

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физики высоких технологий
Направление подготовки: 12.04.02 «ОпTOTехника»
Кафедра Лазерной и световой техники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Расчет светодиодных облучателей для комнатных растений
УДК 628.979:621.383.52:631.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Саханова Сандугаш Сериккызы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЛИСТ	Корепанов Владимир Иванович	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Петухов Олег Николаевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры ЭБЖ	Задорожная Татьяна Анатольевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И.О. Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
лазерной и световой техники	Полисадова Елена Федоровна	к.ф.-м.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС-3, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Способность формулировать цели, задачи и составлять план научного исследования в области светотехники и фотонных технологий и материалов, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи	Требования ФГОС-3 (ОК-1, ОПК- 1, ПК-1, 2, 10) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1-5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI. Требования работодателей.
P2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов	Требования ФГОС-3 (ОПК-2, ПК- 3, 4, 5, 19) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P3	Способность к исследованию и анализу состояния научно-технической проблемы, технического задания, к постановке цели и задач проектирования в области светотехники, оплотехники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы	Требования ФГОС-3 (ПК- 6, 7, 10) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.4, 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.

P4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной, облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности	Требования ФГОС-3 (ПК- 8, 9, 10, 11) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.4, 5.2.10), согласованный с требованиями-ми международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля качества изготовления деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов	Требования ФГОС-3 (ПК-9, 12, 13, 14,15, 16, 17, ПК-9) Критерий 5 АИОР (пп 5.2.2, 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные светотехнические и оптические приборы и устройства, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС-3 (ОПК-2, ПК- 3, 11, 15, 16, 21) Критерий 5 АИОР (пп 5.2.10, 5.2.16, 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P7	Способность проявлять творческий, нестандартный подход, требующий абстрактного мышления, при решении конкретных научных, технологических и проектно-конструкторских задач в области фотонных технологий и материалов и светотехники, нести ответственность за принятые решения	Требования ФГОС-3 (ОК-1, 2, ОПК-1, 2, ПК-9) Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7, 5.2.9), со-гласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P8	Способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Требования ФГОС-3 (ОК-3).

		<p>Критерий 5 АИОР (п. 5.2.16), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</p> <p>Требования работодателей.</p>
P9	<p>Способность к инновационной инженерной деятельности, менеджменту в области организации освоения новых видов перспективной и конкурентоспособной оптической, оптико-электронной и световой, лазерной техники с учетом социально-экономических последствий технических решений</p>	<p>Требования ФГОС-3 (ОПК-1, ПК-20, 22, 23), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.12, 5.2.14, 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</p> <p>Требования работодателей</p>
P10	<p>Способность к координации и организации работы научно-производственного коллектива, принятию исполнительских решений для комплексного решения исследовательских, проектных, производственно-технологических, инновационных задач в области светотехники и фотонных технологий и материалов</p>	<p>Требования ФГОС-3 (ПК- 18, 24), Критерий 5 АИОР (пп 5.2.11, 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</p> <p>Требования раотодателей.</p>
P11	<p>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 инженерной деятельности</p>	<p>Требования ФГОС-3 (ОПК-3)</p> <p>Критерий 5 АИОР (5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</p> <p>Требования работодателей.</p>

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки: 12.04.02 «Опготехника»
Кафедра лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:
И.О. Зав. кафедрой
_____ Полисадова Е.Ф.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ5А	Сахановой Сандугаш Сериккызы

Тема работы:

Расчет светодиодных облучателей для комнатных растений	
Утверждена приказом директора	18.04.2017 № 2644/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Расчет и конструирование облучателя со специальной цветовой характеристикой излучателя, соответствующей оптимальным требуемым параметром и характеристикам излучения для комнатных растений. Интернет ресурсы и литературы по расчету и конструированию световых приборов.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературы по существующим конструкциям облучателей и тепловым анализам светодиодных источников света; составление технических заданий на облучатель; обоснование и выбор светодиодов (спектр излучения); выводы по разделу; разработка дополнительных разделов: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность», раздел ВКР на иностранном языке; заключение по работе.
Перечень графического материала	Результаты проведенных расчетов и моделирования (фотографии 3D модели

	фитооблучателя, распределение теплового поля, КСИ, формы колебаний конструкции фитооблучателя, чертежи фитооблучателя)
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Петухов О.Н., доцент каф. менеджмента ИСГТ
Социальная ответственность	Задорожная Т.А., ассистент каф. экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК
Разделы, выполненные на иностранном языке	Надеждина Е.Ю., доцент каф. иностранных языков ФТИ

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

Глава 1. Сведения о процессах в фотосинтетическом аппарате растений при поглощении квантов излучения

Chapter 1. Information about the quantum absorption emission of plants in the photosynthetic process vessel

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Саханова С.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ5А	Сахановой Сандугаш Сериккызы

Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛИСТ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	12.04.02 «Оптотехника»

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

1. Стоимость ресурсов исследования (НИ): материально-технических; энергетических; финансовых; человеческих; 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов; 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	Человеческие ресурсы 2 чел. (проектировщик и инженер – конструктор).
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет себестоимости проектирования и конструирования фитооблучателя; Расчет затрат на материалы и комплектующие изделия; Расчет заработной платы; Расчет отчисления на социальные нужды; Расчет накладных расходов; Расчет затрат на потребляемую электроэнергию при эксплуатации светового прибора.
-------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Петухов Олег Николаевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Саханова Сандугаш Сериккызы		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ5А	Сахановой Сандугаш Сериккызы

Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛИСТ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	12.04.02 «ОпTOTехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом проектирования является светодиодный фитооблучатель со специальной цветовой характеристикой излучателя, соответствующей оптимальным требуемым параметрам и характеристикам излучения для комнатных растений и возможностью управления параметрами излучения.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p>	<p>1. Недостаточное освещение; 2. Пульсация освещенности; 3. Электрический ток</p>
<p>2. Экологическая безопасность – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу(отходы)</p>	<p>Светодиодные фитооблучатели экологически безопасны, позволяют сохранять окружающую среду, без специальных условий утилизации. Конструктивен, не содержат ядовитых, вредных и опасных веществ и материалов.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>Возможные ЧС на объекте: замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Разработка мер по предотвращению и ликвидации последствий.</p>

<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Организационные вопросы обеспечения безопасности при компоновке фитооблучателей.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Задорожная Татьяна Анатольевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Саханова Сандугаш Сериккыз		

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей работе использованы следующие обозначения и сокращения:

АДФ - аденозиндифосфат

АТФ - аденозинтрифосфат

ОИ - оптическое излучение

ИЛП - индекс листовой поверхности

КСИ - кривую силы излучения

КПД - коэффициент полезного действия

ЛИ - листовой индекс

НАДФ - никотинамидадениндинуклеотидфосфат

НАДФ·Н - никотинамидадениндинуклеотидфосфат, восстановленная форма

ОбУ - облучательная установка

РЦ - реакционный центр

СИ - система измерения

ФАР - фотосинтетически активная радиация

ФС - фотосистема

ФФП - фотосинтетически фотонный поток

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 113 страниц, 31 рисунков, 10 таблиц, 43 источников, 2 приложений.

Ключевые слова: ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНАЯ РАДИАЦИЯ, ФОТОСИНТЕЗ, ОБЛУЧАТЕЛЬ, СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА, ФИТООБЛУЧАТЕЛЬ, КОМНАТНЫЕ ЦВЕТЫ.

Объектом исследования является проектирование фитооблучателя для комнатных растений.

Целью работы является разработать облучатель для комнатных растений (на подоконник) на основе анализа требований к параметрам досветки растений, требований к энергоэффективности и приемлемой цене облучателя.

В процессе исследования приводился тепловой расчет фитооблучателя для комнатных растений.

В результате исследования составлены принципы проектирования облучателей для растений, в программе LightTools был построен светодиод и печатная плата, в программе Solidworks был построен общий вид фитооблучателя, фитооблучатель прошел тепловой расчет.

Степень внедрения: выполнено светотехническое моделирование осветительной установки в программном комплексе LightTools, Solidworks.

Экономическая эффективность и значимость работы: для досветки комнатных цветов экономичным вариантом является применение двух светодиодов, белого и красного. Экономичный оптимальный двухцветный облучатель может быть разработан на основе применения специального белого светодиода с увеличенной синей составляющей в спектре .

Оглавление

Введение.....	15
1. Сведения о процессах в фотосинтетическом аппарате растений при поглощении квантов излучения	18
1.1 Фотосинтетически активная радиация	18
1.1.1 Фотосинтез.....	20
1.1.2 Фотоморфогенез	23
1.1.3 Фотопериодизм	24
1.2 Метод измерения и определения цветовой температуры и индекса цветопередачи.....	25
1.3 Механизмы диссипации энергии в клетках растений.....	27
1.4 Световая регуляция фотосинтеза	30
1.5. Стресс растений	35
1.6 Индекс листовой поверхности	39
1.7 Анализ требований к параметрам излучения для различных растений	40
1.8 Анализ конструкций выпускаемых облучателей для растений	44
1.9 Анализ параметров и возможностей выпускаемых облучателей.....	49
1.10 Выводы по первой главе	53
2. Составление технических заданий на облучатель.....	54
2.1 Принципы проектирования облучателей для растений	54
2.1.1 Базовый спектр излучателя	55
2.1.2 Базовый поток излучателя	56
2.1.3 Возможность изменения спектра излучения	58
2.1.4 Изменения падающего потока и длительности облучения.....	58
2.1.5 Оптимальный режим облучения	59
2.1.6 Конструкция	60
2.2 Обоснование и выбор светодиодов	60
2.3 Параметры облучателя	63

2.3.1 Габариты.....	64
2.3.2 Мощность	65
2.4 Технические требования к облучателю	67
2.5 Выводы по второй главе	69
3. Проектирование светодиодного фитооблучателя для комнатных растений	70
3.1 Методика и результаты исследований	70
3.1.1 Построение в LightTools	70
3.1.2 Построение в SolidWorks	72
3.2 Тепловой расчет облучателя	75
3.3 Выводы по третьей главе	78
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	79
Введение.....	79
4.1. Расчет себестоимости проектирования и конструирования фитооблучателя	80
4.1.1 Расчет материальных затрат	80
4.1.2 Расчет заработной платы проектировщика и конструктора	80
4.1.3 Накладные расходы	82
4.2 Эксплуатационные затраты	83
5. Социальная ответственность.....	86
Введение.....	86
5.1 Производственная безопасность	86
5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при использовании объекта исследований	87
5.1.1.1 Недостаточное освещение	87
5.1.1.2 Пульсация освещенности	89
5.1.1.3 Электрический ток	89
5.2 Экологическая безопасность.....	92

5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	93
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	95
	Заключение.....	97
	Список использованной литературы.....	99
	Приложения А.....	103
	Приложения Б.....	113

Введение

В настоящее время на рынке светотехнической продукции предлагается большое количество светодиодных облучателей для комнатных растений. Анализ показывает, что они не отвечают научно обоснованным принципам создания таких облучателей. Это связано с тем, что к настоящему времени нет установленных норм и правил для проектирования такого рода светодиодных фитооблучателей.

Комнатные растения, как правило, - долголетние, видов таких растений много, располагаются они преимущественно на подоконниках, где самый высокий уровень солнечной радиации в помещении. Однако уровень падающего солнечного излучения сильно зависит от места расположения окна. На солнечной стороне в определенные периоды времени преобладает прямая солнечная радиация, а на затененной присутствует только рассеянное солнечное излучение.

Растения обладают разным количеством периодов вегетации, различными требованиями к уровню, качеству, длительности светового дня на разных стадиях вегетации. Эти обстоятельства диктуют определенные требования к системе их облучения. Сформулируем основные из этих требований:

1. Облучатель должен обладать универсальностью, то есть возможностью применения для облучения различных видов растений.
2. Облучатель должен обладать адаптивностью по отношению к виду растения и к месту расположения растений (на солнечной или нет стороне расположено окно).
3. Чтобы быть востребованным, облучатель должен быть относительно недорогим.
4. Облучатель должен учитывать индекс листовой поверхности.

В последние годы стремительно развивается светодиодная светотехника. При этом световая отдача светодиодов растет, стоимость падает, а области применения и рынок потребления расширяются.

Рынок светодиодной осветительной и облучательной техники формируется на основе многих факторов: тенденций развития освещения, государственной политики стимулирования энергосберегающих технологий, динамики и направлений изменения потребительских предпочтений, конкурентной среды, нормативной базы и пр.

Актуальность работы: Перспективным направлением применения светодиодной светотехники является создание облучателей для облучения растений, в том числе комнатных. *Светодиодная светотехника позволяет:*

- создавать любую цветовую гамму для облучения растений;
- варьировать спектральный состав излучения и потоки в широких пределах;
- корректировать качество и количество излучения на разных этапах роста и развития растений;
- проектировать облучатели любой формы и габаритов;
- создавать универсальные экономичные, энергоэффективные, с длительным сроком службы (50...100 тыс. ч.) системы облучения;
- исключить радиационный нагрев растений от излучателя.

Цель работы: Разработать облучатель для комнатных растений (на подоконник) на основе анализа требований к параметрам досветки растений, требований к энергоэффективности и приемлемой цене облучателя.

Для достижения данной цели необходимо было решить следующие **задачи:**

- обоснование требований к облучателю;
- выбор светодиодов;
- определение оптимальной КСИ;

- определение конструкции облучателя;
- светотехнический расчет;
- тепловой расчет.

1 Сведения о процессах в фотосинтетическом аппарате растений при поглощении квантов излучения

1.1 Фотосинтетически активная радиация

Свет с разной частотой излучения (и разного цвета в видимом диапазоне) по-разному влияет на рост, развитие растений и фотосинтез. В основном растения поглощают синий и красный цвет, а зеленый отражают или пропускают. В результате зеленый свет используется листьями наименее эффективно. Именно поэтому листья растений, в основном, зеленого цвета. Зависимость поглощения и усвоения энергии растениями от длины волны светового излучения называют энергетическим спектром фотосинтетической активной радиации (излучения). По сути, фотосинтетическое активное излучение - это поток энергии определенного спектра, обычно мощность излучения ФАР – облучателей характеризуют в Ваттах ФАР.

С помощью световых и энергетических величин измеряют ФАР. Оценка по световым величинам ФАР усложнена необходимостью пересчета. Разнообразие встречающихся в научной литературе величин является большой проблемой при оценке ФАР, характеризующих падающее на растения и воспринимаемое ими оптического излучения. К примеру, в Российской литературе можно встретить следующие единицы измерения [1]: $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{мин}^{-1}$ [2], эйнштейн/ см^2 , $\text{эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ [3, 4]; интенсивность ФАР, $\text{Вт}/\text{м}^2$ [5]. За рубежом широко распространена оценка растениеводческих ИИ по потоку фотонов. Так же они указывают значения плотности фотосинтетического потока фотонов в $\mu\text{моль}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Этот подход требует соотношение количества фотонов и количества молекул веществ, способных воспринимать ее. Количество фотонов, равное числу Авогадро ($N_A=6,026\cdot 10^{23}$ моль⁻¹), принято, как единица фотонного потока, получившая наименование Эйнштейн. Вместо имени Эйнштейн часто использовали термин, который является синонимом термина "моль квантов". Отсутствие единого подхода к измерению потока фотонов, бесспорно связано с

отсутствием официальной единицы измерения фотонного потока в международной системе СИ [6].

Восприятие цветовых составляющих света растениями и человеческим глазом сильно отличается, поэтому люксометры и люмены для измерения облучения поверхности агрокультур не используются.

Растения восприимчивы к свету примерно в том же диапазоне, что и человеческий глаз. Эта порция светового спектра соотносится с ФАР в спектральном диапазоне 380-710 нм. Тем не менее, восприятие растений внутри этого участка отличается аналогичного у человека. Человек имеет пиковое восприятие желто-зеленой части спектра (около 550 нм). Эта «оптическая желтизна» используется для восприятия отлично видимых явлений и объектов. Растения же значительно более эффективно воспринимают красный и синий цвета, причем пик находится в районе 630 нм. На рисунке 1.1, 1.2 показано кривые восприятия растений и людей. Обратите внимание на различия линий.



Рисунок 1.1 - Спектр для человека. Кривые восприятия человека

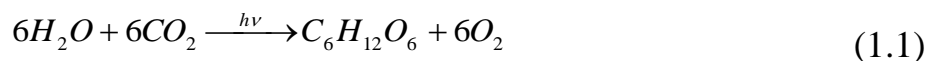


Рисунок 1.2 - Спектр для растений. Кривые восприятия растений

Поглощаемая растениями энергия света расходуется на фотосинтез, фотоморфогинез, синтез хлорофилла, а часть энергии идет на нагрев и переизлучение. Активность этих процессов зависит от длины волны по-разному. Изменяя составляющие излучения синей, зеленой и красной части спектра, можно влиять на прорастание, рост или торможение разных биологических процессов и стадий фотосинтеза.

1.1.1 Фотосинтез

Фотосинтез - главный процесс жизнедеятельности растений, отвечающий за их рост и развитие. Более 95% сухого вещества растений создаётся в результате этого процесса (см. рисунок 1.3).



Вода + Углекислый газ + Энергия → Глюкоза + Кислород

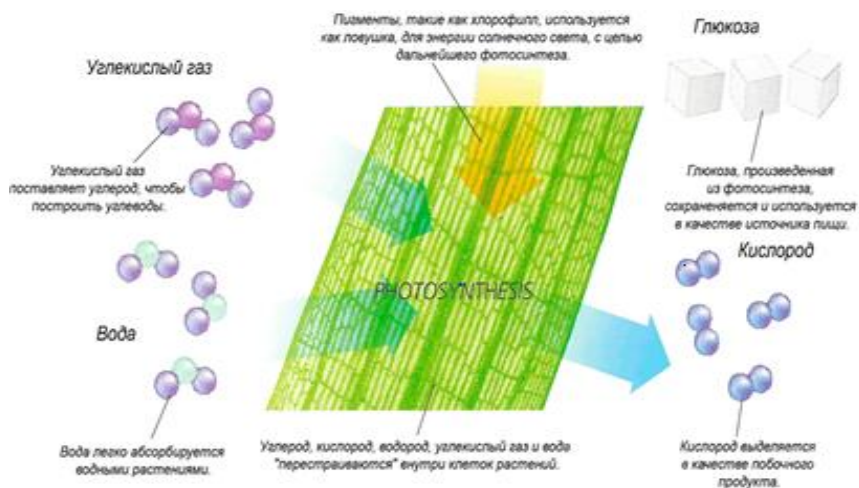


Рисунок 1.3 - Работа фотосинтеза

Источником энергии для фотосинтеза служит преимущественно длинноволновая часть спектра (красные лучи), а влияние коротковолновой части (сине-зелёной) менее существенно. Лист растения зеленая потому, что его поверхность отражает (а значит - не поглощает) зеленый свет. И это свойство объясняется именно присутствием в зеленом листе пигмента хлорофилла. И поглощает хлорофилл свет (а значит и энергию) из красной и синей областей спектра дневного света [7].

Фотосинтез - это сложный многоступенчатый процесс. На рисунке 1.4 можете увидеть различие световой и темновую фазы.

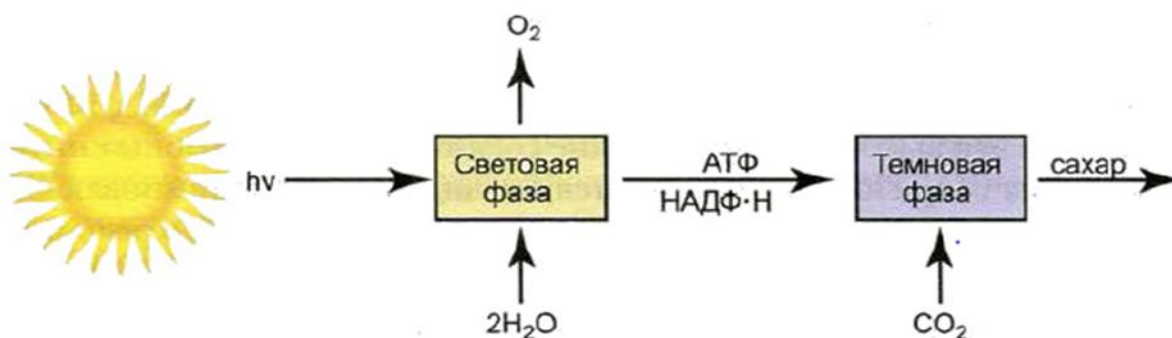


Рисунок 1.4 - Схема фотосинтеза

Световая фаза фотосинтеза характеризуется тем, что здесь все процессы происходят только при участии энергии света, поэтому её и называют

световой. Связывание солнечной (электромагнитной) энергии происходит преимущественно на мембранах тилакоидов хлоропласта. Размещающийся здесь хлорофилл и другие пигменты собраны в функциональные единицы-комплексы - пигментные системы, получившие название фотосистемы.

Таким образом, светособирающие и пигментно-белковые комплексы фотосистемы I и фотосистемы II обеспечивают процесс фотосинтеза необходимой энергией в виде макроэнергетических соединений НАДФ·Н и АТФ. В этом заключается основная функция световой фазы фотосинтеза. Она реализуется только при участии света и с помощью пигментов, размещённых в тилакоидной мембране хлоропластов.

