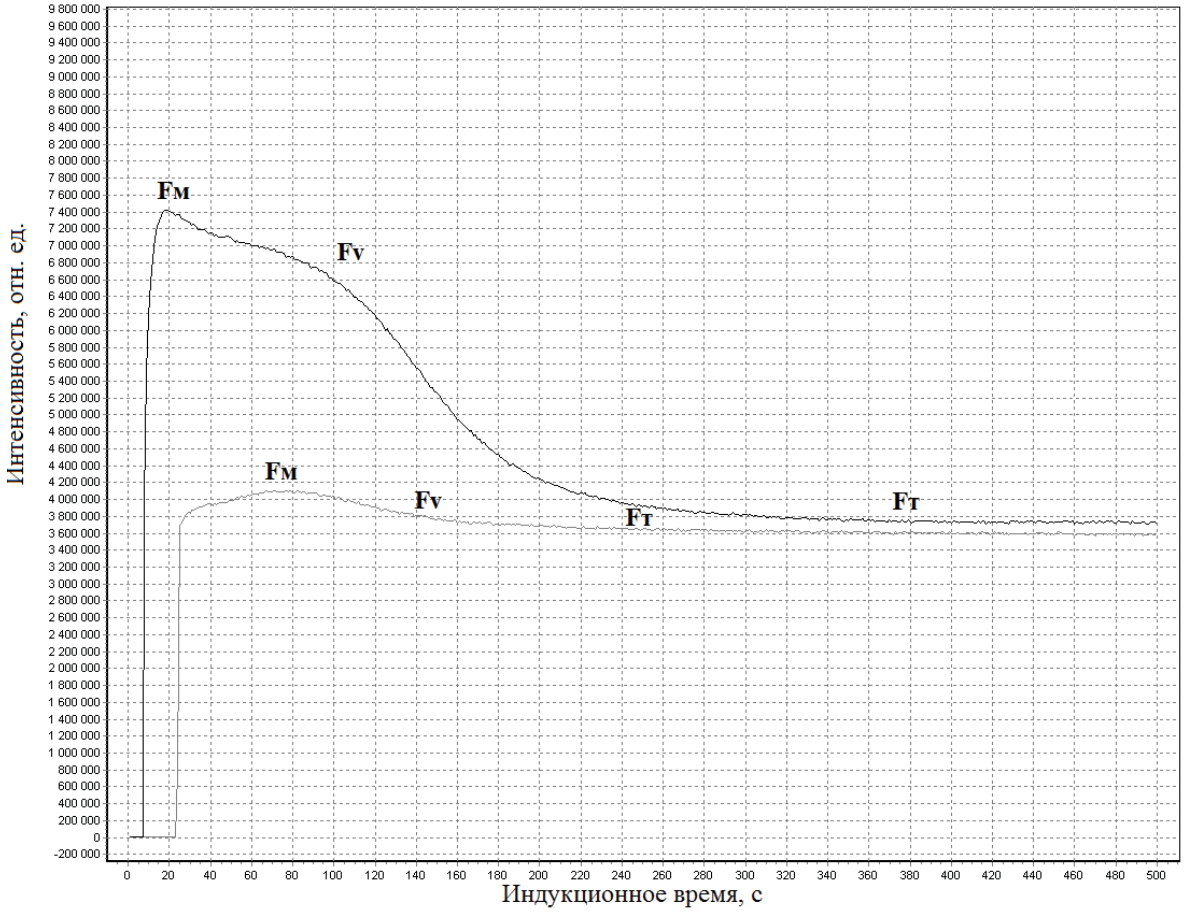

Рисунок 28 -Индукционная кривая переменной флуоресценции

На графике видны все характерные точки индукционной кривой флуоресценции, за исключением начального уровня флуоресценции F_0. Это вызвано относительно невысоким временным разрешением. Так как начальная флуоресценция измеряется за время порядка 10^{-5}с, а скорость открытия затвора равна 2 мс, то левая часть графика отрезается.