Темновая фаза фотосинтеза проходит в строме хлоропласта без непосредственного поглощения света, в любое время суток. В процессе световой фазы фотосинтеза накапливается достаточно высокий уровень АТФ и НАДФ·Н. Однако сами по себе эти высокоэнергетические соединения не способны синтезировать углеводы из CO_2 . Поэтому становится очевидным, что и темновая фаза фотосинтеза - сложный процесс, включающий большое количество реакций.

Все процессы темновой фазы фотосинтеза идут без непосредственного потребления света, но в них большую роль играют высокоэнергетические вещества (АТФ и НАДФ·Н), образующиеся с участием энергии света, во время световой фазы фотосинтеза. В процессе темновой фазы энергия макроэнергетических связей АТФ преобразуется в химическую энергию органических соединений молекул углеводов[8]. Это значит, что энергия солнечного света как бы консервируется в химических связях между атомами органических веществ, что имеет огромное значение в энергетике биосферы и конкретно для жизнедеятельности всего живого населения нашей планеты.

1.1.2 Фотоморфогенез

Фотоморфогенез - это процессы, происходящие в растении под влиянием света различного спектрального состава и интенсивности. В них свет выступает не как первичный источник энергии, а как сигнальное средство, регулирующее процессы роста и развития растения. Можно провести некую аналогию с уличным светофором, автоматически регулирующим дорожное движение. Только для управления природа выбрала не "красный - желтый - зеленый", а другой набор цветов: "синий - красный - дальний красный" [9].

Термин «фотоморфогенез» объединяет процессы, которые не зависят от направления и периодического освещения, а определяются длиной волны и интенсивностью светового потока. Вероятно, в процессах фотоморфогенеза растений играют роль определенные соединения – пигменты.

Содержание этих пигментов в растениях очень малое, поэтому количество энергии, необходимое для насыщения соответствующих фотопроцессов, на несколько порядков ниже, чем при фотосинтезе. В то время как при фотосинтезе 8–10 квантов света необходимо для выделения только одной молекулы O_2 , такое же количество квантов на одну клетку может полностью определить репродуктивную судьбу растения или направление роста всего стебля.

Реакция растений на длительность светового периода (или длину дня) разная. Эта реакция растений на продолжительность дня получила название фотопериодизма. Выделяют растения короткого дня, когда растения зацветают при небольшой продолжительности освещения – менее некоторой критической величины. Когда же длина дня превышает определенную критическую величину - это растения длинного дня. Имеется и группа растений, цветение которых не зависит от длины дня - нейтральные растения.

1.1.3 Фотопериодизм

Фотопериодизм - реакция растений на соотношение между длиной дня и ночи, которая проявляется в скорости наступления цветения и плодоношения. В зависимости от продолжительности фотопериода растения делят на три основные группы: растения короткого дня (например, просо, хлопчатник, астры), которые достигают полного развития и имеют короткий период вегетации в условиях 8 - 12 - часового дня; растения длинного дня (например, пшеница, рожь, ячмень, овес), которые скорее зацветают и плодоносят в условиях 15 - 20 - часового дня, и нейтральные растения (например, гречиха, арбузы), в которых цветение и плодоношение наступают независимо от продолжительности дня.

Фотопериодизм связан с географическим и генетическим происхождением растений и является средством приспособления жизненного цикла к условиям существования. Растения длинного дня происходят из Северных широт, а короткого - с Южных широт. Растения умеренных и Северных широт, где день длиннее, чем на Юге, а также благодаря фотопериодизму успевают дать урожай в условиях относительно короткого лета. Определенная длина дня и ночи нужна растениям для нормального развития в течение не всей их жизни, а лишь в период прохождения так называемой световой стадии.

Фотопериодические раздражения воспринимаются листьями, в которых образуются вещества, переходя к цветочным почкам, обуславливающие развитие их. Фотопериодизм изменяется в зависимости от температуры, интенсивности освещения и качества света, влажности и минерального питания растений. На фотопериодизм нужно учитывать при районировании культур и при выращивании их в закрытом грунте.

Фотопериодизм присущ и семенам многих растений (оно может прорасти или на свету, или в темноте, или только при определенном

соотношении света и тьмы). Для практического использования фотопериодизм растения затемняют или им дают дополнительное искусственное освещение.

1.2 Поглощение квантов света пигментами фотосинтетического аппарата

В фотосинтетическом аппарате световая энергия поглощается в основном зелеными пигментами. Спектры поглощения хлорофиллов максимума поглощения в красной и инфракрасной ближней области может играть особое значение. Дело в том, что в этом участке спектра солнце излучает максимальное число квантов. Энергии «красных квантов» вполне достаточно для осуществления фотохимических реакций фотосинтеза [10].

При поглощении квантов сине-фиолетовой области спектра происходит тепловая диссипация (рассеивание) значительной части энергии, вследствие чего энергетическая эффективность фотосинтеза в этих лучах будет меньше, чем в красных. Энергетическая эффективность определяется числом молекул восстановленного CO_2 (или, более точно, долей запасенной энергии) в расчете на единицу поглощенной световой энергии. На рисунке 1.5 приведены спектры поглощения хлорофиллов а и в в сравнении с каротиноидами [11].



Рисунок 1.5 - Спектры поглощения хлорофиллов а и в и каротиноидов

Хлорофиллы поглощают в основном красный и сине-фиолетовый свет, зеленый свет ими отражается, что и придает растениям специфическую зеленую окраску, если она не маскируется другими пигментами. Хлорофилл а — наиболее часто встречающийся пигмент фотосинтеза. Он существует в нескольких формах, в зависимости от расположения в мембране. Каждая форма едва отличается по положению пика адсорбции в красной области; например, значения максимума могут составлять 670, 680, 690 или 700 нм.

На рисунке 1.6 приводится упрощенная схема энергетических уровней молекулы хлорофилла. Поглощение света в коротковолновой (сине-фиолетовой) области спектра приводит к появлению электрона на втором синглетном уровне S_2^* . При поглощении квантов красного света происходит переход электронов с основного S_0 уровня на первый синглетный S_1^* . Электроны с S_2^* уровня быстро “падают” на S_1^* , что сопровождается потерей части энергии на тепловую диссипацию (переход 2) и определяет относительно низкую энергетическую эффективность фиолетовой части спектра.

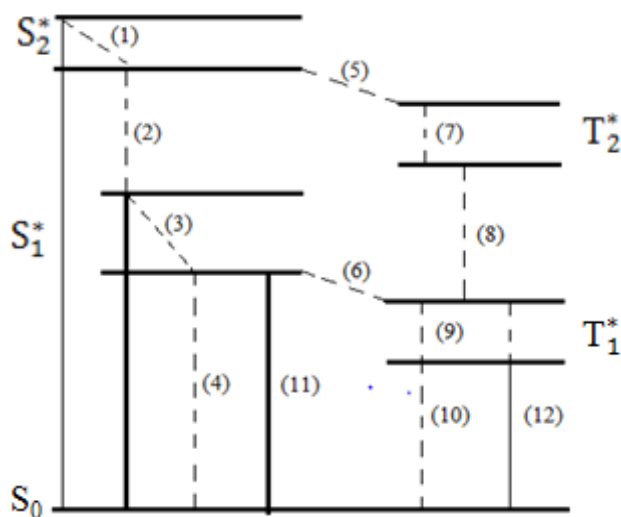


Рисунок 1.6 - Упрощенная схема энергетических уровней молекулы хлорофилла. Переходы $S_0 \rightarrow S_2^*$ и $S_0 \rightarrow S_1^*$ обозначают, соответственно, поглощение света в коротковолновой (красной) области спектра. T_1 и T_2 – триплетные уровни. Переходы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 соответствуют тепловому рассеиванию энергии электронного возбуждения. Переход 11 – флуоресценция, переход 12 – фосфоресценция.

В фотохимических реакциях принимают участие лишь электроны, находящиеся на уровне S_1^* и, быть может, на уровне T_1^* . С этими реакциями конкурируют два других процесса расходования энергии электронного возбужденного состояния молекул хлорофилла: безызлучательное тепловое рассеивание энергии (переход 4 или 10) и люминесценция (переход 11 или 12). Независимо от того, какой из этих трех путей расходования энергии будет иметь место, электрон из положения S_1^* или T_1^* перейдет на основной уровень S_0 .

В зависимости от условий вероятность расходования энергии поглощенных квантов по каждому из трех путей может довольно сильно изменяться.

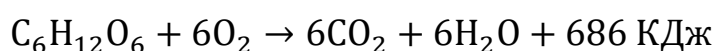
Каротиноиды фотосинтетического аппарата поглощают свет в синей области спектра 280-550нм. Они называются вспомогательными пигментами, поскольку поглощенную ими световую энергию они переносят на хлорофилл. В отличие от хлорофиллов, у них не удалось обнаружить измеримой флуоресценции. Следовательно, энергия поглощенных каротиноидами квантов, казалось бы, может расходоваться лишь двумя путями: на осуществление химической работы и рассеивание в виде тепла. Однако было установлено, что каротиноиды, так же как и все другие вспомогательные пигменты, непосредственно в фотохимических реакциях не участвуют, а передают энергию электронного возбуждения на молекулы хлорофилла [12].

1.3 Механизмы диссипации энергии в клетках растений

Энергия света, поглощенного фотосинтетическим аппаратом, может либо использоваться для фотохимического разделения зарядов в РЦ, либо может быть высвечена в виде флуоресценции, или может быть безопасно рассеяна в виде тепла. При низких освещенностях практически все кванты света используются для фотохимического разделения зарядов. Излучение флуоресценции практически отсутствует. Потери на тепловую диссипацию энергии отсутствуют, пока не активированы соответствующие механизмы диссипации. Хотя максимальный уровень флуоресценции хлорофилла

составляет немногим больше 3 % от поглощенного света, интенсивность флуоресценции может дать важную информацию не только о фотосинтетическом транспорте электронов, но также и о диссипации энергии в фотосинтетическом аппарате.

Если фотосинтез сопровождается поглощением энергии, то при дыхании происходит освобождение энергии. На дыхание растениями расходуется примерно 20% органического вещества, созданного во время фотосинтеза. Дыхание проходит по следующей схеме:



В обычных условиях растения используют не больше 2-3% солнечной энергии, приходящей на поверхность земли. Поэтому одной из задач земледелия является увеличение фотосинтетической деятельности культур [13]. Этому способствует увеличение листовой поверхности и удлинение периода ее жизнедеятельности.

Общеизвестно, что лучистая энергия Солнца улавливается листом не полностью. Часть энергии проходит мимо листа, естественно теряясь для фотосинтеза. Из энергии, падающей на лист, 15% отражается в окружающую среду, 10% проходит сквозь лист, потому что лист очень тонок и 75% поглощается листом.

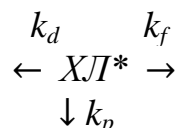
Листья растений в солнечную погоду значительно теплее окружающего воздуха и в связи с этим они излучают тепло вследствие разности температур [10]. Таким образом, отводится около 20% поглощенной энергии, а остальные 50% используются для транспирации, поскольку для этого требуется очень много тепла (см. рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 - Использование света листом. Распределение световой энергии, падающей на лист

Процесс энергии возбуждения ХЛ* идет тремя путями:

- 1) в тепле с константой k_d ,
- 2) во флуоресценцию с константой k_f ,
- 3) на фотохимический перенос электрона с константой k_p .



Квантовый выход η и время жизни τ флуоресценции хлорофилла ФСА:

$$\eta = \frac{k_f}{k_f + k_d + k_p}$$

$$\tau = \frac{k_f}{k_f + k_d + k_p}$$

Если перенос электрона от возбужденного состояния ХЛ на

$$Q_a^- \text{ невозможен и } k_p = 0, \text{ то } \eta_m = \frac{k_f}{k_f + k_d}$$

В течение первого десятилетия современных исследований фотосинтеза основной упор делался на выяснение принципиальных путей транспорта электронов и восстановления CO_2 и других физиологических акцепторов

электронов. Позднее, значительное внимание было направлено на механизмы регуляции этих путей. В центр интересов всегда попадали вопросы использования энергии света в биосинтетических целях, хотя достаточно рано было установлено, что свет может также повреждать фотосинтетический аппарат. Все без исключения мутанты, лишённые каротиноидов, не способны переносить освещение в содержащей кислород атмосфере. Известно также, что агенты, препятствующие биосинтезу каротиноидов, являются эффективными гербицидами. Хотя это подчеркивает роль каротиноидов в обеспечении защиты от светосенсибилизированного окисления, существование физиологических механизмов, способных регулировать не только фотосинтез, но также и тепловую деградацию световой энергии, оставалось незамеченным до тех пор, пока флуоресценция не стала широко использоваться в исследованиях фотосинтеза. Тогда стало очевидным, что медленные изменения флуоресценции хлорофилла не только связаны с фотохимическим использованием света, но также содержат информацию до сих пор неизвестных механизмах, вовлечённых в защиту фотосинтетического аппарата от повреждения радикалами.

1.4 Световая регуляция фотосинтеза

Свет представляет собой фактор среды, запускающий важнейшую функцию растений - фотосинтетическую фиксацию углекислоты, обеспечивающую органическим веществом все остальные компоненты биосферы. Характерно при этом то, что фотосинтетический аппарат растений активно реагирует на изменения интенсивности и спектрального состава света, которые неизбежно сопутствуют росту и развитию растений в природных условиях [14]. Обычно различают два типа ответов фотосинтетического аппарата по отношению к флуктуациям светового фактора долговременный и кратковременный. Долговременный ответ (акклимация или адаптация) связан с изменениями в экспрессии генов, что влечёт за собой построение нового фотосинтетического аппарата в широком смысле этого слова - изменение структуры листа, изменение

содержания и качественного состава хлорофилловых и каротиноидных пигментов, а также относительного количества реакционных центров двух фотосистем и размеров фотосинтетических антенн.

Характеристические времена долговременных ответов составляют десятки часов и дни. Между тем, рост растений в природе сопровождается постоянными флуктуациями освещенности, происходящими со значительно более высокими скоростями. Помимо регулярных дневных изменений освещенности, вызванных азимутальным ходом Солнца, фотосинтетический аппарат подвергается действию хаотических вариаций освещенности, связанных с изменениями облачности и бликами от вышележащих слоев листьев в лесных и смешанных травянистых биоценозах. Вклад бликов в общую освещенность растений достаточно велик. Так, в посевах сои за день нижние слои листьев получают до 1800 бликов средней продолжительностью 3-6 с. Для того, чтобы эффективно утилизировать в процессе фотосинтеза быстро изменяющуюся по интенсивности световую энергию растения в процессе эволюции выработали ряд механизмов, характеристические времена которых составляют секунды и десятки секунд [15].

Только в кратко временных реакций фотосинтетического аппарата на изменения освещенности, которые связаны с модуляциями активности уже предсозданного фотосинтетического аппарата у высших растений, принадлежащих к C_3 – типу углеродного метаболизма. Для более ясного понимания этих механизмов вначале необходимо кратко рассмотреть строение фотосинтетического аппарата и принципы его функционирования.

Процесс фотосинтетического фиксации CO_2 функционально можно разделить на две стадии. На первой, так называемой световой стадии, поглощенные фотосинтетическим аппаратом кванты видимого света обеспечивают перенос электронов против термодинамического градиента и, в конечном счете, синтез макроэргического соединения (АТФ) и биологического восстановителя в форме НАДФ·НАТФ и НАДФ·Н затем расходуются в энзиматических реакциях темновой стадии фотосинтеза, которая

непосредственно приходит к включению неорганического углерода в органические соединения [16].

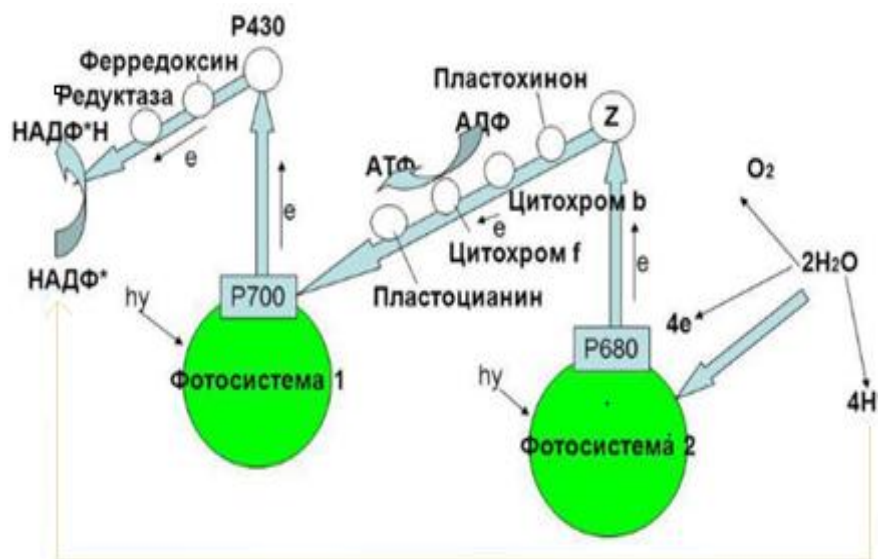


Рисунок 1.8 - схема фотосинтетического переноса электрона в хлоропластах высших растений C_3 -типа. P680 и P700 – фотоактивные пигменты реакционных центров ФС II и I, Пх – пластохинон, Пц – пластоцианин, Фд – растворимый ферредоксин, A_0 и A_1 – первичный и вторичный акцепторы ФС I, F_X и F_A/F_B – связанные железо-серные центры, Q_A и Q_B – первичный и вторичный хинонные акцепторы ФС II, T_{yz} – вторичный донор электрона ФС II.

Следует подчеркнуть, что вторая стадия фотосинтеза может быть названа темновой лишь условно, поскольку активность целого ряда участвующих в ней ферментов регулируется светом. Компоненты темновой и световой стадий фотосинтеза пространственно разделены в хлоропластах высших растений, принадлежащих к C_3 типу фотосинтетического углеродного метаболизма. Переносчики электрона и светособирающие комплексы локализованы в мембранах тилакоидов, собранных в граны, и в однослойных мембранах пронизывающих строму хлоропласта. Ферменты, катализирующие отдельные этапы темновой стадии, располагаются в строме хлоропласта.

Доминирующим путем фотосинтетического переноса электронов является нециклический электронный транспорт, он осуществляется с участием двух фотосистем – фотосистемы II (ФС II) и фотосистемы I (ФС I).

Принципиальная организация обеих фотосистем достаточно сходна. В реакционном центре каждой из них находится т.н. специальная пара, состоящая из первичного донора электрона (специализированной молекула хлорофилла) и промежуточного акцептора, имеющего значительно более низкий потенциал. Первичным донором электрона в ФС II служит пигмент P680 а ФС I – 700, названные так в соответствии с максимумами поглощения в красной области спектра. P680 представляет собой мономер или димер хлорофилла *a*, а P700 – димер хлорофилла *a*. промежуточными акцепторами электрона является в ФС II феофитин, а в ФС I – по-видимому, специализированная молекула хлорофилла, обозначаемая A_0 .

После первичного разделения зарядов в ФС II электрон быстро (характеристическое время реакции около 200) переносится от феофитина к первичному акцептору пластохинонной природы, Q_A , связанному с негемовым железом. Несмотря на то, что Q_A является пластохиноном-9, т.е. потенциально двухэлектронным переносчиком, при нормальном функционировании электронтранспортной цепи он принимает от восстановленного феофитина и отдает вторичному акцептору Q_B один электрон. Более того, двухэлектронное восстановление Q_A сопровождается необратимым разрушением ФС II.

В отличие от Q_A , Q_B способен к восприятию двух электронов. Одновременно, он акцептирует два протона из стромального компартмента хлоропласта, приобретая способность к диффузии в липидном матриксе тилакоидной мембраны к комплексу цитохромов $b_{6/f}$. Окисляясь, пластохинол передает через цитохромный комплекс электроны пластоцианину, вторичному донору электронов ФС II и отдает протоны в внутри - тилакоидный люмен, принимая участие в формировании протонного градиента на мембране тилакоида. Другим важнейшим участком создания этого градиента является водоразлагающим комплекс, взаимно переход так называемых S-состояний марганцевого кластера которого в высшие формы сопровождается выбросом протонов внутрь люмена [17].

Для высших растений, значительно более важным механизмом фотопротекции фотосинтетического аппарата является не фотохимическое тушение возбужденных растений в ФС II, которое обычно называют нефотохимическим тушением флуоресценции вследствие того, что флуоресценция хлорофилла представляет собой наиболее часто применяемый метод исследования этого процесса. Каждый квант, поглощенный фотосинтетическими пигментами, может либо индуцировать первичное разделение зарядов в реакционном центре одной из фотосистем, либо диссипировать в тепло, либо высветиться в виде кванта флуоресценции. В зависимости от состояния фотосинтетического аппарата, вероятность каждого из трех событий может меняться. Совершенно очевидно, что в том случае, если вероятность тепловой диссипации поглощенных квантов возрастает, количество актов фотохимического разделения зарядов в реакционном центре снижается, что приводит к снижению интенсивности потока электронов. Регуляция эффективности фотохимического использования поглощенных квантов на уровне ФС II представляется наиболее выгодной с функциональной точки зрения, поскольку при этом осуществляется контроль за самим входом электронов в цепь переноса. Тушение возбужденных состояний хлорофилла на уровне ФС II происходит как в антенне, так и в реакционном центре этой фотосистемы. Механизмы этих реакций совершенно различны [16].

Совокупность динамических регуляторных реакций, основанных на принципах отрицательной и положительной обратной связи, обеспечивает длительное функционирование хлоропласта и высокую стабильность при различных условиях освещения таких параметров, как отношения НАДФ·Н/НАДФ⁺ и АТФ/АДФ в строме хлоропласта, а также скорости переноса электронов между двумя фотосистемами, необходимых фотосинтеза и работы двух фотосистем световой стадии фотосинтеза.

1.5 Стресс растений

Понятие стресс перенесено в физиологию растений и существует направление - стресс-физиология растений. При стрессе комплекс метаболических перестроек у растений назван фитострессом [18].

В фитофизиологии термин «стресс» используется в двух разных аспектах. В одних случаях «стресс» служит синонимом слову «воздействие» (стрессовое воздействие, стрессовый фактор, стрессовые нагрузки, индуцированный стресс и т.д.), если стресс отражает количественную сторону раздражителя. В других случаях, когда, например, говорят о водном, солевом или окислительном стрессе, то под стрессом понимают целый комплекс ответных неспецифических и специфических изменений [19].

Способность к защите от действия неблагоприятных факторов среды – обязательное свойство любого живого организма, включая высшие растения. Эта функция появилась одновременно с возникновением первых живых организмов и в ходе дальнейшей эволюции развивалась и совершенствовалась. На каждой стадии развития способность растений к приспособлению к неблагоприятным условиям (низкая температура, засуха, засоление почвы и т.д.) выражена в разной степени. Эта способность растений связана с глубоким изменением обмена и определяется быстротой и глубиной его изменения без нарушения согласованности между отдельными функциями, благодаря чему не нарушается единство организма и среды. Это, в конечном счете, и определяет жизнедеятельность организма и его выносливость.

Для высших растений характерен активный путь адаптации к неблагоприятным факторам среды, например, к неблагоприятным условиям водного режима. Благодаря целому комплексу гидрорегулирующих приспособлений, проявляющихся на любой стадии онтогенеза и отличающихся автоматизмом и динамичностью действия, растения способны противостоять иссушающему действию факторов внешней среды. К таким приспособлениям, всегда направленным на усиление поглощения и снижение испарения воды,

относятся усиленный рост корневой системы, возрастание водоудерживающей способности, закрывание устьиц и др. Активное избирательное отношение растительного организма к неблагоприятным, стрессовым условиям внешней среды выражается в его способности к саморегуляции, оптимизации протекающих в нем процессов, а также к приспособлению их к факторам внешней среды, с которыми организм находится в непрерывном взаимодействии на протяжении всего онтогенеза. Сюда относятся устойчивость к недостатку или избытку воды, низким и высоким температурам, недостатку кислорода, засолению и загазованности среды, ионизирующему излучению, инфекциям и др. Эти неблагоприятные факторы в последнее время часто называют стрессорами, а реакцию организма на любые отклонения от нормы – стрессом.

Вопрос о природе защитных реакций, которые растение способно противопоставить губительному влиянию перечисленных выше факторов и которые позволяют организму сохранить нормальный ход процессов развития, включая и функцию самовоспроизведения, изучается на протяжении многих десятилетий. По происхождению и характеру действия все экологические факторы подразделяют на группу абиотических (факторы неживой среды) и группу биотических (связанных с влиянием живых существ). Это разделение условно, поскольку многие абиотические факторы испытывают сильное влияние жизнедеятельности живых организмов [20].

По ряду экологических классификаций абиотические факторы делят на:

1. Климатические – свет, тепло, воздух (его состав и движение), влага (включая осадки в разных формах, влажность почвы, влажность воздуха);
2. Эдафические (или почвенно-грунтовые) – механический и химический состав почв, их физические свойства и т.д.;
3. Топографические – условия рельефа. Эта классификация абиотических факторов относится в основном к наземным растениям. На водные растения влияет иной комплекс факторов, определяемый свойствами

воды как среды обитания; например для них весьма существенны факторы гидрофизические и гидрохимические.

Биотические факторы:

1. Фитогенные – влияние растений-сообитателей как прямое (механические контакты, симбиоз, паразитизм, поселение эпифитов), так и косвенное (фитогенные изменения среды обитания для растений);

2. Зоогенные – влияние животных (поедание, вытаптывание и прочие механические воздействия, опыление, распространение зачатков, косвенное влияние на среду).

В группу биотических факторов входит и влияние на растения микроорганизмов (микробогенные факторы) и грибов (микогенные факторы). Влияние хозяйственной деятельности человека относят в отдельную группу антропогенных факторов. Сильно действующий фактор внешней среды, способный вызвать в организме повреждение или даже привести к гибели, называют стрессовым фактором или стрессором. Если повреждающее действие стрессора превосходит защитные возможности организма, то происходит его гибель. В этом случае можно говорить об экстремальном факторе. Факторы, способные вызвать стресс у растений, можно разделить на 3 группы (см. рисунок. 1.9):

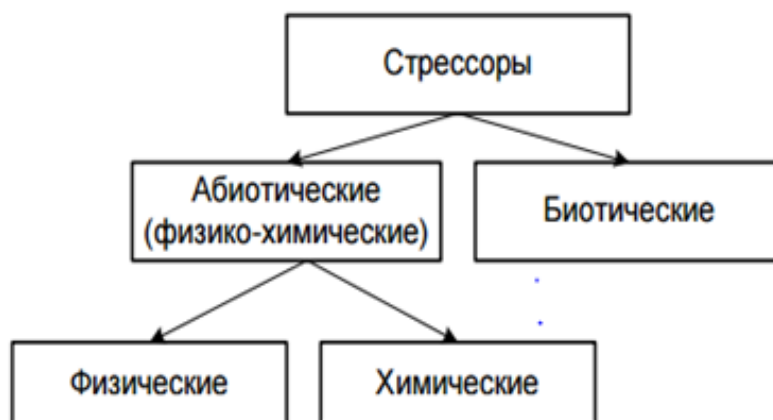


Рисунок. 1.9 - Классификация факторов, способных вызвать стресс у растений

К физическим стрессорам относятся: высокая и низкая температура, освещенность, недостаток или избыток влаги, повышенный уровень радиации, механические воздействия.

Среди химических факторов, способных вызвать стресс, наиболее распространенными являются: соли, ксенобиотики (газы, пестициды, промышленные отходы, тяжелые металлы).

Биологические стрессоры, как правило, представлены возбудителями болезней: грибами, бактериями, вирусами и т.д. Не все растения в равной степени страдают от неблагоприятных условий среды [21]. Одни оказываются в отношении того или иного фактора более устойчивыми, другие – менее устойчивыми. В связи с этим различают морозоустойчивые, зимоустойчивые, засухоустойчивые, жароустойчивые, солеустойчивые культуры и сорта.

Устойчивость к неблагоприятным факторам среды определяется способностью растения сохранять такой ход физиологических процессов, который не вызывает существенного нарушения в их согласованности. Растения несут в себе способность успешно осуществлять жизнедеятельность в определенной норме колебаний внешней среды. Всякое отклонение от допустимого предела приводит к изменению физиологической деятельности растения, согласованность между отдельными процессами при этом нарушается и, как следствие этого, выявляется та или иная степень страдания. Оно тем больше, чем сильнее отклонение. Чувствительность растений к этим отклонениям в онтогенезе не одинакова, т.к. выносливость к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям определяется стадийным состоянием растения. Наиболее распространенными неблагоприятными для растений факторами являются засуха, высокие и низкие температуры (экстремальные для растений), избыток воды и солей в почве, недостаток кислорода (гипоксия), очень высокая или низкая освещенность, присутствие в атмосфере вредных веществ, ультрафиолетовая радиация, ионы тяжелых металлов.

1.6 Индекс листовой поверхности

Индекс листовой поверхности (ИЛП) - показатель, характеризующий степень проективного покрытия почвы растительностью, а также способность растений поглощать солнечную радиацию, необходимую для формирования биомассы, кроме того данный индекс позволяет оценивать объем эвапотранспирации. ИЛП является *мерой фотосинтезирующей биомассы*. Чем выше индекс тем более полно используется солнечный свет на этой территории.

При проникновении потока фотонов через крону растения или растительного сообщества так же, как и через толщу воды, его плотность последовательно ослабляется. Масштабы этого ослабления определяют индекс листовой поверхности насаждения, поскольку листья, которые получают количество света, недостаточное для положительного углеродного баланса, отторгаются от растения (или в таких местах совсем не образуются). Аналогичным образом в водных толщах фотосинтетически активный планктон распределяется по глубинам. Для высших растений граница чистой прибыли от фотосинтеза у адаптированного к слабой освещенности листа находится на уровне примерно 0,2 % от максимальной полуденной плотности фотонного потока (ФФП около 3 — 5 мкмоль м⁻²с⁻¹). Если учесть потери углерода листом в ночное время и потребности в углероде нефотосинтезирующих органов, минимальная потребность ФФП для положительного углеродного баланса повышается до 0,5 — 1 % от интенсивности, измеренной над сообществом в середине дня.

Для гомогенного насаждения в фотометрии по аналогии с законом поглощения Ламберта - Бэра действительно экспоненциальное отношение в формуле 1.2.

$$I = I_0 e^{-kLAI} \quad (1.2)$$

где, I и I_0 — ФФП под рассматриваемым ярусом сообщества и над ним;
 k — коэффициент поглощения.

Величина варьирующего коэффициента поглощения зависит от средней величины листьев и от угла их отхождения, а также немного от листовой трансмиссии и значительно от положения Солнца и участия диффузного излучения. Экспоненциальное ослабление ФФП, согласно закону Ламберта-Бэра, определяется тем, с какого количества таких листовых ярусов (с какого суммарного значения ИЛП) достигается критическая граница для положительного углеродного баланса в самом нижнем ярусе насаждения (минимальный ФФП, необходимый для положительного углеродного баланса одного листа) [22]. Максимально возможное значение ИЛП определяется преимущественно коэффициентом поглощения, который, как правило, находится в пределах от 0,4 до 0,8. Путем определения значений ИЛП в разных ярусах сообщества для многих из них можно выявить очень характерное вертикальное распределение листовых поверхностей и тем самым типичную кривую абсорбции света в насаждении.

1.7 Анализ требований к параметрам излучения для различных растений

Плохое освещение очень быстро сказывается на внешнем виде растения, лишая его декоративности. Начинают вытягиваться побеги, новые листья растут маленькими, причем цвет их может стать более тусклым, ненасыщенным, так как замедляется образование хлорофиллов. Пестролистные сорта теряют свои пятна, их листья становятся более однородными или же совсем зелеными. Частым признаком недостаточной освещенности также является пожелтение, засыхание и опадение нижних листьев. У цветущих растений перестают появляться бутоны, а старые цветки постепенно отмирают (см. рисунок 1.10).

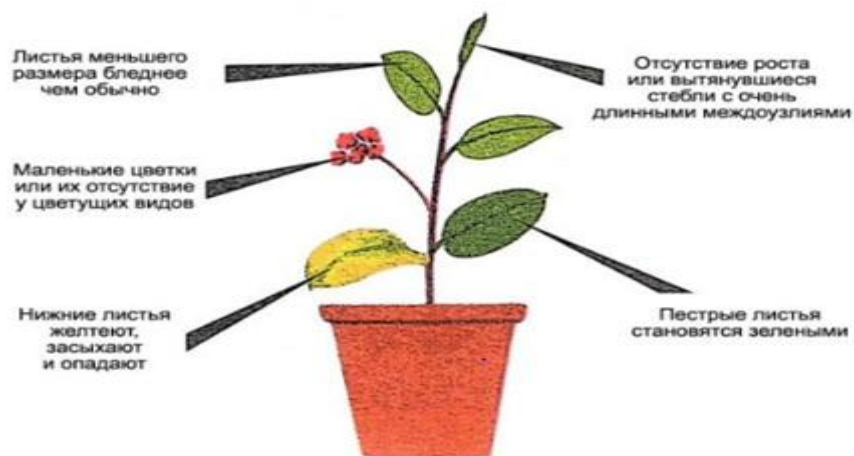


Рисунок 1.10 - Признаки недостатка света

Чтобы понять, как и за счет чего можно обеспечить благоприятные условия для роста растений, необходимо выделить основные параметры светового излучения, влияющие на их рост. Во-первых, это интенсивность самого света. Данный параметр влияет на процесс фотосинтеза, в ходе которого идут химические процессы превращения CO_2 в углеводы. Основным показателем в растениеводстве, определяющим эту величину, является плотность потока излучения ФАР.

Процессы жизнедеятельности растений находятся в тесной зависимости от интенсивности и спектрального состава света. Некоторыми исследователями показано, что свет разного спектрального состава регулирует рост и развитие, а также фотосинтетические процессы и продуктивность растений. Как известно, из всего спектра для жизни растений важна фотосинтетически активная радиация, находящаяся в пределах от 280 до 750 нм, и физиологически активная радиация, но наиболее значимы красные лучи, спектр которых находится в пределах от 600 до 700 нм. Для образования хлорофилла необходимы именно эти световые волны. Эта часть спектра является основным поставщиком энергии для фотосинтеза и влияет на процессы, связанные с изменением скорости развития растения. Вместе с тем избыток красной части спектра задерживает процессы образования генеративных органов [23]. Синие и фиолетовые лучи, как и красная составляющая, принимают непосредственное

участие в фотосинтезе, стимулируют образование белков и регулируют скорость развития растения.

Внутри спектрального диапазона 280–750 нм условно выделены спектральные области излучения со следующими характеристиками их влияния на растения [24]:

- 280–320 нм отрицательное воздействие на рост и развитие растений. Ультрафиолетовое излучение с длинами волн короче 295 нм при поглощении протоплазмой клеток вызывает разрушение белковых веществ. Это излучение при больших дозах оказывает вредное (разрушающее) воздействие на растения;

- 320–400 нм выполняет регуляторную роль в развитии растений (целесообразно присутствие этого излучения в количестве нескольких процентов от общего лучистого потока);

- 400–500 нм («синий») обладает как субстратным, так и регуляторным воздействием, входит в состав ФАР. При монохроматическом синем свете формируются низкорослые растения с утолщенными стеблями;

- 500–600 нм («зеленый») обладает высокой проникающей способностью, полезен для обеспечения фотосинтеза оптически плотных листьев, листьев нижних ярусов и густых посевов растений. Монохроматический зеленый свет приводит к формированию растений с вытянутыми осевыми органами и тонкими листьями;

- 600–700 нм («красный») обладает ярко выраженным субстратным и регуляторным воздействием, его присутствие крайне важно для обеспечения продуктивного фотосинтеза. Однако монохроматический красный свет приводит к аномальному росту и развитию (интенсивный рост листьев, осевых органов), а в ряде случаев – к гибели растений;

- 700–750 нм обладает ярко выраженным регуляторным действием. В небольших количествах (несколько процентов) может входить в состав общего излучения [25].

Изменяя содержание спектрального состава, поглощаемого растениями ОИ (например, изменяя соотношение синей, зеленой и красной составляющих)

можно активно влиять на протекание процессов, ускорять или замедлять их по сравнению с другими, то есть влиять на развитие растений.

Ясно, что кроме определенного спектрального состава поглощаемого растениями ОИ, необходимо соблюдать требуемые значения интенсивности излучения (энергетическая составляющая действия излучения). На рисунке 1.11 показана зависимость эффективности фотосинтетического действия ОИ в зависимости от его интенсивности. Эта зависимость качественно показывает, что существует определенный оптимальный поток излучения.

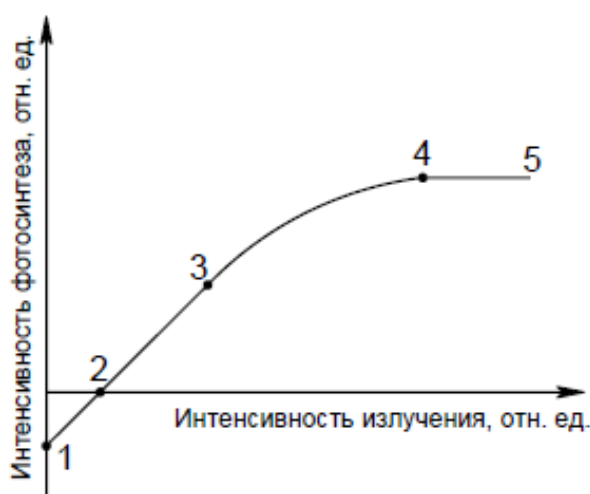


Рис.1.11. Типовая световая кривая фотосинтеза
1-2 – «отрицательный» фотосинтез, 2 – световая компенсационная точка фотосинтеза, 3-4 – уменьшение резерва усвоения энергии за счет увеличения числа поглощенных квантов, 4-5 – плато насыщения

У растений одновременно с процессом фотосинтеза происходит и процесс дыхания (фотодыхания), при котором происходит деструкция ранее синтезированных органических соединений. Разлагая органические вещества, растения затрачивают энергию на дыхание. При этом они выделяют углекислый газ и поглощают кислород («отрицательный» фотосинтез). При малых значениях облученности интенсивность фотосинтеза бывает настолько мала, что усваиваемой при этом энергии бывает недостаточно для покрытия расхода ее на дыхание. При увеличении числа квантов излучения (интенсивности) растет и фотосинтез.

1.8 Анализ конструкций выпускаемых облучателей для растений

Если растениям не достаточно света, то приходится прибегать к дополнительным источникам освещения. Специальные электрические источники разработаны таким образом, чтобы излучаемые волны стимулировали рост и создавали благоприятные условия для фотосинтеза.

Искусственный свет для эффективного досвечивания растений должен излучать спектр электромагнитного излучения аналогичный тому, который получают растения в естественной среде. Если полной аналогии достичь сложно, то освещение должно удовлетворять хотя бы минимальные потребности. Для обеспечения наиболее комфортных условий для развития подбираются специальные лампы, имеющие различное влияние. Конкретный выбор должен зависеть от того, какого вида выращиваемое растение и на какой стадии развития оно находится.

При использовании искусственных источников света очень важно, чтобы они давали именно ассимиляционное освещение, необходимое для роста растений. Если лампы неэффективны для такой цели, то по большей части они будут производить лишь тепло.

На сегодняшний день может быть использовано несколько схем применения искусственного освещения:

- для повышения интенсивности фотосинтеза искусственный свет используется как дополнение к естественному;
- периодическая схема – дополнительное освещение подключают только для того, чтобы иметь возможность управлять продолжительностью светового периода в течение дня;
- полная замена естественного света, что позволяет максимально контролировать процесс роста растений.

На сегодняшний день существует множество видов досветки растений в зависимости от типа освещения. Наиболее распространенными, из которых являются: люминесцентные, ртутные, металлогалогенные, натриевые и

светодиодные фитооблучатели. В приведенной ниже таблице 1.1, приведен сравнительный анализ технических показателей этих фитооблучателей.

Таблица 1.1 Сравнительный анализ фитооблучателей

	Люминесцентная	Ртутная	Металлгалогенная	Натриевая	Светодиодная
КПД ФАР	20-22%	10-12%	16-28%	26-30%	99%
Срок службы	10-15 тыс. часов	10-15 тыс. часов	6-10 тыс. часов	16-24 тыс. часов	до 50 тыс. часов
Световая отдача	50-80лм/Вт	45-55 лм/Вт	80-100 лм/Вт	До 150 лм/Вт	до 104 лм/Вт
Минусы, ограничения использования	Не годится для большой площади, неподходящий спектр для растений	Экономически не выгодно	Невысокий индекс цветопередачи	Невысокий индекс цветопередачи	Нет
Потребление энергии	15-65 Вт/час	50-400 Вт/час	70-400 Вт/час	70-600 Вт/час	1 Вт/час на один диод
Коэффициент пульсации	22-70 %	63-74 %	30 %	70 %	менее 1 %
КПД	50-70 %	50-70 %	50-70 %	50-70 %	95 %

Как видно, с технических показателей в таблице, - светодиодные фитооблучатели являются лучшим вариантом для досвечивания растений. В светодиодных фитооблучателях используются светодиоды специально подобранного спектра. С помощью комбинации светодиодов можно получить подсветку максимальной эффективности. Красный и синий цвета, смешиваясь, дают фиолетовый цвет. Поэтому светодиодные облучатели светят таким

призрачным фиолетовым цветом. Но он, то, как раз и наиболее нужен растениям.

В светодиодных фитооблучателях нет ненужного зеленого цвета, нет инфракрасной и ультрафиолетовой вредной для растений составляющей. Весь свет, который дают светодиодные фитооблучатели, поглощается растениями. Поэтому на сегодняшний день нет более эффективных облучателей для досвечивания растений, чем светодиодные.

Среди основных положительных показателей светодиодных фитооблучателей следует также отметить:

1. Простота установки и обслуживания: все светодиодные фитооблучатели подключаются напрямую к сети 220V и не требуют пусковых механизмов (балластов). Светодиодные лампы после включения запускаются мгновенно и без какого либо разогрева, в отличие от натриевых ламп, - которым нужно несколько минут для нормализации работы. Что интересно, при уменьшении напряжения в сети светодиодные облучатели, в отличие от обычных, будут продолжать работать но с меньшей яркостью в диапазоне от 80V до 230V.