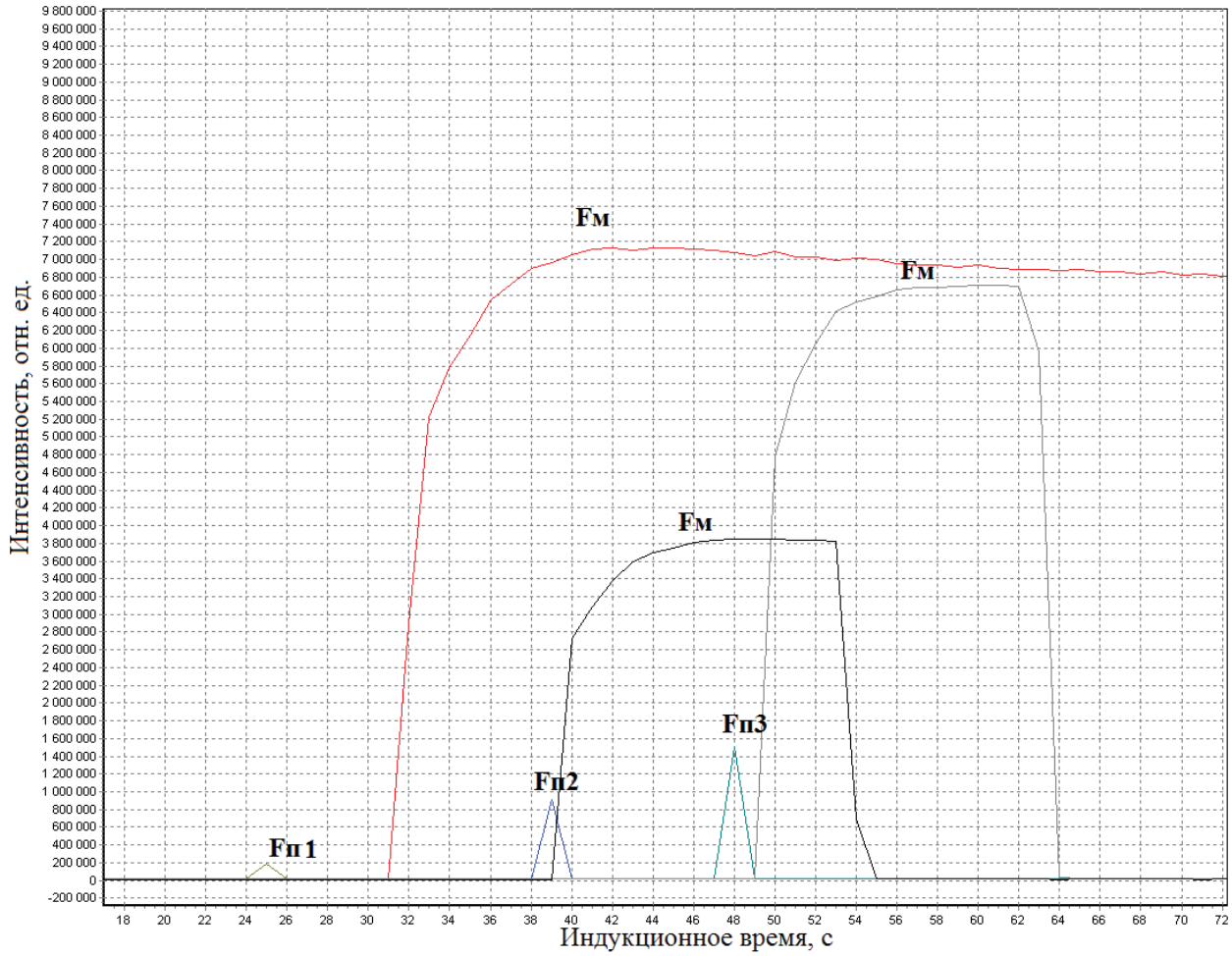

Рисунок 29 -Индукционная кривая при разном спектральном составе облучения

На данном графике проверялась возможность определения скорости нарастания уровня флуоресценции путем изменения скорости открытия затвора Fп – проверочная флуоресценция. Как показали замеры, сам прибор не обладает столь хорошим временным разрешением. А также проверялась возможность выявления максимального уровня флуоресценции при различном спектральном составе актиничного света.

2.1.2 Измерение флуоресценции методом амплитудной модуляции.

Применение технологии амплитудной модуляции позволит надежнее измерять начальную флуоресценцию. Так как измерительный луч света имеет такую низкую интенсивность, что неинициирует фотохимические реакции. При использовании системы импульсной модуляции измерение начинается

включением очень слабого импульсного луча модулированного излучения, который вызывает флуоресценциюхлорофилла. Это излучение очень слабое и не вызывает индукционные процессы в листьях, а возбуждение Фл хлорофилла происходитв основном путем потерь энергии при ее миграции по антенне и, следовательно, его значениеможно принять за начальную флуоресценцию F_0. Использование этого метода позволяет применять насыщающий луч, который вызывает процессы тушения люминесценции и как следствие расширяет возможности измерения флуоресценции. Как правило это относительно короткий импульс (0,8 – 1с) с интенсивностью облучения 10000 – 20000 мкмоль/м^{2}с [7].