За счет широкого ассортимента модификации светодиодов по направленности угла освещения отсутствует необходимость применения специальных рассеивателей или отражателей. В большинстве случаев обслуживание светодиодных ламп после окончания срока их эксплуатации заключается в простой замене самих светодиодов или блока питания к ним.

2. Экономия электроэнергии: светодиодные фитооблучатели имеют чрезвычайно высокий показатель КПД, что позволяет экономить 60-90 % электроэнергии в сравнении с обычными лампами накаливания, натриевыми и ртутными лампами и около 10-20 % электроэнергии в сравнении с энергосберегающими лампами.

3. Высокие показатели цветопередачи и светоотдачи: светодиодные фитооблучатели имеют высокий показатель индекса цветопередачи ($Ra > 80$). При этом, направленный световой поток светодиодных фитооблучателей

позволяет концентрировать свет на необходимые участки, значительно повышая однородность света и снижая количество потери света в пути от источника освещения. Это способствует оптимизации использования излучаемого света и сокращению потреблению электричества.

Светодиодные фитооблучатели имеют выше светоотдачу (выраженную в процентах: Лм/Вт), чем энергосберегающие или натриевые лампы (ДНаТ, ДНаЗ), которые, по-своему не зная, традиционно продолжают использовать растениеводы. Кроме того, светодиодные фитооблучатели обеспечивают в 8 раз больше освещенность, чем застаревшие лампы накаливания.

За счет минимального выделения тепла при работе светодиодных фитооблучателей, практически вся электроэнергия идет на выработку света, в отличие от обычных ламп. Благодаря полупроводниковой системе светодиодных фитооблучателей их яркость обратно пропорциональна температуре окружающей среды, что обеспечивает их благоприятное применение в наших климатических условиях в диапазоне $-50 / +50$ С.

4. Длительный срок службы: срок эксплуатации светодиодных фитооблучателей достигает до 50 000 часов, а некоторых видов светодиодных фитооблучателей и до 100 000 часов (К примеру: фитооблучатели при включении в среднем на 12 часов в день, при средних показателях срока службы 50 000 часов может работать около 10 лет!).

С течением эксплуатации такие основные характеристики светодиодных фитооблучателей, как световой поток и сила света практически не претерпевают изменений, в отличие от других видов фитоосвещения. Снижение светопотока ламп ДНаТ, ДНаЗ достигает в пределах 40-60% от показателей новой лампы. При этом наибольшее снижение светового потока зафиксировано впервые 100-200 часов эксплуатации ламп ДНаТ, ДНаЗ, т.е. в первые месяцы работы. Учитывая данные особенности эксплуатации ламп ДНаТ, ДНаЗ, в разных публикациях рекомендуют производить их замену еще до полного выхода их из строя, - через 4-6 месяцев. В то же время все элементы светодиодного фитооблучателя долговечны, в отличие от ламп, где

применяются нити накала. (К примеру: металлогалогенная лампа работает около 1000 часов, а галогенная всего лишь 3000 часов.

5. Высокая надежность, пожаробезопасность и механическая прочность: светодиодные фитооблучатели могут выдерживать большую разницу температур и вибрацию (за счет отсутствия нити накаливания), что гарантирует непрерывный срок их работы.

Светодиодные фитооблучатели могут работать постоянно без потери эффективности и ущерба функционирования фитооблучателя. Светодиоды являются низковольтным электрооборудованием, которое за счет низкого потребления электроэнергии мало нагревается, а значит является пожаробезопасным.

6. Экологическая безопасность и охрана окружающей среды: светодиодные фитооблучатели выделяют совсем мало тепла и не излучают опасных для живых растений ультрафиолетовых и инфракрасных лучей, поэтому Вы можете не переживать, что при близком расположении фитооблучателей или их непосредственном контакте с растениями они могут быть повреждены. За счет низкого выделения тепла также отсутствуют негативные моменты, связанные с высушиванием земли и пересушиванием воздуха. Отсутствие ультрафиолетового излучения не привлекает нежелательных насекомых, которое мы можем наблюдать в люминесцентных, энергосберегающих лампах и лампах накаливания.

При этом светодиодные фитооблучатели подлежат повторной переработке и не вызывают загрязнения окружающей среде. В то время когда люминесцентные линейные лампы и натриевые лампы содержат ртуть; кроме того, линейные люминесцентные лампы излучают электромагнитные волны, которые, как известно негативно влияют на здоровье при использовании вблизи от человека.

Полная экологическая безопасность светодиодных фитооблучателей позволяет сохранять окружающую среду в безопасности, не требуя при этом

специальных условия по утилизации (светодиодные облучатели не содержат ртути, ее производных и других вредных или опасных составляющих веществ).

Как известно отслужившую ртутную лампу необходимо утилизировать, что требует дополнительных финансовых затрат. Утечка ртути или других вредных газов из лампы при ее повреждении приведет к экологическим последствиям (негативное влияние на здоровье человека, загрязнение окружающей среды и т.д.).

Также известно, что ртутная лампа содержит до 100 мг вредного компонента — паров ртути. Ртуть является самым ядовитым тяжелым металлом, она токсична в любом виде. При вдыхании ртутные пары откладываются в мозге и почках, а также вызывают повреждение легких и желудочно-кишечного тракта. В то время как светодиодные фитооблучатели являются экологически безопасными и не требуют специальных условий по эксплуатации или утилизации.

И все же светодиодные фитооблучатели для растений имеют один минус - это их цена. Однако, множество достоинств этих фитооблучателей явно это перекрывают. Так, при расчете затрат на электроэнергию и на многочисленную покупку других видов фитооблучателей за весь срок службы эксплуатации одной светодиодной фитолампы – экономия будет неоспорима.

1.9 Анализ параметров и возможностей выпускаемых облучателей

Источники фитосвета разделяют как по конструкции устройства, так и по виду используемых в них ламп.

Конструктивно различают следующие виды:

- встроенные облучатели (потолочные или настенные бра);
- подвесные (потолочные или же на специальных креплениях-ножках);
- переносные (напольные торшеры или настольные лампы).

Выбор конкретной модели зависит от того, где именно будет установлено освещение, для каких культур, на каком расстоянии от верхушек

растений. Использовать лучше всего светодиодные фитооблучатели, преимущества, которых состоит в том, что они не боятся ни грязи, ни воды, им не нужны никакие другие устройства, чтобы отлажено работать. Нет нужды производить и какое-то особенное обслуживание.

Сегодня каждый садовод может сам определить, какой тип светодиодного фитооблучателя подойдет для досветки растений в его доме (см. таблицу 1.2).

Таблица 1.2 Типы светодиодных фитооблучателей

Название	Описание	Профиль
Фитолампы	Фитолампа – это не самый дешевый прибор независимо от своего типа. Однако при условии выращивания комнатных растений ее все-таки нужно иметь. Все модели таких ламп компактные и имеют привлекательный дизайн. Цена, мощность готового изделия зависит от бренда, модели и комплектации. При желании можно приобрести комплектующие по отдельности и собрать фитолампу своими руками.	
Линейные фитооблучатель	Линейный фитооблучатель - это осветительный прибор, который выгодно сочетает в себе цену и качество. Применять подобные конструкции лучше всего для досветки комнатных цветов.	
Фитопрожектор	Фитопрожектор этот вариант отлично подойдет для полного освещения растения, без применения природного света. Он имеет достаточно большие размеры и очень хорошую мощность.	

Где могут применяться фитооблучатели на светодиодах:

- в тепличных и фермерских хозяйствах;
- в частных домах;

- в квартирах;
- на дачных участках.

Если сравнивать с фитопржектором, то линейные фитооблучатели не такие большие по размерам, он более компактный. Поэтому его, зачастую, используют в условиях квартиры, хотя следует сказать, что, как дополнительное освещение он подойдет и для оранжереи или теплицы. Несмотря на свой маленький объем, эти небольшие приборы великолепно показали себя в работе, в особенности при выращивании рассады.

Если на улице растения беспрепятственно могут получать солнечный свет, то для комнатных растений это проблема. Все зависит от освещенности в доме. В доме освещенность в разных комнатах различается и зависит, в

Промышленные линейные устройства, используемые в досветки растений, разрабатываются специально под нужды садоводческих и фермерских хозяйств.

Первую очередь, от величины окон и стороны света, на которую они выходят, во-вторых, освещенность в комнате меняется от погоды за окном (солнце, облачность, осадки), в-третьих, от времени года, в-четвертых, от чистоты самих окон.

В направлении светодиодного освещения для растений уже работают многие фирмы-производители [26]. Например, Philips (Амстердам, Нидерланды), LumiGrow (Новато, США), Атомсвет (Москва, Россия), Фокус (Фрязино, Россия) и другие предлагают множество готовых светодиодных решений для предприятий агропромышленного комплекса (АПК). Компания Philips предлагает услуги проектирования световых приборов со спектральным составом, ориентированным на конкретные производственные, исследовательские задачи и условия заказчика. Производители светодиодов выделяют отдельное направление, которое условно можно назвать «Светодиоды для растений». Предлагаются синие (440– 470 нм), красные (630– 660 нм) и другие светодиоды, ленты, модули для формирования спектрального состава. Компания NationStar Optoelectronics (Китай) предлагает более дешевый

аналог цветным – био-светодиоды на базе белого светодиода с добавлением красного и зеленого люминофора.

Линейный фитооблучатель включает в себя: алюминиевый светодиодный профиль с поликарбонатным светорассеивающим стеклом, источник света (светодиодная лента или светодиодная линейка), LED драйвер. Так же к профилям предлагается огромное множество комплектующих (подвесы, заглушки, крепления и многое др.)

Из плюсов такой простой конструкции можно отметить широкие возможности конфигурации и выбора. Практически каждый такой облучатель является уникальным. Неоспоримое преимущество линейных систем освещения заключается в том, что мы можем делать облучатель любой длины.

Линейные фитооблучатели бывают:

- встраиваемые;
- подвесные;
- накладные.

Отличаются они по способу монтажа, который предусмотрен производителем.

1.10 Выводы по первой главе

Из представленного анализа можно сделать однозначный вывод о том, что управление процессами фотосинтеза и фотоморфогенеза – наиболее эффективный путь воздействия на продуктивность, рост и развития растений.

Как и для фотосинтеза, основными фоторегулирующими свойствами должны обладать источники, излучающие в синей и красной областях спектра. Растения адаптированы к тому спектральному составу излучения, который падает на них при условиях, при которых они формировались.

Для правильного развития растений важно, чтобы они получали хорошо сбалансированный по спектру свет. Для фоторегулирования нужны источники (облучатели) с управляемыми потоками и спектрами.

Так как спектры поглощения пигментов расположены в достаточно широком спектральном диапазоне, то, по-видимому, нет смысла полностью повторять в источнике излучения спектры действия, как фотосинтеза, так и фоторегулирующих пигментов.

Основной недостаток светодиодного освещения – стоимость светодиодных светильников.

2 Составление технических заданий на облучатель

2.1 Принципы проектирования облучателей для растений

В настоящее время на рынке светотехнической продукции предлагается большое количество светодиодных облучателей для комнатных растений. Анализ показывает, что они не отвечают научно обоснованным принципам создания таких облучателей. Это связано с тем, что к настоящему времени нет установленных норм и правил для проектирования светодиодных фитооблучателей.

Нормы и правила для проектирования светодиодных систем облучения существуют, так как за основу взяты те, которые были созданы для ламп накаливания и газоразрядных ламп. Особенностью восприятия света растениями является то, что спектр действия фотосинтеза значительно отличается от кривой световосприятия глазом человека. Применяемые в настоящее время для теплиц натриевые лампы по спектральному составу далеки от требований растений. Поэтому для них нормируется только облученность.

Применение светодиодов позволяет конструировать любую цветовую гамму излучателя, а также создавать адаптивные по отношению к изменяющимся условиям облучения, вида растения, стадии его вегетации системы облучения. Для таких систем требуется разработать определенные требования и нормы. Поэтому, прежде всего, сделаем обоснование основных принципов проектирования фитооблучателей.

Принципы проектирования облучателей для растений:

- облучатель для досветки растений должен обладать определенным базовым спектром излучения;
- облучатель для досветки растений должен обладать определенным базовым потоком излучения;

- облучатель для досветки растений должен иметь возможность изменения спектра излучения;
- облучатель для досветки растений должен иметь возможность изменения падающего потока и длительности облучения;
- облучатель должен, по-возможности, обеспечивать оптимальный режим облучения;
- облучатель для досветки растений должен иметь удобную для монтажа и эксплуатации конструкцию.

2.1.1 Базовый спектр излучателя

Облучатель для досветки растений должен обладать определенным базовым спектром излучения. Для правильного развития растений необходимо хорошо сбалансированное и по спектру и по потоку излучение.

Базовый спектр излучения может быть выбран на основе следующих требований:

- *растения адаптированы* к тому качеству и потоку излучения, при котором они формировались;
- *растения поглощают в спектральной области, так называемой ФАР*, расположенной в диапазоне 380 – 750 нм [25]. Этот диапазон определяется спектрами поглощения основных, находящихся в клетках растений пигментов: хлорофиллы а и b, каротиноиды, фитохром и др.;
- *спектральная эффективность фотосинтеза определяется спектром действия фотосинтеза* в соответствии с кривой, показанной на рисунке 2.1. Поэтому поглощение ФАР растениями неравномерно по спектру. Максимумы поглощения приходятся на синюю (460 нм) и красную (670 нм) области, в которых поглощают преимущественно молекулы хлорофилла;
- *для полноценного развития растения необходимо изучение всего спектра ФАР*, так как в этом диапазоне расположены спектры поглощения всех

видов пигментов, в том числе оказывающих регулирующее воздействие на фотохимические процессы в растении;

- основная доля поглощаемой листьями световой энергии расходуется на фотосинтез, а на поглощение пигментами с фоторегулирующим действием требуется несколько процентов от суммарной доли поглощенной радиации.

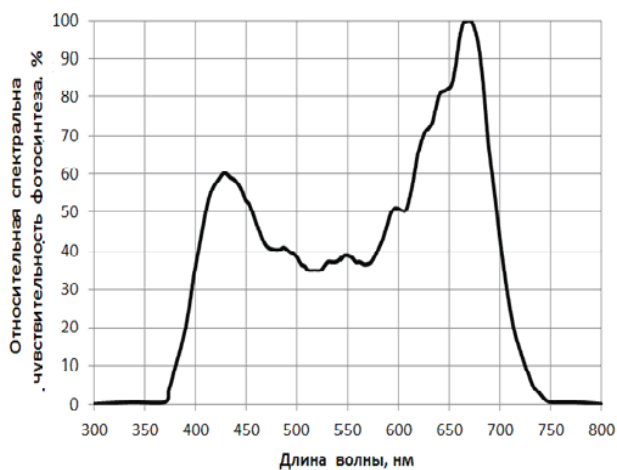


Рисунок 2.1 - Спектр действия фотосинтеза

2.1.2 Базовый поток излучения

Облучатель для досветки растений должен обладать определенным базовым потоком излучения. Базовый поток излучения может быть выбран на основе площади листовой поверхности растения.

Растения должны получать свет в количествах, необходимых для осуществления фотосинтеза и создания определенной массы органического вещества. Растение представляет собой оптическую систему (приемник излучения) в виде непрозрачного тела, которое частично поглощает солнечную радиацию, частично отражает и частично пропускает ее. Основной орган, воспринимающий солнечную радиацию, — лист, и от его оптических свойств в значительной степени зависит «энергоснабжение» растения. Лист - сложная и неоднородная оптическая система. Его строение обуславливают большое внутреннее рассеяние и отражение света. Поэтому даже тонкий лист поглощает света значительно больше, чем слой раствора пигментов соответствующей

концентрации. Расход падающего потока следующим образом распределен по различным каналам [10]:

- отражение – 15 %;
- пропускание – 10 %;
- поглощение – 75 %.

1. Тепловое излучение - 20%;
2. Транспирация - 50 %;
3. Фотосинтез - 0,5 – 8 %.

Оптимальное количество падающей на растение радиации определяется скоростью фотосинтеза в данный период вегетации. По-видимому, общее количество требуемого потока должно быть связано с площадью поверхности листьев. В сельском хозяйстве для оценки продуктивности угодий используется понятие листовой индекс или индекс листовой поверхности – соотношение площади всей листвы растения к площади земли, занимаемой растением. Индекс листовой поверхности позволяет рассчитать оптимальную плотность посадки растений на участке. Для сельского хозяйства высчитали, что максимальная чистая продукция соответствует листовому индексу, близкому к 4. Этот показатель является мерой фотосинтезирующей биомассы. Чем выше индекс, тем более полно используется солнечный свет на этой территории.

Применительно к расчету облученности ЛИ обозначает требования к потоку ФАР. То есть необходимо делать расчет облученностей не в виде потока, падающего на единицу облучаемой поверхности, а в виде потока, падающего на единицу листовой поверхности, то есть, как количество энергии, падающее в единицу времени на единицу площади листовой поверхности растения или количество квантов во ($\text{Вт}/\text{м}^2$, $\mu\text{mol}/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$).

Отсюда следует также, что требуемое количество суммарно световой энергии может изменяться в процессе роста и развития растения. Это можно учесть, если знать ЛИ растения на каждой стадии вегетации. При этом

необходимо помнить, что количество необходимого потока излучения на разных стадиях может зависеть не только от площади листовой поверхности.

2.1.3 Возможность изменения спектра излучения

Облучатель для досветки растений должен иметь возможность изменения спектра излучения. Это обусловлено следующими обстоятельствами:

- разные участки спектра ФАР оказывают различное воздействие на процессы роста и развития растений. Это определяется тем, что пигменты имеют разные спектры поглощения, а отвечают каждый за свою «сферу деятельности» в растении;

- спектральная характеристика чувствительности растений к излучению не является универсальной и зависит от вида растения, стадии его развития, интенсивности потока излучения и других факторов.

Поэтому требования к качеству излучения могут изменяться в процессе роста и развития растения.

2.1.4 Изменения падающего потока и длительности облучения

Облучатель для досветки растений должен иметь возможность изменения падающего потока и длительности облучения:

- значения ФАР (Вт/м^2 , $\mu\text{mol/м}^2\cdot\text{сек}$) индивидуальны для каждого растения и зависят от стадии развития;

- все растения обладают фотопериодизмом с индивидуальной длительностью светового дня;

- необходимость управления потоком связана также с тем, что количество солнечной энергии, падающей на поверхность земли, сильно зависит от погодных условий;

- время действия и потоки солнечной радиации зависят от времени года и также сильно изменяется в течении периода вегетации.

2.1.5 Оптимальный режим облучения

Облучатель должен, по-возможности, обеспечивать оптимальный режим облучения, при котором все листья были бы в достаточной степени освещены.

Это легко выполняется в случае «монослоя» листовой поверхности (например, сплошная заросль ряски или лишайники на камнях). Но такая фотосинтезирующая система явно маломощна из-за малого индекса листовой площади 1.

Для повышения продуктивности целесообразнее увеличить количество и общую площадь фотосинтезирующих элементов, поэтому в природе архитектура растений по отношению к свету является адаптивной. Это достигается многоэтажным расположением листьев на отдельном растении и ярусным расположением растений в ценозе. Но при этом взаимно затеняется большая часть листьев, а полное освещение получает лишь их самый верхний слой. Рациональность структуры листовых покровов в природе с точки зрения получения ими радиации подтверждена математическим моделированием оптимальной структуры растительного покрова. Этим же путем показана и целесообразность геометрической формы крон деревьев (при одиночном произрастании): куполообразной, полусферической или конусовидной, наиболее часто встречающейся у наших древесных пород и в наибольшей степени обеспечивающей приход радиации к листовой поверхности.

Количество получаемой листом радиации зависит также от его положения в пространстве, угла наклона листовой поверхности по отношению к направлению лучей падающей радиации. Это также необходимо учитывать при расчетах облучателя.

Сделать расчет потока, падающего на единицу поверхности листа достаточно сложно. Для этого требуется знать математическую модель растения, представив ее как некий оптический элемент, на который под оптимальным углом падает излучение и от которого оно отражается также под

определенным углом. Последнее обстоятельство обусловлено антизеркальной индикатрисой рассеяния отраженного от растений излучения.

В случае удаленного источника облучения и низкорослых растений их можно представить в виде поглощающих сфер или конусов или других фигур. Но когда высокорослые растения, а источники расположены рядом, то создать такую модель сложно. Поэтому при конструировании можно только подобрать подходящую кривую силы излучения КСИ.

2.1.6 Конструкция

Облучатель для досветки растений должен иметь удобную для монтажа и эксплуатации конструкцию.

Таким образом, облучатель для досветки растений должен иметь удобную для монтажа и эксплуатации конструкцию, обеспечивать необходимые, но достаточные потоки и равномерное их распределение по площади (объему) облучаемого растения, а также иметь возможность изменять параметры излучения в зависимости от вида растения условий эксплуатации, погодных условий, периода вегетации.

Конструктивные особенности фитооблучателя помогают обеспечить повышенную эффективность их работы, как с наибольшими площадями, так и точно.