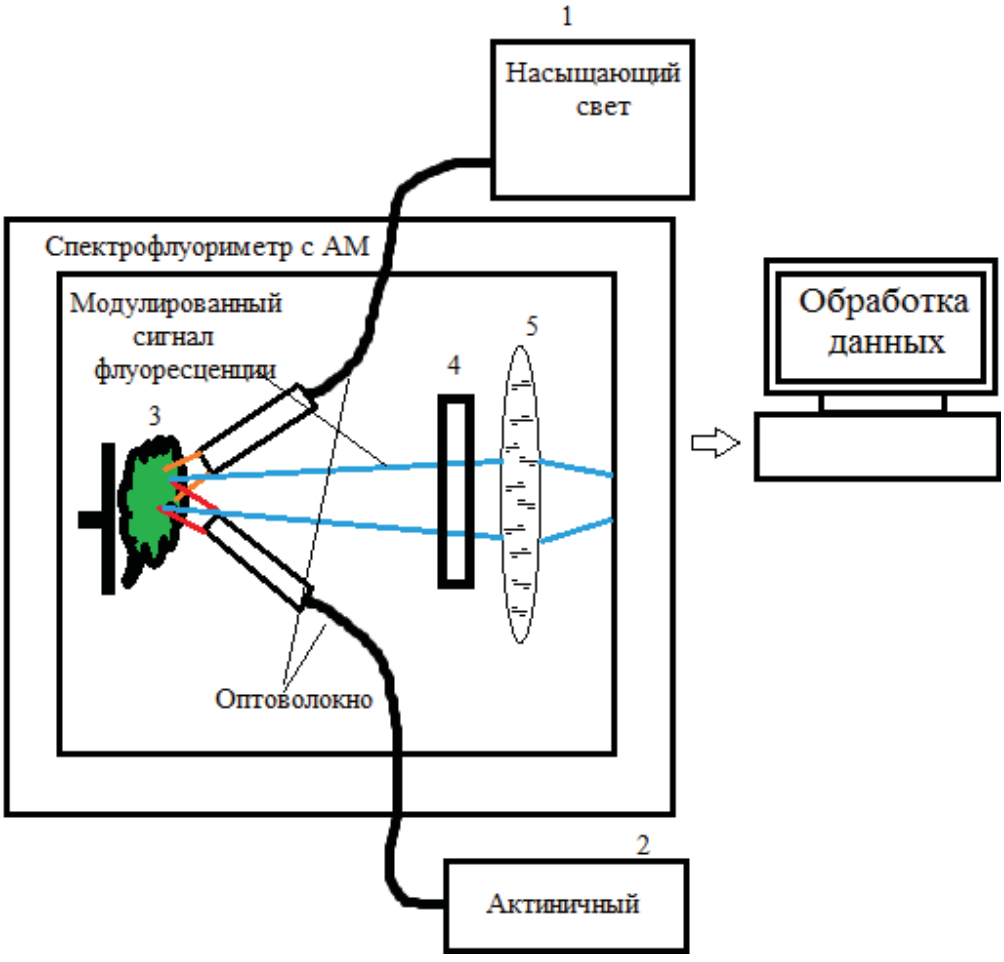

Рисунок 30 - Схема установки. 1 – источник насыщающего излучения; 2 – источник актиничного света; 3 – образец растения;4 – фильтр монохроматора; 5 – собирающая линза

Составные части установки:

1. Осветительная установка – в составе ИУ используются теперь два источника излучения, это насыщающий и актиничный свет. В качестве источника насыщающего света используется галогенная лампа мощностью 65 Вт. Возбуждающий свет генерируется по тому же принципу, как ив первой установке. Для удобства ввода излучения используется оптоволокно.
2. СпектрофлуориметрAgilentCaryEclipse

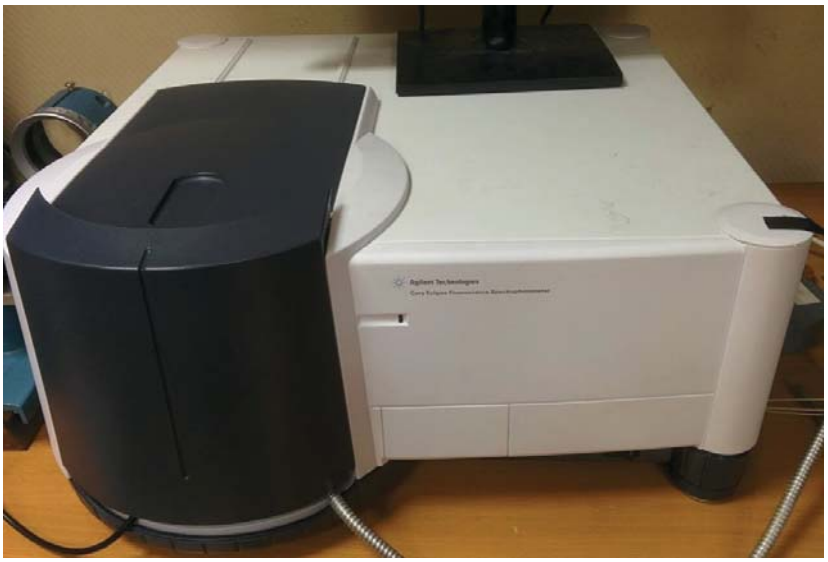

Рисунок 31 –Спектрофлуориметр CaryEclipse

Таблица 5 – технические характеристики спектрофлуориметра CaryEclipse

Источник света	пульсирующая Xe лампа
Ширина импульса	2 мкс
Эквивалентная мощность	75 кВт
Оптика	Шварцшильда
Монохроматоры	Черни-Турнера, 0.125 м
Дифракционные решетки	30 х 35 мм, 1200 линий/мм
Детекторы	два ФЭУ R298
Оптический диапазон	Возбуждение:200-900 нм, Эмиссия 200-900 нм
Спектральная ширина щели	1,5; 2,5; 5; 10 и 20 нм
Максимальная скорость сканирования	24000 нм/мин
Скорость сбора кинетических данных	4800 точек/мин
Время усреднения сигнала	Флуоресценция: 0,0125 ÷ 999 с, Фосфоресценция: 1 мкс ÷ 10с ,

	Био/Хемилюминесценция: 40 мкс ÷ 10с

Измерения:

В качестве образца использовалось о же растение, как и в варианте прямого измерения флуоресценции. В результате были получены графики флуоресценции хлорофилла от актиничного света и с использованием насыщающего излучения.