2.2 Обоснование и выбор светодиодов

Главная задача - выбор базового спектра излучения, который создается подбором светодиодов, излучающих в разных областях спектра.

Ясно, что спектр адаптивного светодиодного облучателя должен охватывать всю область ФАР (380 – 750 нм). Разрабатываются излучатели, состоящие из набора цветных светодиодов перекрывающие всю область ФАР [25]. Имеются разработки с применение десятка светодиодов, излучение которых охватывает всю область ФАР.

Этот путь для массового применения не эффективен из-за высокой стоимости светодиодов. Часто ориентируются на спектры поглощения основных пигментов в растениях в синей - 450 нм и красной - 650 нм областях спектра.

В зависимости от того что вашим растениям необходимо, какую фазу роста и развития вы хотите подсвечивать, вы можете выбрать соответствующие облучатели.

Часто ссылаются на фундаментальную работу Н.Н. Протасовой [27], которая определила для растений некое «оптимальное» соотношение интенсивностей излучения в разных участках спектра. Это соотношение равно для диапазонов длин волн (нм): 400-500/500-600/600-700 = 30/20/50 %. Однако все исследователи (биологи) утверждают также, что необходимый растению спектр индивидуален для каждого типа растения и может быть разным на разных стадиях развития растений.

Основываясь на этих сведениях, выберем в качестве исходного суммарный спектр излучения светодиодного модуля таким образом, чтобы выполнялось соотношение Н.Н Протасовой [27]. В дальнейшем, точные соотношения интенсивностей в разных участках спектра можно подбирать изменением токов светодиодов. В этом случае облучатель будет обладать универсальными характеристиками качества излучения, а также адаптивностью.

Выбор светодиодов должен быть основан не только на возможности смоделировать любое соотношение в спектре излучения модуля, но и на экономических соображениях. Оптимальное соотношение в спектре излучения светодиодного модуля с возможностью управления распределением энергии в спектрах излучения в пределах ФАР можно создать путем составления различных сочетаний цветных и белых светодиодов.

Более экономичным вариантом является применение двух светодиодов, белого и красного. Как оказалось, использование белого светодиодов в сочетании с красным может быть вполне достаточным для создания излучателя

со спектральным составом близким к спектру действия фотосинтеза, поскольку у белого светодиода значительную долю составляет синий компонент свечения. На рисунке 2.2 показан нормированный расчетный спектр, полученный путем сложения взятых в определенных пропорциях спектров свечения белого и красного светодиодов.

Однако, как показывает расчет, необходимого соотношения синий/зеленый при использовании любых, выпускаемых в мире, белых светодиодов достичь невозможно. Для примера ниже приведены результаты расчета соотношения потоков для трех белых светодиодов фирмы Nichia и одного красного светодиода фирмы Philips.

Мощности излучения белого светодиода с теплым оттенком мощностью 1 Вт фирмой Nichia составляет в различных участках спектра:

- 400-500 нм - 0,27 Вт;
- 500-600 нм – 0,45 Вт;
- 600-700 нм – 0,28 Вт.

Таким образом, если использовать по одному светодиоду в сумме получим излучение в различных участках спектра:

- 400-500 нм - 0,27 Вт;
- 500-600 нм – 0,45 Вт;
- 600-700 нм – 3,28 Вт.

Если взять пять белых светодиодов, то светодиоду в сумме получим излучение в различных участках спектра:

- 400-500 нм - 1,35Вт;
- 500-600 нм – 2,25 Вт;
- 600-700 нм – 4,14 Вт.

Тогда получим соотношение синий/зеленый/красный, равная 0,17/0,29/0,57 таким образом можно подобрать нужны необходимый спектральный состав.

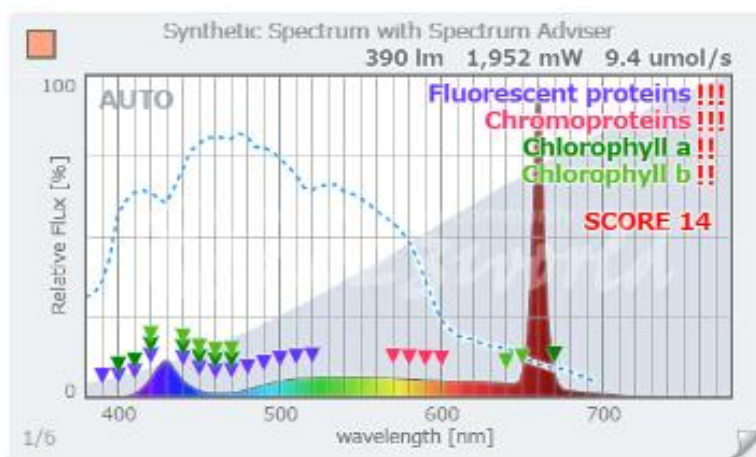


Рисунок 2.2 – Спектр излучения комбинация теплого белого, красного и светодиодов Nichia и Philips.

Для досветки комнатных цветов экономичным вариантом является применение двух светодиодов, белого и красного. Экономичный оптимальный двухцветный облучатель может быть разработан на основе применения специального белого светодиода с увеличенной синей составляющей в спектре излучения.

2.3 Параметры облучателя

Для нормального развития, роста и цветения растениям нужен свет. В этом плане не очень повезло комнатным цветам, которые летом обязаны воспринимать одностороннее освещение от окон, а зимой, вообще, фактически лишены прямых солнечных лучей. Особенно страдают зеленые обитатели северных окон, которые в холодный период года вынуждены прозябать в постоянной полутьме.

Конечно, это не значит, что жители квартир с северной направленностью должны отказывать себе в создании зеленого сада на собственной территории. Правильно создав искусственное освещение для комнатных растений, можно полностью восполнить недостаток солнечных лучей.

Важнейшая задача при разработке облучателя – оптимальная конструкция и оптимальная кривая силы излучения.

2.3.1. Габариты

Облучатель для растений, располагающихся на подоконнике, его габариты определяются размерами проема окна, в том числе шириной (или глубиной) подоконника. Следовательно, облучатель целесообразно сделать в виде одного длинного ряда светодиодов. Из обзора литературных источников следует, что жилые помещения — панельные дома — принято считать типовыми, стандартными строениями.

Стандарт размеров окон регламентируется ГОСТ 30674-99 [28], а также СНиП, в котором указывается соотношение параметров окна и общей площади комнаты, в которой оно устанавливается. Регулируются размеры оконного проема по ГОСТу 24699-81 [29]. Размеры окон большинства жилых помещений находятся в пределах:

- Одностворчатое окно – 1150 x 1900 мм; 850 x 1150 мм;
- Двухстворчатое окно – 1150 x 1900 мм; 1300 x 2200 мм; 1500 x 1900 мм;
- Трехстворчатое окно – 2400 на 2100 мм.

В ниже приведенном таблице 2.1 можете увидеть стандартные размеры окон для различных типов многоквартирных домов.

Таблица 2.1 Стандартные размеры окон для различных типов многоквартирных домов

Тип жилого дома	Стандартный размер оконной конструкции, мм		
	Двухстворчатое окно	Трехстворчатое окно	Балконный блок (окно/дверь)
Пятиэтажка	1280x1340, 1450x1500	2040x1500	1350x1340/680x2070

Сталинка	1080x1080, 1250x1800, 1500x1900		1500x2700
Панельные дома	1150x1420, 1410x1450, 1450x1410	1700x1420, 2030x1410, 2050x1410	400x1410/680x2140, 500x1410/680x2140, 1200x1410/680x2140, 1700x1410/680x2140

Исходя из этого, можно сказать, что размеры стандартных окон большинства жилых помещений находится в пределах 1300x1200 мм (см. рисунок 2.3).

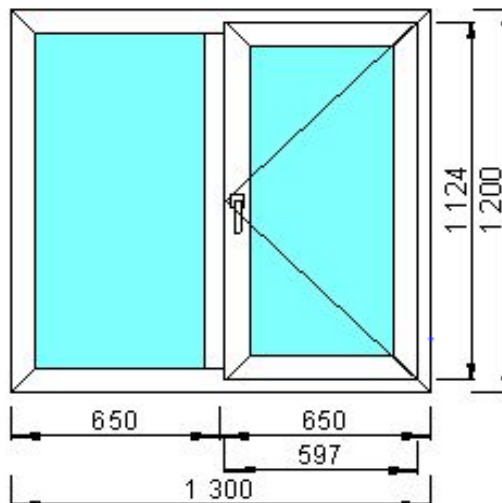


Рисунок 2.3 – Стандартные окна в жилых домах

2.3.2. Мощность

Исходя из этих сведений, целесообразно использовать модульную систему облучателей. Размеры модуля: длина – 0,7 – 0,9 м. Ширина определяется размерами оптической системы облучателя и теплоотводом. Для повышения энергоэффективности и исключения попадания излучения в помещение, чтобы уменьшить вредное воздействие излучения фитооблучателя на человека облучатель должен быть линейного типа.

Применение узкой КСИ позволит экономить на мощности излучателя. Кроме того, облучатель линейного типа облучает только растение, но не комнату. Это важно, так как излучение комфортное для растений не является таковым для человека.

Площадь, на которую падает излучение – $0,3-0,4 \text{ м}^2$. Если взять светильник длиной 70 см и разместить на нем 21 СД (1 Вт, через 3 см), то на поверхность подоконника будет падать $33 - 25 \text{ Вт/ м}^2$. Каждый светодиод излучает 50% мощности.

Основными важнейшими параметрами такого облучателя являются: базовый спектр излучения и параметры и характеристики оптической системы (коэффициент полезного действия – КПД, кривая силы света – КСС). За счет оптимального спектрального состава и оптимального светораспределения облучателя можно добиться значительного снижения энергозатрат. КПД показывает, какая доля светового потока лампы выходит из светильника. У современных светильников он составляет $0,8 \div 0,95\%$.

В основу сравнительной (с другими источниками излучения) оценки таких затрат можно взять необходимое количество квантов падающих на единицу поверхности растения при условии, что соотношение белого и красного составляющих в спектре излучения облучателя близко к идеальному, необходимому для растения на данном этапе его развития, а также коэффициент использования излучения растением. Последний параметр должен включать и коэффициенты поглощения излучения растением и геометрические факторы, которые определяют ту долю падающего от излучателя потока, которая падает на растение.

КСС описывают распределение излучения светильника в пространстве. В основу их классификации положены два независимых друг от друга признака: зона направлений максимальной силы света и коэффициент формы КСС, под которым понимают отношение максимальной силы света в данной меридиональной плоскости к среднеарифметической силе света светового потока для этой плоскости. Под КСС понимают зависимость силы света

светового потока от меридиональных и экваториальных углов, получаемый сечением его фотометрического тела плоскостью или поверхностью.

Отметим, что для тепличных облучателей более приемлемым является термин кривая силы излучения (КСИ).

2.4 Технические требования к облучателю

Исходя из требований, проект технического задания на облучатель может быть следующим.

Полупроводниковый фитооблучатель должен иметь модульную конструкцию, позволяющую наращивать мощность фитопотока.

Фитопоток количественно определяет содержание в интегральном потоке излучения энергии, потенциально доступной растениям для осуществления реакции фотосинтеза. За единицу измерения фитопотока принят фит, численно равный монохроматическому потоку оптического излучения мощностью 1 Вт с длиной волны 680 нм.

Разрабатываемый модуль фитооблучатель должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 54350 [30], ГОСТ Р МЭК 60598-2-3 [31] и параметрам приведёнными в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Параметры модуля фитооблучателя

Наименование параметра	Значение параметра
Рабочее напряжение, В	220
Диапазон изменения входного напряжения, В	170-260
Мощность модуля, не более, Вт	8521
КПД модуля светильника, не менее, %	90
Коэффициент мощности, $\cos\varphi$.	0,95
ФАР в области красного цвета ($\lambda_p = 660$ нм), не менее ФАР в области синего цвета ($\lambda_p = 465$ нм), не менее	2,6 Вт/м ² . (5 м) 1,3 Вт/м ² . (на 5 м)

продолжение таблицы 2.2

Класс фитооблучателя по распределению излучения по ГОСТ Р54350-2011 (уточняется для конкретных типов растений и геометрического расположения растений)	П (прямого света).
Класс защиты от поражения электрическим током по ГОСТ 12.2.007.0-75 (2001)	1
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69	03
Степень защиты от воздействия окружающей среды по ГОСТ 14254-95	IP65
Условия хранения в соответствии с группой по ГОСТ 15150-90	Ж2

2.5 Выводы по второй главе

Применение светодиодов позволяет конструировать любую цветовую гамму излучателя, а также создавать адаптивные по отношению к изменяющимся условиям облучения, вида растения, стадии его вегетации системы облучения. Для таких систем требуется разработать определенные требования и нормы. Поэтому, прежде всего, сделали обоснование основных принципов проектирования фитооблучателей.

Для досветки комнатных цветов экономичным вариантом является применение двух светодиодов, белого и красного. Экономичный оптимальный двухцветный облучатель может быть разработан на основе применения специального белого светодиода с увеличенной синей составляющей в спектре излучения.

3 Проектирование светодиодного фитооблучателя для комнатных растений

3.1 Методика и результаты исследований

В настоящей работе для проработки компонентов светотехнического анализа были использованы различные средства компьютерной обработки данных:

1. LightTools [32];
2. Solidworks [33].

Необходимо разработать осветительный прибор для досветки на подоконника в жилых домах. Высота подвеса данного осветительного прибора равна 1,2 м. Областью применения осветительного прибора являются подоконники в жилых домах и т.д. Мощность осветительного прибора составляет 21 Вт. Ниже приведено изображение дублирующее все выше описанное:

3.1.1 Построение в LightTools

Для фитооблучателя были выбраны светодиоды с максимальной светоотдачей, цвет излучения – белый и красный.

Мощный белый японский светодиод NS3W183T фирмы Nichia [34], ток потребления 350мА, световой поток этих светодиодов достигает 100 лм. Цветовая температура лежит в интервале 5000 - 5500К Мощность светодиода 1,3 Вт, размер 5x5 мм.

Красный светодиод LXM3-PD01 фирмы Philips серия LUXEON [35], ток потребления 350мА, световой поток этих светодиодов достигает 260 лм. Мощность светодиода 1 Вт, размер 5x5 мм.

В программе LightTools [32] был построен светодиод. Задается только одна поверхность излучения (TopSurface). Общий вид светодиода представлен на рисунке 3.1 (см. рисунок а). Далее была создана плата с размерами равными

660x12 мм толщина которого составляет 1,5 мм (см.рисунок б).

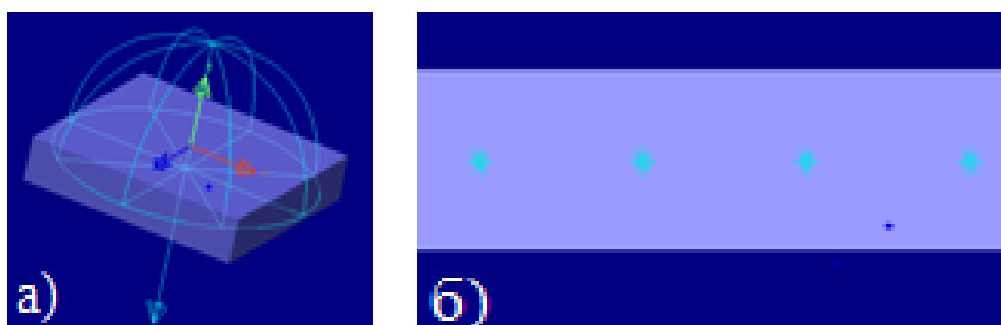


Рисунок 3.1 – Поэтапное построение светодиода: а) Светодиод с размерами (5x5x1,5); б) Светодиодная плата с расположенными на ней светодиодами

На рисунке 3.2 представлена компоновка фитооблучателя на 21 светодиодах. Следовательно, в облучателе должно быть размещено 21 светодиода по 1 Вт. Площадка (receiver), на которую падает световой поток, располагается на расстоянии 1,2 м и имеет размеры 0,4 x 1,3 м.

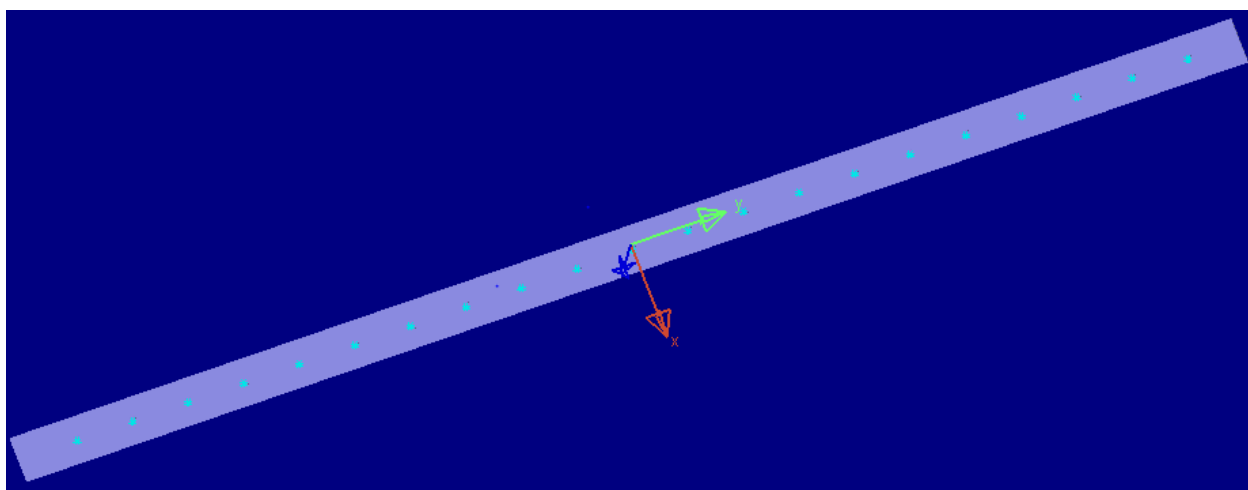


Рисунок 3.2 – Компоновка фитооблучателя

Имея конструкцию осветительного прибора показанную на рисунке 3.1 б, мы получили хорошие результаты при распространения лучей в поперечной и продольной плоскости (см.рисунок 3.3).

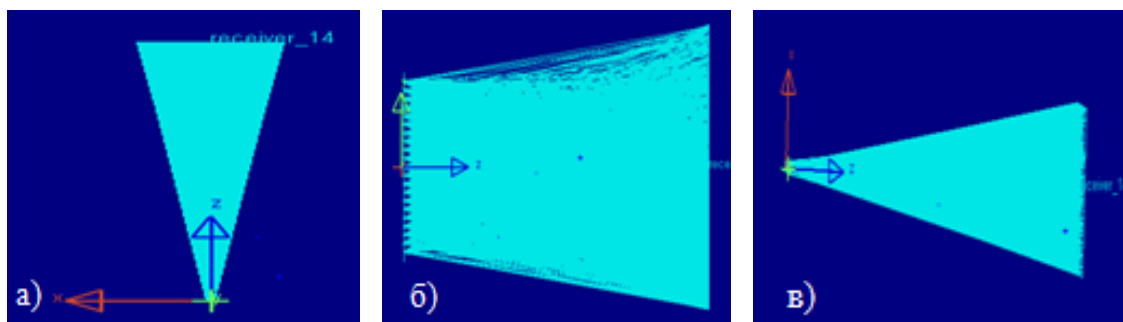


Рисунок 3.3 - Распространения лучей: а) Светодиоды, установленные на плату; б) Распространения лучей в поперечной плоскости; в) Распространения лучей в продольной плоскости.

Результаты распределения полученной освещенности на площадке разработанного облучателя представлены на рисунке 3.4а. Более точное распределение светового потока в пространстве отражает форма КСИ, которая представлена на рисунке 3.4б.

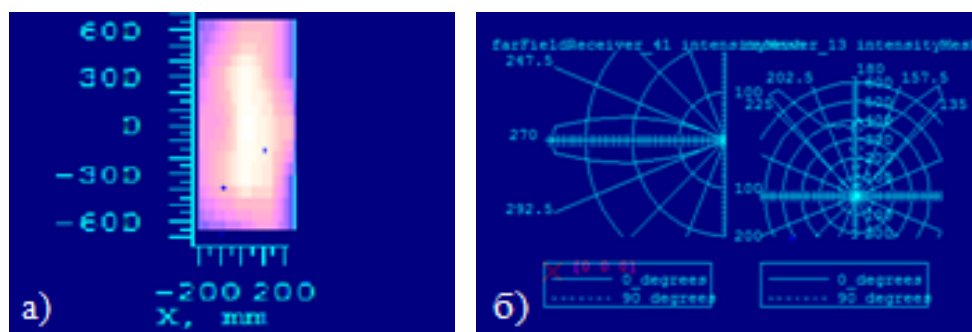


Рисунок 3.4 – Результаты: а) Распределение освещенности на площадке; б) КСИ разработанного облучателя

3.1.2 Построение в SolidWorks

После получения оптимальных характеристик осветительного прибора в программе LightTools [32], был произведен переход в программу Solidworks[33], для построения корпуса и сопутствующих комплектующих осветительного прибора.

В результате был построен осветительный прибор (ОП), которого можете увидеть на рисунке 3.5.