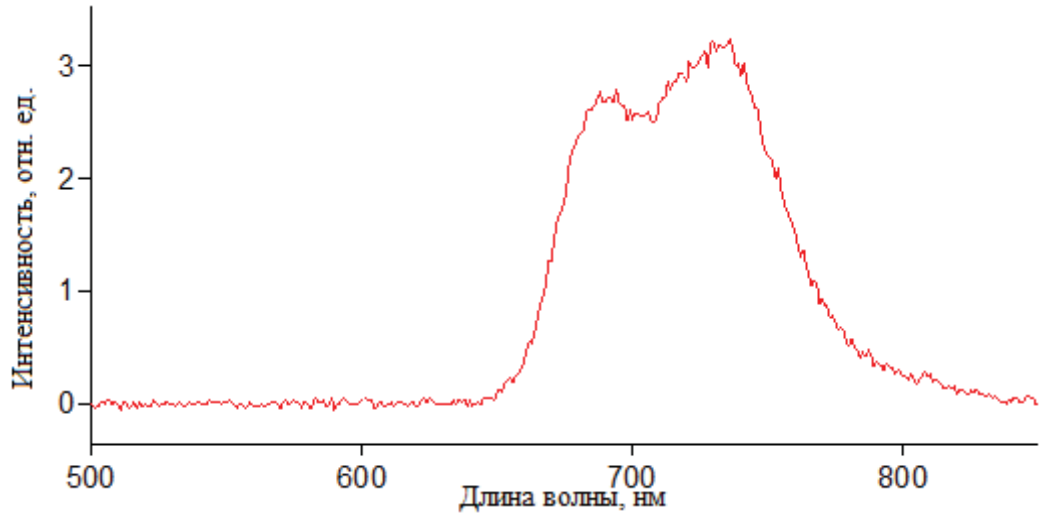

Рисунок 32 -Спектр люминесценции хлорофилла*a*

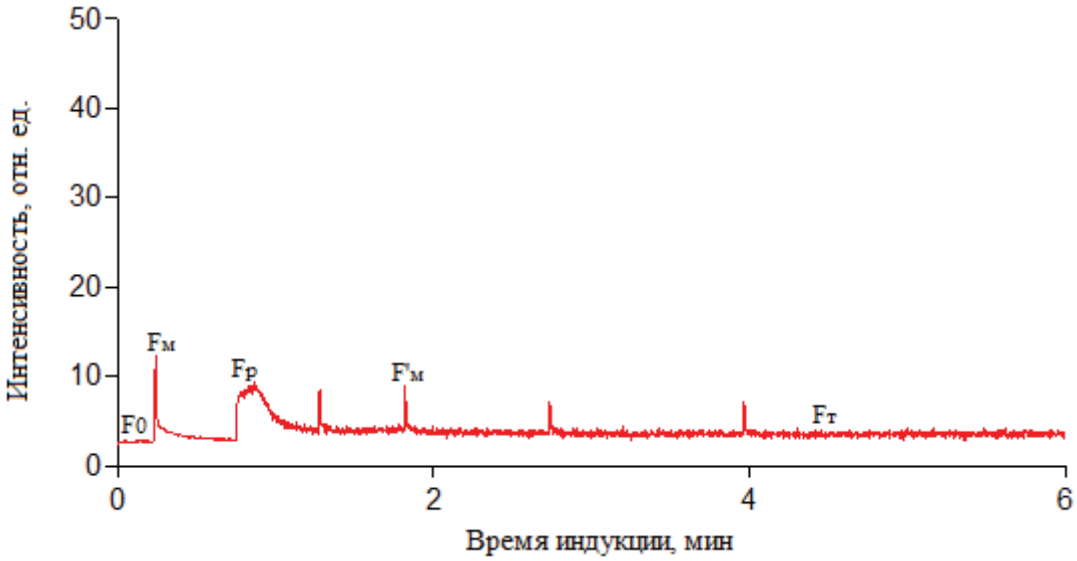

Рисунок 33 -Индукционная кривая

Прежде всего на графике четко видны характерные точки на КК. Очень просто отследить основные параметры кинетики флуоресценции такие как: максимальная и начальная флуоресценция полученные от насыщающего и

актиничного излучения (F_0, $F_м$и $F_р$), стационарный уровень флуоресценции ($F_т$).По данному графику можно судить о состоянии исследуемого растения. Так как уровень $F'_м$ниже максимальной флуоресценции хлорофилла $F_м$ так как часть энергии флуоресценции поглотилось в результате процессов тушения нефотохимической природы, таких как тепло. Это говорит о том, что растение не испытывает стрессов, связанных с недостатком воды или водносолевым балансом. $F_м$– максимальная флюоресценция намного больше показателя начальной флуоресценции F_0, что свидетельствует об эффективном ФСА растения. Как правило, этот показатель выше начальной флюоресценции в 10 раз, что видно по графику.

Таким образом подтверждается работоспособность исследовательской установки.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Экономическая часть работы имеет большую значимость, так как дальнейшее развитие проекта зависит от его экономической эффективности и востребованности в реалиях современного рынка.

Следующий раздел позволит оценить проект с различных сторон в плане экономики.

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Потенциальные потребители результатов исследования.

Для понимания потребительской аудитории результатов исследования необходимо разделить целевой рынок по сегментам. Для рассматриваемого исследования целевым рынком является сельскохозяйственная отрасль в общем и производители фитосветильников в частности. Проведём сегментирование рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и тип компании (завод светильников, промышленные теплицы, частные теплицы.)

Таблица 6 – Карта сегментирования рынка

Размер компании	Тип компании		
	Завод светильников	Промышленные теплицы	Частные теплицы
Крупные	Фирма 1	Фирма 3	
Средние	Фирма 2	Фирма 4	
Мелкие		Фирма 5	Фирма 6

В данной таблице видно то, как распределена конкуренция и покупательная способность тех или иных сегментов рынка.

Результат сегментирования:

- методика будет востребована в трех сегментах рынка;

- мелкии компании наиболее перспективны для дальнейшего сотрудничества из-за низкой конкуренции;

- сегментом рынка, привлекательным для предприятия в будущем, является предложение методики контроля средним компаниям.

Анализ конкурентных технических решений

Для оценки рынка необходимо провести детальный анализ конкурирующих разработок. Его удобно провести с помощью оценочной карты. Для этого выберем несколько конкурентных разработок. Обозначим их как:

К1 – Multiplexresearch; К2 – флуориметр РАМ – 2500.

Таблица 7 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно - способность		
		$Б_ф$	$Б_{К1}$	$Б_{К2}$	$К_ф$	$К_{К1}$	$К_{К2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0.1	5	3	4	0,4	0,5	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0.1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
3. Портативность	0.08	1	5	4	0,08	0,4	0,32
4. Надежность	0.06	5	3	3	0,24	0,18	0,18
5. Безопасность	0.04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
6. Потребность в ресурсах памяти	0.05	5	2	3	0,25	0,1	0,2
7. Функциональная мощность (представляемые возможности)	0.05	3	5	4	0,15	0,25	0,2
8. Простота эксплуатации	0.09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
9. Качество интеллектуального интерфейса	0.04	2	4	5	0,08	0,16	0,2
10.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.04	4	5	5	0,12	0,2	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0.02	1	5	3	0,02	0,1	0,06
3. Цена	0.1	5	1	2	0,5	0,1	0,2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	5	4	5	0,5	0,5	0,5
5. Финансирование	0.08	1	4	4	0,08	0,32	0,32

научной разработки							
Итого	1				3,79	3,73	3,81

Здесь Бi – балл i-го показателя, присуждаемый разработке по каждому критерию (от 1 до 5)

К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента. Конкурентоспособность рассчитывается по формуле:

$$К = \sum В_i \cdot Б_i$$

Где Вi – вес показателя.

По полученной карте можно сделать вывод, что данная разработка может конкурировать с уже имеющимися на рынке, хотя и не является наиболее оптимальной. Основное достоинство разрабатываемой установки заключается в ее низкой стоимости, при этом потеря функционала незначительна. Основные недостатки этой разработки проявляются в отсутствии финансирования и крайне популярности.

SWOT-анализ

SWOT–анализ процедура, позволяющая определить характеристики проекта рассмотреть его слабые и сильные стороны. Данный вид анализа применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов: Первый этап состоит в описании сильных и слабых сторон проекта и выявлении ее возможностей и угроз. Эти параметры заносятся в матрицу SWOT-анализа. Второй этап состоит в выявлении сильных и слабых сторон разработки при помощи интерактивных матриц. Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOTанализа.

Таблица 8 – Интерактивные матрицы проекта

Сильные стороны проекта					
Возможность проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	-	0	-
	В2	+	-	0	-
	В3	-	-	-	-
Угрозы проекта	У1	-	-	+	-
	У2	-	-	+	-

	У3	-	-	-	-		
	У4	-	-	-	-		
Слабые стороны проекта							
Возможность проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	Сл6
	В1	-	-	-	-	-	+
	В2	-	-	-	-	-	-
	В3	-	-	+	-	-	-
Угрозы проекта	У1	-	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-	-
	У3	-	+	-	-	-	-
	У4	+	-	-	-	-	-

Таблица 9 – Итоговая SWOT – матрица

	Сильные стороны научно – исследовательского проекта:	**Слабые стороны научно – исследовательского проекта:**
	С1. Более низкая стоимость производства стенда. С2.Возможность экспресс–исследований. С3. Более широкий спектр применения. С4. Неинвазивный метод	Сл1. Технология является тестовым стендом. Сл2. Отсутствие целевого финансирования. Сл3. Необходима высокая квалификация у оператора. Сл4. Необходима ручная обработка результатов измерений. Сл5. Непостоянная структура стенда. Сл6. Недостаточная интеллектуальная защита стенда. Сл6. Недостаточная интеллектуальная защита стенда
Возможности: В1. Отсутствие патентов на узлы и решения данного стенда. В2. Отсутствиепроизводства	В1С1: Отсутствие патентов на узлы и решения позволит снизить стоимость производства стендаВ1С3: Отсутствие	В1Сл6: Отсутствие патентов позволит уменьшить недостаточную интеллектуальнуюзащиту путем

подобных приборов в России. В3. Глубокое знание методики	производства таких приборов в России позволит найти им широкое применение	подготовки патентов В3Сл3: Глубокое знание методики компенсирует необходимость использование высокой квалификации оператора
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Уширение спектра применения конкурентных товаров. У3. Отсутствие юридически оформленного заказчика У4. Отсутствие планов на создание прибора на основе стенда	У1С3: Отсутствие спроса затрудняет выявление областей применения У2С3: Уширение спектра применения конкурирующих товаров также тормозит расширение областей применения	У1У3Сл2: Отсутствие спроса и заказчика усиливает недофинансирование проекта У4Сл1: Отсутствие планов по разработки готового устройства, а не макета, затянет разработку тестового стенда из-за отсутствия четких требований

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

При планировании комплекса предполагаемых работ необходимо:

— определить структуру работ в рамках научного исследования;

— определить участников для каждого вида работы;

— установить продолжительности работ.