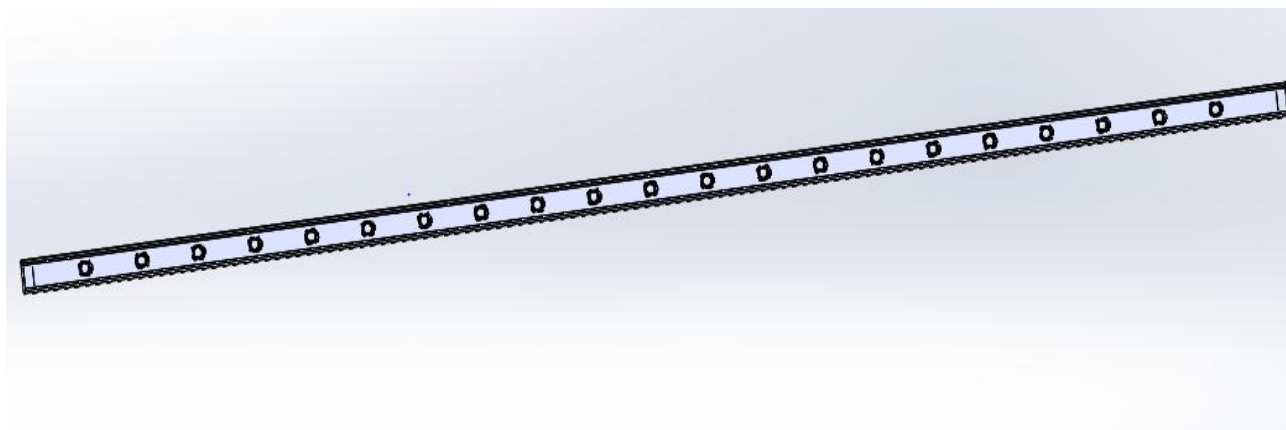


Рисунок 3.5 – Вид фитооблучателя с линзой

Задача оптической системы, используемой в паре со светодиодом – как можно более рационально распределить световой поток в пространстве. Правильно подобранная оптика позволяет существенно увеличить плотность светового потока светодиода и более точно приспособить его работу для решаемой технической задачи. В общем случае с помощью линзы можно поднять эффективность передачи света до 90% и выше, однако в некоторых сложных задачах удается достичь лишь 85%. С помощью металлических поверхностей коэффициент отражения рефлектора также можно довести до 90%, однако свобода управления лучом здесь гораздо уже, чем в случае линз. Отражатель следует использовать в габаритных источниках света. Для фитооблучателя было выбрано линза компании Carclo [36] с размерами $6 \times 6 \times 1,7$ мм 90° (см. рисунок 3.6а).

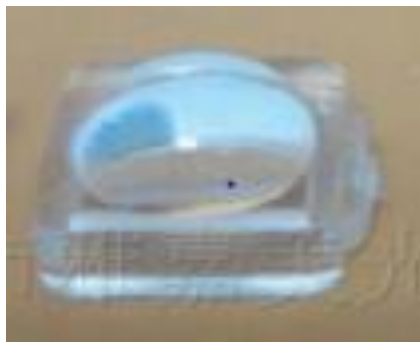


Рисунок 3.6 – Линза компании Carclo

На рисунке 3.7 показан фитооблучатель с линзой построенный в Solidworks[33].

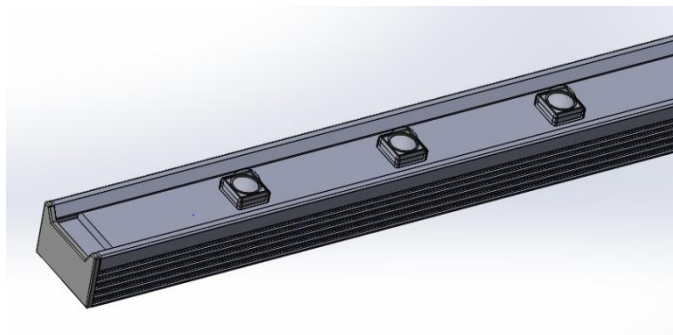


Рисунок 3.7 – Фитооблучатель с линзой

Материалы для изготовления и способы крепления. Поликарбонатный материал обладает отличными оптическими свойствами. Ввиду малых потерь на внутренне поглощение и отражение света, КПД оптических систем на основе поликарбоната составляет 90% и более.

Материал хорошо работает в широком диапазоне температур, не подвержен быстрому старению, легок, обладает достаточной прочностью. Важным преимуществом поликарбоната перед другими материалами является его технологичность, что позволяет выпускать дешевые и качественные линзы в промышленных масштабах.

Конечно же, для светодиодных линз применяется и традиционное стекло. Чаще всего боросиликатные сорта. Стеклянные линзы имеют большую твердость и поэтому более устойчивы к образованию царапин.

В зависимости от типа корпуса, линзы могут удерживаться на светодиоде с помощью трения (да, да именно трения – есть такая технология), крепиться с помощью специальной фурнитуры или приклеиваться к радиаторам светодиодов или на печатные платы.

Диммируемый блок питания для светодиода [37]. Современные светодиодные светильники не могут быть просто включены в сеть питания. Они требуют использования специальных LED драйверов. Светодиодный

драйвер или блок питания для светодиодов - это устройство на вход которого подается переменный ток из обычной сети (220 Вольт), а на выходе получается постоянный стабилизированный ток или постоянное стабилизированное напряжение.

Блок питания ARJ-LK30700-DIM на рисунок 3.8. Диммируемый драйвер 21 Вт с управлением от настенной поворотной симисторной панели, для мощных светодиодов и светильников. Пластиковый корпус IP20. Размеры 113x44x28 мм. Входное напряжение 200-240 VAC, выходное напряжение 20-30V DC, выходной ток 70-700 mA.



Рисунок 3.8 - Блок питания ARJ-LK30700-DIM

3.2 Тепловой расчет облучателя

Потребляемая мощность используемого светодиода равна 1 Вт. По рекомендации компании CREE при расчете следует допускать, что приблизительно 75% потребляемой мощности преобразуется в тепло:

- белый светодиод NS3W183T $0,75 \cdot 1,3 \text{ Вт} = 0,975 \text{ Вт}$,
- красный светодиод LXM3-PD01 $0,75 \cdot 1 \text{ Вт} = 0,75 \text{ Вт}$.

Тогда общая тепловая мощность фитооблучателя, которую требуется рассеивать, составляет: для белого светодиода $11 \cdot 0,975 = 10,725 \text{ Вт}$,

- белый светодиод NS3W183T $11 \cdot 0,975 \text{ Вт} = 10,725 \text{ Вт}$,
- красный светодиод LXM3-PD01 $10 \cdot 0,75 \text{ Вт} = 7,5 \text{ Вт}$.

Для отвода тепла от светодиодов был выбран тонкий алюминиевый профиль с радиатором. Данный профиль предназначен как для открытой, так

и для скрытой установки. Материал радиаторов – сплав 1060. Размеры алюминиевого профиля 14,9x8,8 мм длиной 670 мм.

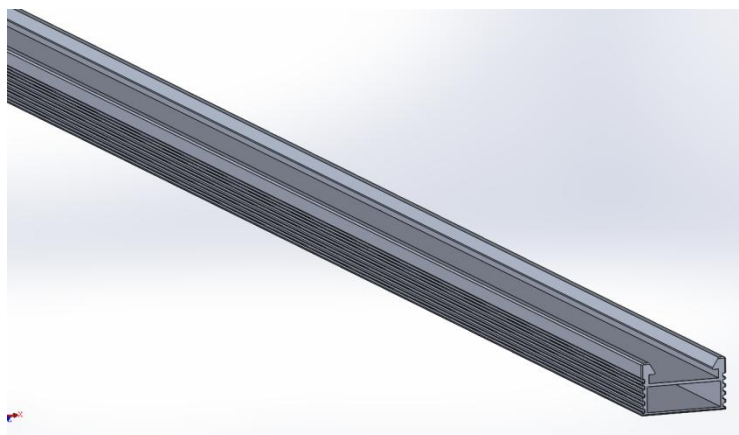


Рисунок 3.9 – Алюминиевый профиль с радиатором

На рисунках 3.10 и 3.11 представлено распределение температурного поля на плоскости, проходящей через светодиоды. Тепловой расчет проведен при температуре 20 °С окружающей среды в программной среде SolidWorks Flow Simulation. Результаты компьютерного моделирования показали, что максимальная температура светодиода составляет 60,6 °С.

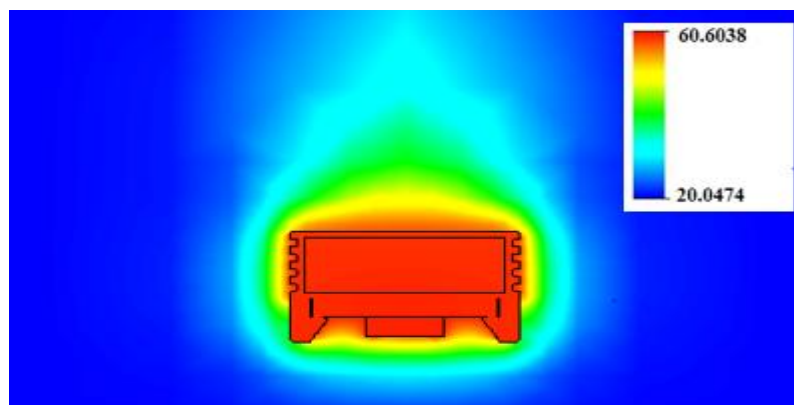


Рисунок 3.10 - Распределение температурного поля при температуре окружающей среды 20 °С

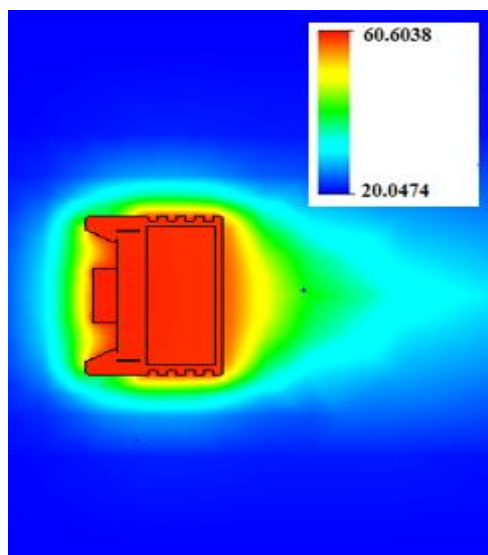


Рисунок 3.11 – Распределение температурного поля при температуре окружающей среды 20 °С

Был проведен тепловой расчет при температуре окружающей среды 20 °С. Максимальная температура печатной платы светодиода составляет 49,1 °С. Улучшенный теплоотвод и используемая оптическая система позволяют существенно увеличить максимально допустимые токи, протекающие через светодиоды и повысить их светоотдачу, а также сформировать узкоградусный световой поток с высоким значением осевой силы света.

3.3 Выводы по третьей главе

Для проработки компонентов светотехнического анализа были использованы компьютерные программы:

1. LightTools [32];
2. Solidworks [33].

Разработан осветительный прибор для досветки на подоконника в жилых домах. Высота подвеса данного осветительного прибора равна 1,2 м. Областью применения осветительного прибора являются подоконники в жилых домах и т.д. Мощность осветительного прибора составляет 21 Вт.

Проведен тепловой расчет при температуре 20 °С окружающей среды в программной среде SolidWorks Flow Simulation. Результаты компьютерного моделирования показали, что максимальная температура светодиода составляет 60,6 °С.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В данном разделе рассматривается экономический эффект от проектирования, модернизированного фитооблучателя со светодиодными источниками света, используемого для досвечивания комнатных растений.

Объектом исследования является светодиодный фитооблучатель для комнатных растений. Очевидно, что ценовой фактор является решающим при определении реальной конкурентоспособности светодиода – облучателей в сравнении с используемыми в настоящее время облучателями с натриевыми лампами (ДНаТ).

Целью данного анализа является расчет финансовых затрат на материалы и комплектующие изделия применяемые при конструировании модернизированного фитооблучателя, затрат на заработную плату проектировщика и конструктора и затраты на потребляемую электроэнергию при его эксплуатации.

Благодаря росту излучательной эффективности светодиодов за последние годы и заметному снижению их цены, интерес к использованию облучателей на основе светодиода в растениеводстве постепенно переходит в практическую плоскость.

В условии отсутствия каких-либо надежных данных о связи продуктивности растений с техническими параметрами СД-облучателей, настоящие расчёты будут носить характер предварительных оценок. Тем не менее, они позволят достаточно надёжно сопоставить технико-экономически традиционные на основе ДНаТ и новые облучательные установки (ОУ) на основе светодиодов. Комплект подсветки растений ДНаТ 70 Вт, в сборе стоит 1700 рубль, срок службы 14 000 часов.

При этом мы будем придерживаться, по возможности, реальных данных и условий, соответствующих существующему технологическому процессу растений в теплицах.

4.1 Расчет себестоимости проектирования и конструирования фитооблучателя

4.1.1 Расчет материальных затрат

Финансовые затраты при конструировании экономного варианта, модернизированного фитооблучателя с линзой приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Расчет стоимости материальных затрат

Наименование	Марка, размер	Количество, штук	Цена за единицу, руб.	Сумма руб.
Белый светодиод	NS3W183T	11	30	330
Красный светодиод	997-LXM3-PD01	10	150	1500
Диммируемый блок питания для СД	ARJ-LK30700-DIM	1	843	843
Радиатор	DLED 8,8x14,9мм	1	170	170
Печатная плата на алюминиевой основе	330x12 мм	2	59,15	118,3
Линзы	7.7MMx8.3мм	21	13,45	282,45
Итого				3243,75

4.1.2 Расчет заработной платы проектировщика и конструктора

Расчет ЗП проектировщика и конструктора производится в соответствии с трудоемкостью разработки светотехнических работ.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (4.1)$$

Где Z_m – месячный оклад, F_d – количество рабочих дней в год, M – количество месяцев работы в год. При 5 дневной рабочей неделе количество месяцев работы равно 11,2. При расчете учитывалось, что в месяце 22 рабочего дня и, следовательно, в году 246,4 рабочих дней. Месячные оклады проектировщика и конструктора приведены в таблице 4.2.

Дневной оклад проектировщика составляет 636,4 руб, конструктора – 772,7 руб. Затраты времени $T_{\text{раб}}$ на выполнение работы по каждому исполнителю приведены в таблице 4.2. Районный коэффициент K_p составляет 1,3 (для Томска), премиальный коэффициент $K_{\text{пр}} = 1,4$.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \cdot (K_{\text{пр}} + K_p) \quad (4.2)$$

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ проектировщика равна 32456,4 руб, конструктора – 3940,77 руб. Тогда основная заработная плата рабочего персонала составляет 36397,2 руб.

Дополнительная заработная плата определяется как 10 % от основной зарплаты

$$Z_{\text{доп}} = \frac{Z_{\text{осн}} \times 10}{100} \quad (4.3)$$

Таблица 4.2 – Затраты на основную заработную плату

	Месячный оклад Z_m , руб	Среднедневная ставка, $Z_{\text{дн}}$, руб/день	Затраты времени, $T_{\text{раб}}$, раб.день	Коэффициент $K_{\text{пр}} + K_p$	Основная з/пл, $Z_{\text{осн}}$,руб.
Проектировщик	14000	636,4	30	1,7	32456,4
Конструктор	17000	772,7	3	1,7	3940,77
Итого					36397,2

Дополнительная заработная плата проектировщика равна 3245,6 руб,

конструктора –394 руб.

Тогда, общая затрата на заработную плату проектировщика и конструктора составляет:

$$Z_{\text{общ}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (4.4)$$

$$Z_{\text{общ}} = (32456,4 + 3940,77) + (3245,6 + 394) = 40036,8 \text{ руб}$$

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.5)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы (пенсионный фонд Российской Федерации – 22%, фонд социального страхования Российской Федерации – 2,9%, фонд обязательного медицинского страхования 5,1%). Он равен 0,3.

Для проектировщика

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \times (32456,4 + 3245,6) = 10710,6 \text{ руб}$$

Для конструктора

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \times (3940,77 + 394) = 1300,4 \text{ руб}$$

4.1.3 Накладные расходы

Здесь рассматриваются затраты, связанные с обслуживанием и организацией процесса проектирования и производства.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.6)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, равный 0,7

$$C_{\text{накл}} = 0,7 \cdot 40036,8 = 28025,7 \text{ руб}$$

Таблица 4.3 – Калькуляция затрат на проектирование и конструирование фитооблучателя

Статья затрат	Единицы измерения	Сумма затрат, руб.
Затраты на материалы и комплектующие изделия	руб	3243,75
Общая затрата на заработную плату рабочего персонала	руб	40036,8
Отчисления на социальные нужды	руб	12011
Накладные расходы	руб	28025,7
Итого плановая себестоимость	руб	83317,25

4.2 Эксплуатационные затраты

Таблица 4.4 – Сравнение модернизированного и существующих облучателей

	Фитооблучатель	НПО Фитоватт	МПО Фитоватт	Модернизированный фитооблучатель
Источник света	ДНаТ ЖСП 33-03-11	Светодиоды	Светодиоды	Светодиоды
Потребляемая мощность, Вт	80	36	36	21

Потребляемая мощность световой части модернизированного фитооблучателя рассчитывается по формуле:

$$P_1 = \alpha \cdot \Sigma W_{ис} \quad (4.7)$$

где $\Sigma W_{ис}$ – суммарная установленная мощность осветительного прибора, кВт;

α – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в пускорегулирующем аппарате источников света. КПД выбранного блока питания светодиодов ARJ-DALI-100 составляет не менее 0,9. Тогда коэффициент ПРА в этом случае равен 1,11. Суммарная установленная мощность светового прибора:

$$\Sigma W_{\text{ИС}} = n \cdot P_{\text{сд}} \quad (4.8)$$

где $P_{\text{сд}}$ – мощность светодиода ХНР–35, которая равна 1,3Вт. n – количество используемых светодиодов, равное 21.

Поставив на место все указанные значения, определяем суммарную установленную мощность, и мощность потребления световой части фитооблучателя:

$$\begin{aligned} \Sigma W_{\text{ИС}} &= 21 \cdot 1,3 = 156 \text{ Вт} = 0,027 \text{ кВт} \\ P_1 &= 1,11 \cdot 27 \text{ Вт} = 29,97 \text{ Вт} = 0,029 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Потребляемая электроэнергия за год при эксплуатации облучателя с натриевой лампой (ДНаТ) ЖСП 33-03-11 80, НПО Фитоватт и МПО Фитоватт – 36М в кВт · ч:

$$\begin{aligned} P_{\text{год,ДНаТ}} &= 0,8 \cdot 4380 = 3504 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \\ P_{\text{год,НПО}} &= 0,36 \cdot 4380 = 1576,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \\ P_{\text{год,модерн}} &= 0,21 \cdot 4380 = 919,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

Стоимость электроэнергии, израсходованной за год, может быть определена по следующей формуле:

$$C_{\text{год}} = P_{\text{год}} \times q, \text{ руб} \quad (4.9)$$

q – стоимость электроэнергии 1 кВт · ч, равная 4,63 руб.

$$\begin{aligned} C_{\text{год,модерн}} &= 919,8 \times 4,63 = 4258,67 \text{ руб} \\ C_{\text{год,ДНаТ}} &= 3504 \times 4,63 = 16223,52 \text{ руб} \\ C_{\text{год,НПО}} &= 1576,8 \times 4,63 = 7300,58 \text{ руб} \\ C_{\text{год,МПО}} &= 1576,8 \times 4,63 = 7300,58 \text{ руб} \end{aligned}$$

Средняя стоимость суммарных затрат на электроэнергию за месяц, руб:

$$C_{\text{мес}} = \frac{C_{\text{год}}}{12}; \text{руб} \quad (4.10)$$

$$C_{\text{мес.модерн}} = \frac{4258,67}{12} = 354,89 \text{ руб}$$

$$C_{\text{мес.ДНат}} = \frac{16223,52}{12} = 1351,96 \text{ руб}$$

$$C_{\text{мес.НПО}} = \frac{7300,58}{12} = 608,38 \text{ руб}$$

$$C_{\text{мес.МПО}} = \frac{7300,58}{12} = 608,38 \text{ руб}$$

5 Социальная ответственность

Введение

Главной задачей ВКР является рассчитать и сконструировать светодиодный фитооблучатель со специальной цветовой характеристикой излучателя, соответствующей оптимальным требуемым параметрам и характеристикам излучения для комнатных растений и возможностью управления параметрами излучения.

В данном разделе будут рассматриваться характеристики производственных и экологических опасностей, разработка систем обеспечения производственной и экологической безопасности, организационно-экономическое обеспечение системы безопасности жизнедеятельности при эксплуатации светодиодного фитооблучателя для комнатных растений.

Разработанный светодиодный фитооблучатель используется для досвечивания комнатных цветов. Облучатель должен обладать универсальностью, то есть возможностью применения для облучения различных видов растений.

Целью раздела является идентификация возможных вредных и опасных факторов в комнате жилых домов при эксплуатации светодиодного фитооблучателя и решение вопросов обеспечения защиты от них на основе требований действующих нормативно-технических документов.