Структура работ в рамках научного исследования

Изначально для выполнения научного исследования формируется рабочая группа. В ее состав входят профессор, ассистент отделения материаловедения и студент группы 4В51.

В данном разделе представлен перечень этапов и работ в рамках проведения исследования с приведенными исполнителями по каждому виду работ.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на ВКР	1	Выбор направления исследований	Руководитель
	2	Составление задания на ВКР	Руководитель
	3	Согласование задания с исполнителем	Руководитель, Инженер
Анализ порученного задания	4	Уточнение физических основ люминесценции хлорофилла	Инженер
	5	Уточнение информативности получаемых при спектральном анализе данных	Инженер
	6	Анализ конкурентных решений	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	7	Проведение расчетов и разработкаметодики измерений	Инженер, руководитель

	8	Подбор оборудования	Инженер
	9	Проверка реализации методики на имеющемся оборудовании	Инженер
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по ВКР	11	Представление результатов для отчета по ВКР	Инженер
	12	Анализ результатов отчета, формулировка выводов	Инженер
	13	Составление рекомендаций к следующей фазе исследований	Руководитель, инженер

Определение трудоемкости выполнения работ

На данном этапе рассчитывается трудоемкость работ каждого из участников исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула:

$$t = \frac{3_{t_{mini}} + 2_{t_{\max\ i}}}{5}$$

где $t_{ожi}$ — ожидаемая трудоемкость выполнения i-ой работы чел.-дн.;

t_{mini}— минимальная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, чел.-дн.;

t_{maxi} — максимальная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, чел.-дн.

Продолжительность работы каждого исполнителя Tpi, в рабочих днях, рассчитывается по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}\,i}}{\text{Ч}_i}$$

Где Ч — численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства длительность каждого из этапов следует перевести в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

ГдеT_{ki} — продолжительность выполнения i-й работы в календарных днях;

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

$k_{кал}$— коэффициент календарности, рассчитываемый по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{\text{Т}_{\text{кал}}}{\text{Т}_{\text{кал}} - \text{Т}_{\text{вых}} - \text{Т}_{\text{пр}}} = \frac{365}{(365 - 52 - 14)} = 1{,}22 \text{ кал. дн.},$$

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

$T_{вых}$— количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ — количество праздничных дней в году.

Рассчитанные по этим формулам параметры для каждой из работ сведены в таблицу ниже:

Таблица 11 - Временные показатели научного исследования

Раб	Содержание работ	tmin,дн	tmax,дн	тож,чел.-дн	Tpi , раб. дн.	Продолжительность, календ. Дн
1	Выбор направления исследований	1	2	1,4	1,4	2
2	Составление задания на ВКР	1	2	1,4	1,4	2
3	Согласование задания с исполнителем	1	2	1,4	0,47	1
4	Уточнение физических	2	4	2,8	1,4	2

	основ					
5	Уточнение информативности и получаемых при спектральном анализе данных	2	3	2,4	1,2	2
6	Анализ конкурентных решений	1	2	1,4	0,7	1
7	Проведение расчетов и выбор методики измерений	3	5	3,8	1,9	3
8	Подбор оборудования	3	6	4,2	2,1	3
9	Проверка реализации методики на имеющемся оборудовании	2	3	2,4	1,2	2
10	Оценка эффективности полученных результатов	1	3	1,8	0,9	2
11	Представление результатов для отчета по ВКР	10	14	11,6	5,8	8
12	Анализ результатов отчета, формулировка выводов	5	8	6,2	3,1	4
13	Составление рекомендаций к следующей фазе исследований	2	4	2,8	0,93	2

Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должны быть достоверно отражены все виды расходов, связанные с его выполнением. А именно это:

— материальные затраты НТИ;

— затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;

— основная заработная плата исполнителей темы;

— дополнительная заработная плата исполнителей темы;

— отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

— накладные расходы.

Расчет материальных затрат НТИ

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 и земли для выращивания.