5.1 Производственная безопасность

Опасным фактором называется такой фактор, который может привести к травме или гибели человека при однократном кратковременном воздействии. Вредным фактором считается фактор, воздействие которого может привести к заболеванию, а также может вызывать временное или стойкое ухудшение самочувствия.

Таблица 5.1 Опасные и вредные факторы при эксплуатации светодиодного фитооблучателя для комнатных растений.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Выбор осветительной установки; 2. Монтаж.	1. Недостаточное освещение; 2. Пульсация освещенности	1. Электрический ток.	СниП 23-05-95 [37] ГОСТ 12.1.038-82 [39]

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при использовании объекта исследований

5.1.1.1 Недостаточное освещение

Назначение искусственного освещения – создать благоприятные условия видимости, сохранить хорошее самочувствие человека и уменьшить утомляемость глаз. При искусственном освещении все предметы выглядят иначе, чем при дневном свете. Это происходит потому, что изменяется положение, спектральный состав и интенсивность источников излучения. Недостаточное освещение рабочего места вызывает быструю усталость и болезни глаз, снижает внимательность и, следовательно, значительно уменьшает производительность труда, а также увеличивает вероятность несчастных случаев на производстве.

По СниП 23-05-95 [37] норма освещённости в жилых домах на горизонтальной поверхности 0,0 м должно быть не менее 100 лк.

Процессы жизнедеятельности растений находятся в тесной зависимости от интенсивности и спектрального состава света. Некоторыми исследователями показано, что свет разного спектрального состава регулирует рост и развитие, а также фотосинтетические процессы и продуктивность растений. Как известно, из всего спектра для жизни растений важна фотосинтетически активная радиация, находящаяся в пределах от 280 до 750 нм, и физиологически

активная радиация, но наиболее значимы красные лучи, спектр которых находится в пределах от 600 до 700 нм. Внутри спектрального диапазона 280–750 нм условно выделены спектральные области излучения со следующими характеристиками их влияния на растения:

- 280–320 нм отрицательное воздействие на рост и развитие растений;
- 320–400 нм выполняет регуляторную роль в развитии растений;
- 400–500 нм («синий») обладает как субстратным, так и регуляторным воздействием, входит в состав фотосинтетички активной радиации;
- 500–600 нм («зеленый») обладает высокой проникающей способностью, полезен для обеспечения фотосинтеза оптически плотных листьев, листьев нижних ярусов и густых посевов растений;
- 600–700 нм («красный») обладает ярко выраженным субстратным и регуляторным воздействием, его присутствие крайне важно для обеспечения продуктивного фотосинтеза;
- 700–750 нм обладает ярко выраженным регуляторным действием. В небольших количествах (несколько процентов) может входить в состав общего излучения.

На сегодняшний день существует множество видов досветки растений в зависимости от типа освещения. Наиболее распространенными, из которых являются: люминесцентные, ртутные, металлогалогенные, натриевые и светодиодные фитооблучатели.

В светодиодных фитооблучателях используются светодиоды специально подобранного спектра. С помощью комбинации светодиодов можно получить подсветку максимальной эффективности. Красный и синий цвета, смешиваясь, дают фиолетовый цвет. Поэтому светодиодные облучатели светят таким призрачным фиолетовым цветом. Но он, то, как раз и наиболее нужен растениям.

Самый большой минус у фитооблучателей для растения это их цена. Однако, множество достоинств этих фитооблучателей явно это перекрывают. Так, при расчете затрат на электроэнергию и на многочисленную покупку

других видов фитооблучателей за весь срок службы эксплуатации одной светодиодной фитооблучателя – экономия будет неоспорима.

5.1.1.2 Пульсация освещенности

У большинства людей, которые подолгу находятся в помещениях с пульсирующим искусственным освещением или работают за мерцающим монитором, отмечают у себя следующие симптомы:

- боли в глазах;
- усталость глаз;
- повышенный уровень утомления;
- сухость, "песок" и боли в глазах;
- покраснение и слезливость глаз;
- потеря концентрации и понижение внимания;
- общее снижение работоспособности

Данный показатель рассматривается в СНиП 23-05-95 [37]. Максимально допустимое значение коэффициента пульсаций для общего освещения составляет 10%. Коэффициент пульсаций освещенности, создаваемой ОС со светодиодами, обусловлен качеством используемых драйверов. Используемый блок питания фитосветильника LED DRIVER ADAPTER обеспечивает низкий уровень коэффициента пульсаций.

5.1.1.3 Электрический ток

Наиболее часто несчастные случаи, вызванные поражением электрическим током, происходят среди электриков и электромонтеров. Электротравмы чаще всего связаны с неправильным устройством электротехнических установок, отсутствием заземления, применением голых проводов и т. д. Исходы поражений электрическим током зависят от многих условий: характера электрического тока, состояния организма в момент электротравмы, а также обстановки, при которой произошло поражение.

Переменный ток значительно более опасен, чем постоянный электрический ток такого же напряжения. Источники освещения и в том числе светодиодные фитооблучатели работают в переменном токе.

Исход электротравмы в значительной мере зависит от силы тока, пути, по которому ток проходит через тело, и от длительности воздействия. Важнейшее значение для исхода электротравмы имеет психическое состояние и общая реактивность организма в момент воздействия электрического тока. При силе переменного тока до 0,015 А опасности для человека нет, но уже при силе более 0,015 А возможны тяжелые последствия. За величину отпускающей силы тока принята величина 0,01 А, токи силой 0,09-0,1 А и выше являются смертельными.

Даже сравнительно малые напряжения, порядка 110—230 В, при кратковременном контакте с грудной клеткой могут вызывать сбой в работе сердечной мышцы (60 мА для переменного тока, 300—500 мА для постоянного). Удар током может вызвать сбой в работе нервной системы, например, беспорядочные сокращения мышц. Повторяющиеся удары могут вызвать невропатию. Острая электротравма может стать причиной нарастающей асистолии. При поражении головы электрическим током возможна потеря сознания. При достаточно высоких напряжениях и силе тока могут возникать так называемые электрические дуги, наносящие сильные термические ожоги.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений (ГОСТ 12.1.038-82) [38], указанных в таблице 5.2.

Таблица 5.2 Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	U, В	I, мА
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3

Правила безопасности эксплуатации электроустановок потребителей.

1. Область применения «Правил».

В настоящих Правилах изложены основные требования безопасности при эксплуатации электроустановок.

Требования правил распространяются на работников, обслуживающих действующие электроустановки потребителей и являются обязательными для всех потребителей и производителей электроэнергии независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности на средства производства.

2. Обязанности лица, ответственного за эксплуатацию, электроустановок потребителей.

Данное лицо обязано обеспечить:

- надежную, экономичную и безопасную работу электроустановок;
- разработку и внедрение мероприятий по экономии электрической энергии;
- внедрение новой техники и технологии, способствующих более надежной, экономной и безопасной работе электроустановок;
- организацию и своевременное проведение планово-предупредительного ремонта и профилактических испытаний электрооборудования, аппаратуры;
- систематический контроль за графиком нагрузки предпринимут разработку и выполнение мероприятий по снижению потребляемой мощности в часы максимумов нагрузки энергосистемы;
- обучение, инструктирование и периодическую проверку знаний персонала энергослужбы;
- расчетный и технический учет расхода электроэнергии;
- наличие и своевременную проверку средств защиты;
- выполнение предписаний энергонадзора в установленные сроки;
- ведение технической документации, разработку необходимых инструкций и положений.

3. Организация безопасной эксплуатации электроустановок.

Руководитель предприятия обязан обеспечить содержание, эксплуатацию и обслуживание электроустановок в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Для этого он обязан:

- назначить ответственного за исправное состояние и безопасную эксплуатацию электрохозяйства из числа ИТР, имеющих электротехническую подготовку и прошедших проверку знаний в установленном порядке;
- обеспечить необходимое количество электротехнических работников;
- утвердить Положение об энергетической службе предприятия, а также должностные инструкции и инструкции по охране труда;
- установить такой порядок чтобы работники, на которых возложены обязанности по обслуживанию электроустановок вели тщательные наблюдения за порученным и оборудованием;
- обеспечить проверку знаний работников в установленные сроки;
- обеспечить проведение противоаварийных и профилактических испытаний и измерений электроустановок;
- обеспечить проведение технического освидетельствования электроустановок.

5.2 Экологическая безопасность

Светодиодные фитооблучатели экологически безопасны, позволяют сохранять окружающую среду, без специальных условий утилизации. Конструктивен, не содержат ядовитых, вредных и опасных веществ и материалов.

Светодиодные источники света не содержат токсичных веществ, таких как ртуть и их применение является экологически безопасным решением для современного освещения. Благодаря этому для обслуживания и утилизации фитооблучателя не требуется создания специальных условий. Материалы, из

которых изготовлены все комплектующие элементы фитооблучателя, при нагревании не выделяют вредных веществ и газов.

Непосредственная утилизация светодиодного фитооблучателя происходит по стандартной схеме утилизации твердых бытовых отходов. Корпус, отражатели, изготовленные из алюминия, несущие кронштейны из стали, а также пластик вентиляторов отправятся на переработку вторсырья. Отсутствие ртути позволит обойтись без затратного метода демеркуризации использованного изделия и особых условий по сбору и транспортировке отходов. При работе с отходами светодиодных фитооблучателей отсутствует потребность использования дополнительных средств защиты.

Утилизация блока питания по завершении его срока службы должна выполняться в соответствии с требованиями всех государственных нормативов и законов. Блоков питания, вышедших из строя нельзя выбрасывать совместно с бытовыми отходами. Их следует передать в специализированные структуры, которые занимаются утилизацией электронных отходов по Федеральному закону № 89 от 1998г. «Об отходах производства и потребления. Отработавший свой ресурс блок питания подлежит складированию и утилизации в соответствии с принятым в организации порядком утилизации.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К пожарам при монтаже и неисправности облучателей чаще всего приводят всевозможные короткие замыкания, возникающие как при соприкосновении между собой разных проводов, так и при соприкосновении фазного провода с землей.

Короткие замыкания во внутренних проводках происходят вследствие порчи изоляции. Короткие замыкания во внутренних проводках могут происходить не только при непосредственном соприкосновении проводов, изоляция которых потеряла свои свойства. Они могут возникнуть и в результате прохождения тока между проводами, не соприкасающимися друг с

другом, но электрически соединенными между собой вследствие соприкосновения их с металлическими предметами, например, с водопроводными трубами. Короткие замыкания между проводами могут происходить также вследствие влажности окружающей среды, в частности, из-за сырости стен.

В том числе определенную пожарную опасность представляют всевозможные неплотные контакты, например, в местах присоединения проводов к приборам или при сращивании их между собой. Неплотные контакты окисляются и создают большое сопротивление. Они чрезмерно нагреваются и нередко вызывают воспламенение изоляции проводов. Неплотные соединения могут приводить еще и к искрению, что также является возможной причиной возникновения пожаров [37].

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

К простейшим средствам тушения огня относятся ручные огнетушители, песок, грунт и т.п.

Тушение происходит вследствие изоляции горящего предмета от кислорода и сильного охлаждения зоны горения. Первичными средствами пожаротушения является ручные огнетушители типа ОУ-2, ОУ-3. Эти огнетушители предназначены для тушения различных веществ, а также электроустановок под напряжением до 1000В.

Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

При возникновении ЧС, такого как пожар нужно:

1. Если есть возможность отключить электроэнергию;
2. Необходимо вызвать пожарную охрану по телефону «112», «01» (с сотового тел. 01*,112);
3. Определить места возгорания. Полезно знать, что огонь при типичном пожаре всегда ползёт снизу-вверх;
4. Если возможности потушить огонь, то следует оповестить жильцов дома о пожаре;
5. Исходя из ситуации, определится с действием - выбегать на улицу или забегать в квартиру;
6. Покинуть помещение, используя основные и запасные пути эвакуации, передвигайтесь ближе к полу - здесь, как правило, меньше дыма;
7. При необходимости вызывать службу скорой помощи.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Технические средства разрабатываемой адаптивной системы облучения по требованиям защиты человека от поражений электрическим током должны относиться к классу 1 и должны быть выполнены в соответствии по ГОСТ Р МЭК 60598-1 [40] и ГОСТ Р МЭК 60598-2-3-99 [41].

Разрабатываемая адаптивная система облучения при монтаже, наладке, обслуживании и ремонте должна соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-74 и ГОСТ 12.3.002-75[42].

Условия работы персонала разрабатываемой адаптивной системы облучения должны соответствовать санитарным нормам по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[43].

Требования безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте разрабатываемой адаптивной системы облучения должны быть приведены в эксплуатационной документации.

Правила установки и эксплуатации светодиодного фитооблучателя:

- Монтаж, демонтаж и обслуживание светодиодного фитооблучателя осуществляется при выключенном питании сети;

- Во время установки и подключения фитооблучателя руки должны быть сухими;

- При установке фитооблучателя между корпусом облучателя и окружающими предметами должно остаться необходимое пространство, которое не препятствует естественной конвекции.

При загрязнении защитного стекла фитооблучателя необходимо очистить поверхность без использования растворителей, агрессивных моющих и абразивных средств. Очистка производится водой или специальным моющим средством для стекла и пластика. Во избежание нарушения тепловых режимов эксплуатации фитооблучателя необходимо следить за чистотой поверхностей корпуса и ребер радиатора. Очистка производится сухой или слегка влажной тканью

Заключение

Применение светодиодов позволяет конструировать любую цветовую гамму излучателя, а также создавать адаптивные по отношению к изменяющимся условиям облучения, вида растения, стадии его вегетации системы облучения. Для таких систем требуется разработать определенные требования и нормы. Поэтому, прежде всего, мы сделали обоснование основных принципов проектирования фитооблучателей.

Принципы проектирования облучателей для растений:

- облучатель для досветки растений должен обладать определенным базовым спектром излучения;
- облучатель для досветки растений должен обладать определенным базовым потоком излучения;
- облучатель для досветки растений должен иметь возможность изменения спектра излучения;
- облучатель для досветки растений должен иметь возможность изменения падающего потока и длительности облучения;
- облучатель должен, по-возможности, обеспечивать оптимальный режим облучения;
- облучатель для досветки растений должен иметь удобную для монтажа и эксплуатации конструкцию.

Главной задачей было выбрать базовый спектр излучения, который создается подбором светодиодов, излучающих в разных областях спектра. Для досветки комнатных цветов экономичным вариантом является применение двух светодиодов, белого и красного. Экономичный оптимальный двухцветный облучатель может быть разработан на основе применения специального белого светодиода с увеличенной синей составляющей в спектре излучения.

На основе этих принципов разработан облучатель для комнатных растений. Проведен тепловой расчет при температуре 20 °С окружающей среды

в программной среде SolidWorks Flow Simulation. Результаты компьютерного моделирования показали, что максимальная температура светодиода составляет 60,6 °С.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» произведён расчёт себестоимости проектирования и конструирования фитооблучателя материальных затрат, заработная плата проектировщика и конструктора капитальные вложения, накладные расходы, эксплуатационные затраты при использовании светодиодных источников.

В разделе «Социальная ответственность» был проведён анализ вредных и опасных факторов. Разработаны мероприятия при возникновении ЧС и мер по ликвидации её последствий. А также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Список использованной литературы

1. Леман В.М. Курс светокультуры растений. - М.: Высшая школа 1976 – 271 с.
2. Тооминг Х.М., Гуляев Б.И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. - М.: Наука. 1967. - 144 с.
3. Козырев Б.П. Оценка эффективности излучения для растений // Светотехника. - 1971. - № 4 - С. 16 - 17.
4. Клешнин А.Ф. Свет и растение. - М.: Издательство Академии наук СССР. - 1954. - 456 с.
5. Протасова Н.Н., Уеллс Дж. М., Добровольский М.В., Цоглин Л.Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения // Физиология растений. - 1990. - Т. 37. - вып. 2. - С. 386-396.
6. Козырева И. Н. , Корепанов В. И. Методы создания адаптивных энергосберегающих облучательных установок для теплиц // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 9/3. - С. 88-92
7. Холл Д., Рао К. Фотосинтез. - М.: Мир, 1983. - 134 с.
8. Воскресенская Н.П. Фотосинтез и спектральный состав света. - М.: Наука, - 1965. 311 с.
9. А. Гэлстон, П. Девис, Р. Сэттер. Жизнь зеленого растения. - М.: Мир, - 1983
10. Тарчевский И.А. Основы фотосинтеза. М: Казань, - 1971. - 141 с.
11. Тихомиров А.А. Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. - 213 с.
12. Коршиков, И.И. Адаптация растений к условиям техногенного загрязнения среды / И.И. Коршиков. - Киев: Наук. думка, 1996. - 238 с.
13. Соколова Т.А. Химические основы мелиорации кислых почв. М., 1993. 178 с.
14. Рыжик И.В., Макаров М.В. Активизация физиологических

процессов // Материалы конференции РБО. Петрозаводск, сентябрь. 2008. С. 173-174.

15. Красичкова Г. В., Гиллер Ю.Е., Турбин Н.В. Сравнительная характеристика фотосинтетического аппарата различных форм тритикале // Физиология растений, 1982. Т.29. - С.959-963.

16. Н. Г. Бухов. ДИНАМИЧЕСКАЯ СВЕТОВАЯ РЕГУЛЯЦИЯ ФОТОСИНТЕЗА. - М.: Москва, - 2004. С. 825-837

17. Величко В.В., Тихомиров А.А., Ушакова С.А. Влияние различных концентраций CO₂ на разновозрастной конвейер овощных растений. Тезисы докладов VI Съезда Общества Физиологов Растений России. Сыктывкар, 2007. С.461.

18. Матышевская М.С. Метаболизм растения-хозяина при бактериальной инфекции // Фитопатогенные бактерии. - Киев: Изд-во «Наукова думка», 1975. - С. 27-36.

19. Тарчевский И.А. Катаболизм и стресс растений. – М.: Наука, 1993. - 83 с.

20. Усманов И.Ю., Рахманкулова З.Ф., Кулагин А.Ю. Экологическая физиология растений: Учебник. – М.: Логос, 2001. – 224 с.

21. Воронкевич И.В. Краткий обзор работ по бактериозам растений //Фитопатогенные бактерии. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1975. – С. 9-20.

22. Гэлстон А., Девис П., Сэттер Р. Жизнь зеленого растения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 552с., ил.

23. Карначук Р.А., Головацкая И.Ф. Гормональный статус, рост и фотосинтез растений, выращенных на свету разного спектрального состава // Физиология растений. 1998. Т. 45, вып. 6. С. 925–934.

24. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, 2006. – 972 с.

25. Соколов А. В. диссертация кандидата технических наук : 05.20.02 Москва 2015. – 139 с.

26. [Электронный ресурс] Фирмы-производители светодиода

<http://nature-time.ru/2014/08/vred-svetodiodnyih-lamp/>

27. Протасова Н.Н., Уеллс Дж. М., Добровольский М.В., Цоглин Л.Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения // Физиология растений. - 1990. - Т. 37. - вып. 2. - С. 386-396.

28. ГОСТ 30674-99 Блоки оконные из поливинилхлоридных профилей. Технические условия

29. ГОСТ 24699-81 Окна и балконные двери деревянные со стеклопакетами и стеклами для жилых и общественных зданий. Типы, конструкция и размеры

30. ГОСТ Р 54350 Светотехнические требования и методы испытаний

31. ГОСТ Р МЭК 60598-2-3 Светильники. Часть 2. Частные требования.

32. [Электронный ресурс] Программа LightTools

<http://www.lighttools.com/>

33 [Электронный ресурс] Программа Solidworks

<http://www.solidworks.ru/>

34 [Электронный ресурс] Белый светодиод

http://www.mitinor.ru/product_558.html

35 [Электронный ресурс] Красный светодиод

<https://www.chipdip.ru/product/lxm3-pd01>

36 [Электронный ресурс] Линза

<http://ledtop-shop.ru/catalog/svetodiody/linzyConcave-Convex-lens-90-degrees-5050-SMD-lens/32367282738.html?spm=2114.41010308.4.46>.

37 СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

38 ГОСТ 12.1.038-82 Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

39 ГОСТ Р МЭК 60598-1-2011. Светильники. Часть 1. Общие требования и методы испытаний.

40 ГОСТ Р МЭК 60598-2-3-99 ФБУ “Ростовский ЦСМ”

испытательный центр электрооборудования (ИЦ ЭО).

41 ГОСТ 12.2.003-74 (СТ СЭВ 1085-78) ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности (с Изменением N 1).

42 ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2).

43 . СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Chapter 1. Information about the quantum absorption emission of plants in the photosynthetic process vessel

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Саханова Сандугаш Сериккызы		

Консультант кафедры ЛИСТ

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

Консультант – лингвист кафедры ЛИСТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. иностранных языков ФТИ	Надеждина Е.Ю.	к.п.н.		

1.1 Information about the quantum absorption emission of plants in the photosynthetic process vessel

1.1.1 Photosynthetically active radiation

Light with different frequency of emission (and different colors in the visible range) affects growth, plant development and photosynthesis in different ways. Most plants absorb blue and red, but green can be reflected or passed. In the result, leaves use the green light with the least efficiency. That is why the leaves of plants, mostly green. The dependence of the absorption and consumption of energy by plants to the wavelength of light emission energy spectrum is called photosynthetic active radiation (radiation). In fact, photosynthetic active radiation is the flow of the energy of a particular spectrum; usually a power of radiation of PAR is measured in watts of PAR.