Стоимость покупаемых семян составила 69 рублей, земли — 98 рублей, емкостей для выращивания 158 рублей

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_м = (1 + kt) \cdot \sum_{i=1}^{m} Цi \cdot N_{расх\,xi}$$

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

$N_{расхi}$– количество материальных ресурсов i-го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

Цi – цена приобретения единицы i-го вида потребляемых материальных ресурсов;

kT – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данного исследования, занесены в таблицу 8

Таблица 8 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерней	Количество	Цена за ед. руб	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Семена	Шт	30	2,3	69,0

Земля	Л	10	9,8	98,0
Термопаста	Шт	1	100	100
Итого				267,0

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Для данного исследования оборудование отдельно не приобреталось. В этом случае рассчитывается амортизация оборудования на время исследования

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = \frac{(Ц \cdot Fф)}{(F_н \cdot F_{сс})}$$

Где Ц – цена оборудования, р.;

Fн - номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;

Fсс – срок службы оборудования, год;

Fф – фактическое время занятости оборудования в ВКР, ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 9

Таблица 12 - Затраты на амортизацию оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Срок службы, год	Время занятости, ч.	Затраты на амортизацию, руб.
1	Avantes	218	5	6	109
2	CaryEclipse	1704	3	80	18996
3	Компьютер	25000	7	400	597
Итого:					19703

Основная заработная плата исполнителей темы

Заработная плата исполнителей рассчитывается на основе данных об окладе, определяющем уровень месячной заработной платы в зависимости от трудоемкости работ.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_р,$$

Где Тр – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим сотрудником, раб. дн;

Здн — среднедневная заработная плата сотрудника, руб, рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_м \cdot М}{F_д}$$

где $З_М$ — месячный должностной оклад работника, руб.;

М — количество месяцев работы без отпуска в течение года;

Fд – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн.

Таблица 13 - Количество календарных дней, затраченных на НТИ

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52 12	52 12
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	253	253

Месячный оклад работника Зм рассчитывается как:

$$Зм = Зтс \cdot (1 + kпр + kд) \cdot kр$$

где Зтс – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

kпр – премиальный коэффициент, равный 0,3;

kд – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

kр – районный коэффициент, равный 1,3

Таблица 14 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	kТ	Зтс, руб.	kпр	kд	kр	Зм, руб.	Здн, руб.	Тр, раб.дн.	Зосн, руб.
Руководитель	ППС 4	1	55200	0,3	0,2	1,3	86112	3539	4,2	14867
Бакалавр	ППС 1	1	10470	0,3	0,2	1,3	23150	951	19,7	18746

Итого Зосн	33613

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле:

Таблица 15 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	$З_{внеб}$, руб.
Руководитель	14867,1	4029,0
Бакалавр	18746,6	5080,3
Итого		14189,6

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов, в частности затраты на электроэнергию, потраченную в ходе работы. Накладные расходы можно рассчитать, как:

$$З_{накл} = K \sum P_i \cdot F_{фi}$$

ГдеК — тариф на расход электроэнергии, 5,8 руб. за 1 кВт/ч;

Pi— мощность i-го прибора;

Рассчитанные, по этой формуле расходы, представлены в таблице ниже: Таблица 16 - Расчет накладных расходов

Наименование оборудования	Время занятости, ч.	Мощность прибора, Вт	$З_{накл}$, руб
Avantes	6	3.6	0,13
CaryEclipse	80	75	34,8
Компьютер	400	60	139,2
Итого			174,13

Формирование сметы затрат научно – исследовательского проектаТаблица 17 - Расчет сметы затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	639,8
Затраты на специальное оборудование для научных работ	19703
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	52360,3

Отчисление во внебюджетные фонды	14189,6
Накладные расходы	174,13
Смета затрат НТИ	87066,8

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

Эффективность определяется на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Так как в данной работе 73 рассматривается только одно исполнение разработки, имеет смысл определять ее эффективность по интегральному показателю ресурсоэффективности. Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитывается по формуле:

$$Ipi = \sum a_i \cdot b_i$$

где ai— весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

bi — бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания

Расчет данного показателя приведен в таблице 15

Таблица 18 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

	Весовой коэффициент параметра	Исп 1.
1.Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4
2.Удобство в эксплуатации	0,15	4
3.Помехоустойчивость	0,14	5
4.Энергосбережение	0,3	4
5.Надежность	0,2	5
6.Материалоекость	0,11	5
Итого	1	

Тогда I_{pi} для исполнения:

$I_{ри1} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,14 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,11 \cdot 5 = 4,45$

Так как данный показатель оценивается по пятибалльной шкале, можно сказать, что у данной разработки высокое значение ресурсоэффективности, в частности, и эффективности в целом.

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

Планирование исследовательских работ показало, что для выполнения всего исследования необходимо затратить 34 дней. Следовательно, работа может быть выполнена за 2 месяца. Наиболее продолжительным этапом является написание отчета о работе.

Бюджет данного исследования составил 87 066,8 рублей.

Также исследование показало высокую эффективность с точки зрения ресурсоэффективности.