PAR is measured with the help of light and radiation quantity. The estimation of the phasic light values is complicated by the need for recalculation. Variety found in the scientific literature values is a big problem in the evaluation of PAR, describing the incident on plants and perceived optical radiation. For example, in Russian literature one can find subsequent units: $\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$, $\text{Einstein}/\text{cm}^2$, $\text{erg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; intensity PAR W/m^2 . Abroad, the evaluation of plant AI on the flux of photons is widespread. They also indicate the density values of photosynthetic photon flux in $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. This approach demands a ratio of quantity of photons and quantity of molecules of the substances capable to perceive her. The number of photons, equal to Avogadro's number ($N_A = 6,026\cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$), is taken as a photon flux unit, named Einstein. Instead of the name of Einstein often used the term, which is the synonym of the term "mol of quanta" lack of a unified approach to measurement of a stream of photons, is undoubtedly connected with lack of an official unit of measure of a photon stream in the international SI system.

The perception of the color components of light by plants and the human eye is very different, so luxmeters and lumens for measuring irradiation of the surface of agricultural crops are not used.

Plants are susceptible to light approximately in the same range, as a human eye. This portion of a light range corresponds from a PAR in the spectral range of 380-710 nanometers. Nevertheless, perception of plants inside this section differs similar in humans. The person has a peak perception of the yellow-green part of the spectrum (about 550 nm). This "optic yellow" is used to excellent perception of visible phenomena and objects. Plants much more effectively perceive red and blue, the peak is located in the area of 630 nm. Figure 1.1, 1.2 illustrates the curves of perceptions of plants and people. Note the differences the lines

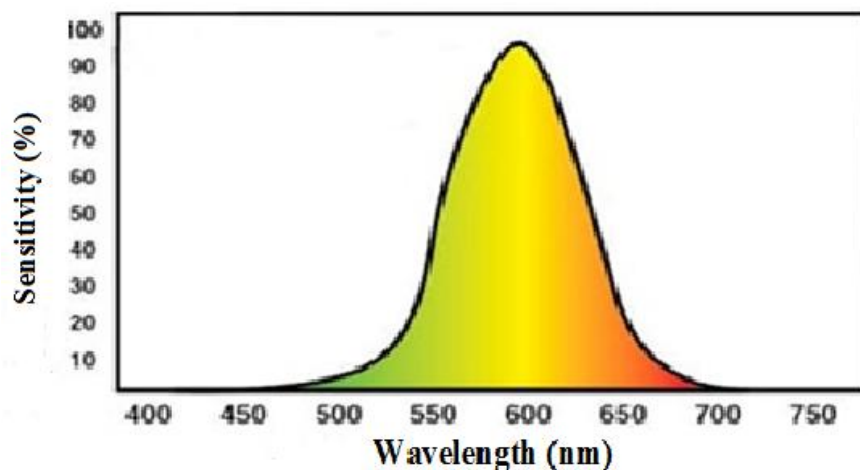


Fig. 1.1 - Range for humans. Perception curves of human

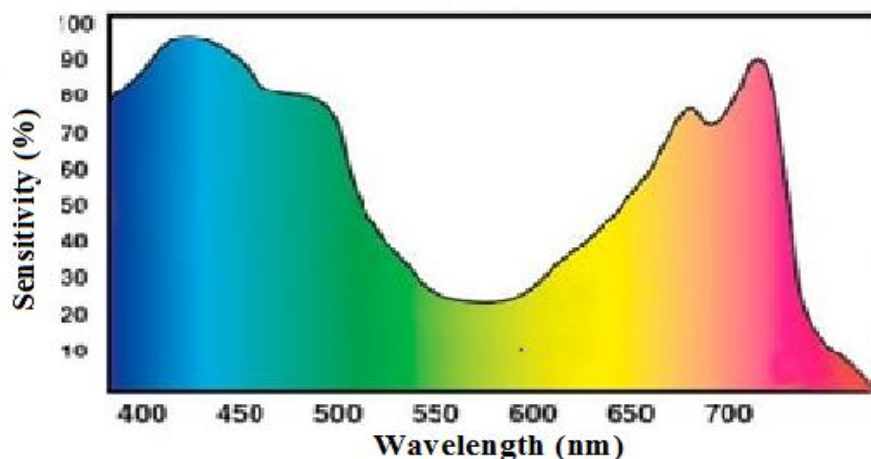
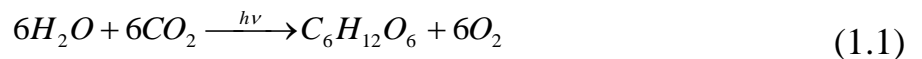


Fig. 1.2 - The range for plants. Perception curves of plants

The energy of light absorbed by plants is spent for a photosynthesis, photomorphogenesis, synthesis of chlorophyll, and a part of energy goes for heating and reradiation. Activity of these processes depends on wavelength. The change in the components of radiation of blue, green and red part of the spectrum is possible in order to influence intergrowth, growth or braking various biological processes and stages of photosynthesis.

1.1.2 Photosynthesis

Photosynthesis - the main process of activity of plants which is responsible for their growth and development. More than 95% of solid of plants are created as a result of this process.



Water + Carbon dioxide + Energy → Glucose + Oxygen

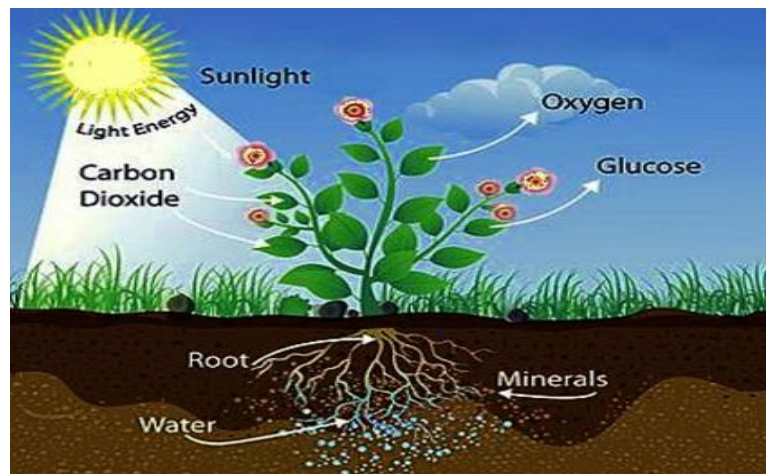


Fig. 1.3 - The work of photosynthesis

The energy source for photosynthesis is predominantly long-wave part of the spectrum (red rays), and the influence of shortwave part (blue-green) is less significant. A leaf of the plant is green just because its surface reflects (it does not absorb) green light. In addition, this property is explained by presence at a green leaf

of a pigment of chlorophyll. Chlorophyll absorbs light (and hence energy) of the red and blue spectrum.

Photosynthesis is a difficult multistage process. Light and dark phases are distinguished.

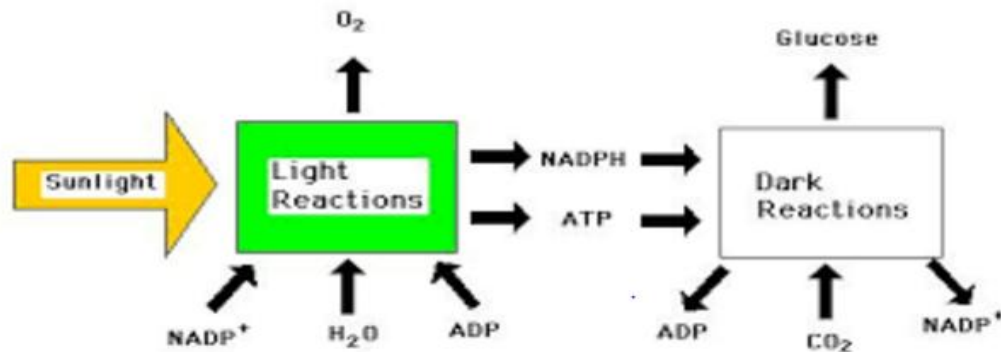


Fig. 1.4 - Scheme of photosynthesis

Light phase of photosynthesis is characterized by the fact that here all the processes take place only with the assistance energy of light, and therefore it is called light. The binding of solar (electromagnetic) energy occurs predominantly on the membranes of the chloroplast thylakoids. The chlorophyll and other pigments located here are assembled into functional units-complexes - pigment systems, called the photosystem.

Thus, light harvesting and pigment-protein complexes of photosystem I and photosystem II provide the process of photosynthesis with the necessary energy in the form of macro-energetic compounds NADP[•] and ATP. The main function of a light phase of photosynthesis consists of it. It is implemented only with the participation of light and by means of the pigments posted in a thylakoid membrane of chloroplasts. Therefore, it becomes evident that the dark phase of photosynthesis is also a complex process involving a large number of reactions. In the process of light phase of photosynthesis of high levels of ATP and NADP[•] is accumulated sufficiently.

However, by themselves, these high-energy compounds are not able to synthesize carbohydrates from CO₂. It therefore becomes evident that the dark phase of photosynthesis is a complex process involving a large number of reactions.

All processes of a dark phase of photosynthesis go without direct consumption of light, but in them the large role is played by high-energy substances (ATP and NADP⁺), formed with participation of energy of light, during a light phase of photosynthesis. In the course of a dark phase energy of microanalytically communications of ATP will be transformed into chemical energy of organic compounds of molecules of carbohydrates. In the process of the dark phase, the energy of the macromolecular ATP bonds is converted into the chemical energy of organic compounds of carbohydrate molecules. This means that the energy of sunlight as would be conserved in the chemical bonds between the atoms of organic substances that has huge value in the energetic of the biosphere and is specifically for activity of all living population of our planet.

1.1.3 Photomorphogenesis

Photomorphogenesis is the processes occurring in the plant under the influence of light of different spectral composition and intensity. But, light does not appear as a primary source of energy, but as a signal medium that regulates the growth and development of plants. You can draw some analogy with a street traffic light, which regulates traffic automatically. Only for management nature chose not "red - yellow - green", but another set of colors: "blue - red - far red".

The term "photomorphogenesis" combines processes which don't depend on the direction and periodic lighting, and are defined by wavelength and intensity of a luminous flux. Probably, in the processes of plant photomorphogenesis certain compounds as pigments play a great role.

The content of these pigments in plants is very small, so the amount of energy needed to saturate the relevant photoprocesses, several orders of magnitude lower than in photosynthesis. While photosynthesis of 8-10 photons of light is necessary for the isolation of only one O₂ molecule, the same number of quanta per cell can completely determine the reproductive fate of the plant or the direction of growth of the whole stem. The responses of plants to the duration of the light period (or day

length) are different. This reaction of plants to day length has received the name of photoperiodism. A short day plants are plants bloom with a short duration of illumination - less than a certain critical value. When length of day exceeds a certain critical value as long day plants are marked. There is also a group of plants which flowering does not depend on length of the day and called neutral plants.

1.1.4 Photoperiodism

Photoperiodism is the reaction of plants to the ratio between the length of day and night, which is manifested in the rate of flowering and fruiting. Depending on duration of the photoperiod of a plant divides into three main groups: plants of short day (for example, millet, a cotton, asters), which reach full development and have the short period of vegetation in the conditions of 8 - 12 - hour day; plants of long day (for example, wheat, rye, barley, oats) which blossom rather and fructify in the conditions of 15-20 - hour day, and neutral plants (for example, a buckwheat, water-melons) in which blossoming and fructification occur irrespective of the duration of the day.

Photoperiodism is connected with a geographical and genetic origin and is means of adaptation of life cycle to living conditions.

Plants a long day take place from Northern latitudes and Southern latitudes. Plants of moderate and Northern latitudes where day is longer, than in the south and thanks to photoperiodism manage to yield a harvest in the conditions of rather short summer. A certain length of day and night is necessary for plants for normal development during not all their life, and only during passing so of an invited light stage.

Photoperiodic irritations are perceived by the leaves, which are formed of a substance, moving on to flower buds, causing their development. Photoperiodism changes depending on temperature, intensity of lighting and quality of light, humidity and mineral food of plants. On photoperiod it is necessary to consider at division into districts of cultures and at their cultivation in the closed soil.

Photoperiodism is inherent also in seeds of many plants (it can sprout or on light, either in the dark, or only at a certain ratio of light and darkness). For practical use photoperiodism of a plant is darkened or they are given additional artificial lighting.

1.2 Quantum absorption emission of plants in the photosynthetic process vessel

In the photosynthetic process vessel light energy is absorbed generally by green pigments. The absorption spectra of the chlorophyll absorption maximum in the red and near-infrared region may be play a special meaning. The matter is that in this region of the spectrum the sun emits maximum quantity of quantum. Energy of "red quanta" is quite enough for implementation of photochemical reactions of photosynthesis.

At absorption of quanta of blue-violet area of a range occurs is a thermal dissipation (dispersion) of a considerable part of energy owing to what power efficiency of photosynthesis in these rays will be less, than in red. Energy efficiency is determined by the number of molecules of the restored CO_2 (or, more precisely, a share of the reserved energy) per unit of absorbed light energy. The figure 1.5 shows the absorption spectra of chlorophylls a and b in comparison with carotenoids.

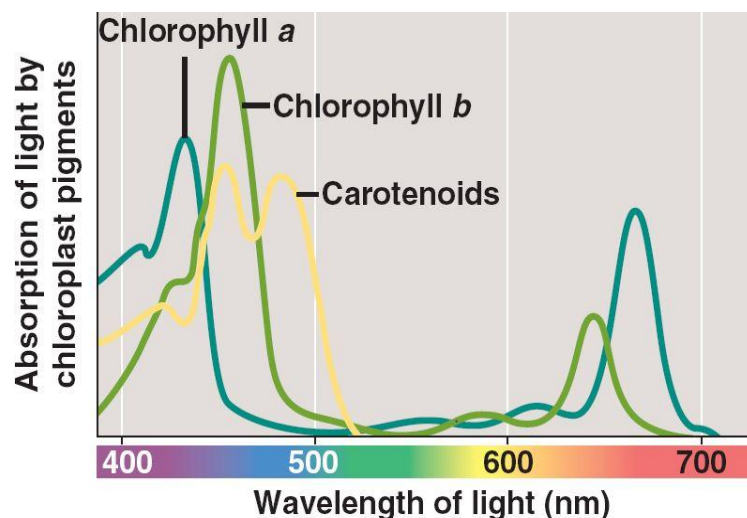


Fig. 1.5 the absorption Spectra of chlorophylls a and b and carotenoids

Chlorophyll absorbs mainly red and violet-blue light; which gives the plants and specific green color; if other pigments do not mask it and reflect the green light. Chlorophyll is the most common pigment of photosynthesis. It exists in several forms, depending on the location in the membrane. Each form hardly differs by position of peak of adsorption in red area; for example, the maximum value can be 670, 680, 690 or 700 nm.

In Fig. 1.6 is a simplified diagram of the energy levels of the chlorophyll molecule. The light absorption in the short wavelength (blue-violet) region of the spectrum leads to emergence of an electron singlet on the second level - S_2^* . When the absorption of quanta of red light there is a transition of electrons from the main S_0 of level to the first singlet S_1^* . Electrons from S_2^* level quickly “fall” on S_1^* , that is followed by loss of a part of energy on thermal dissipation (transition 2) and defines a relatively low energy efficiency of a violet part of a range.

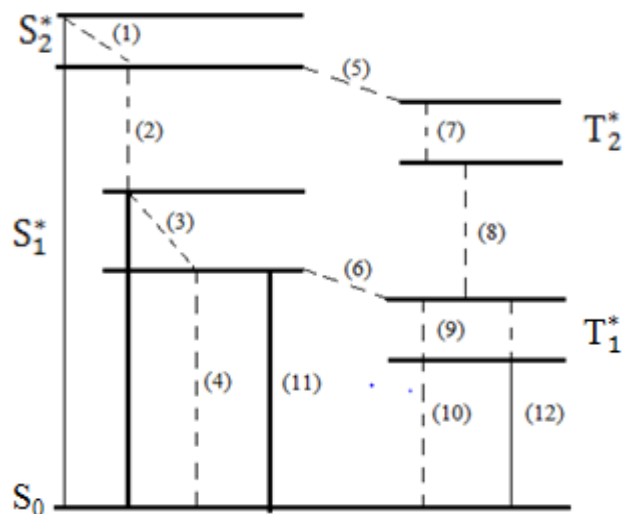


Fig. 1.6 Simplified diagram of the energy levels of the chlorophyll molecule. Transitions of $S_0 \rightarrow S_2^*$ and $S_0 \rightarrow S_1^*$ designate, respectively, absorption of light in short-wave (red) area of a range. T_1^* -and T_2^* – triplet level. Transitions 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 correspond to thermal dispersion of energy of electronic excitement. Transition 11 – fluorescence, transition 12 – phosphorescence

In photochemical reactions take part only electrons, at the level of the S_1^* and, perhaps, at the level T_1^* . These reactions compete with the other two processes of spending energy electronic excited state of chlorophyll molecules: nonradioactive

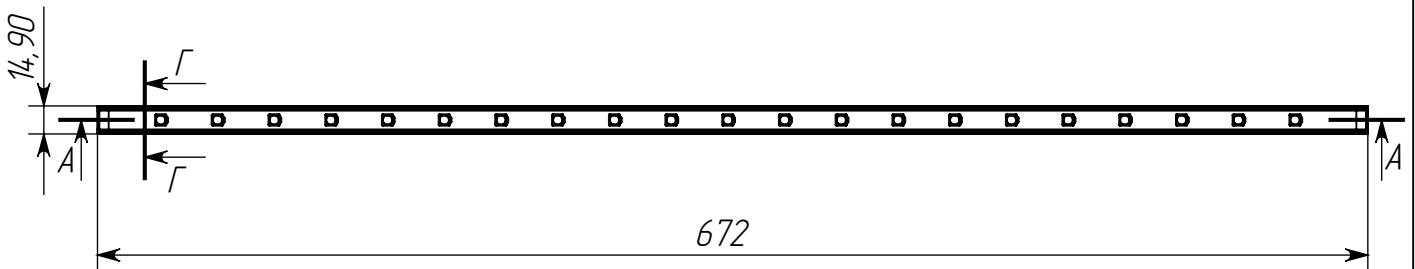
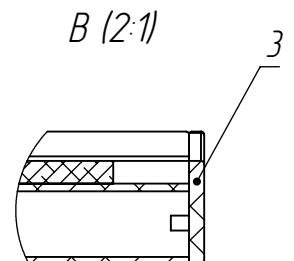
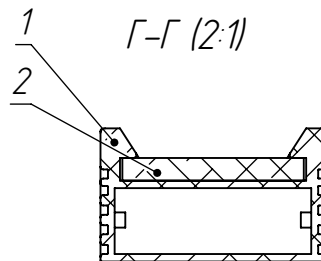
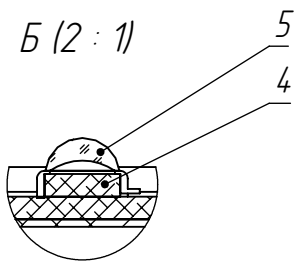
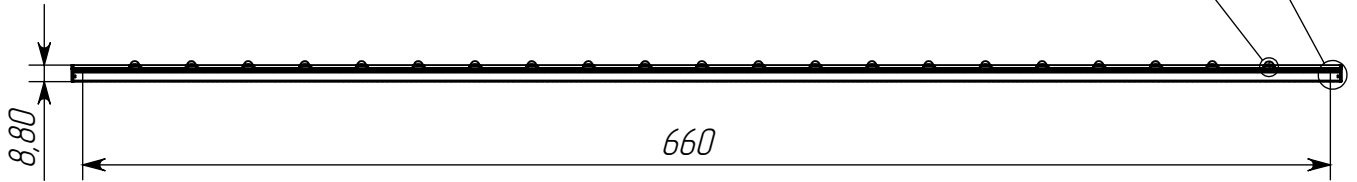
heat dissipation of energy (transition 4 or 10) and luminescence (transition 11 or 12). No matter which of these three ways of energy consumption will take place, an electron from situation S_1^* or T_1^* will move to the main S_0 level.

Depending on conditions the probability of an expenditure of energy of the absorbed quanta on each of three ways can change quite strongly.

Carotenoids the photosynthetic apparatus absorb light in the blue spectral range 280-550 nm. They are called auxiliary pigments as they transfer the light energy absorbed by them to a chlorophyll. Unlike chlorophyll, they have failed to detect measurable fluorescence. Consequently, energy of the quanta absorbed by carotenoids, it would seem, can be spending in only two ways: for the implementation of chemical work and dispersion in the form of heat. However, it was found that carotenoids, as well as all other accessory pigments directly in photochemical reactions do not participate, and transmit energy in electronic excitation of chlorophyll molecules.

ФЮРА. 4ВМ5А

A-A (1:4)



Подпись и дата											
Инв. № дцбл.											
Взам. инв. №											
Подпись и дата											
Инв. № подл.											
					ФЮРА. 4ВМ5А						
					Фитооблучатель	Лит.	Масса	Масштаб			
							93,20гр	1 : 4			
							Лист 1	Листов 2			
							ТПУ	ЛИСТ			
					Алюминий	Группа	4ВМ5А				