

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 12.04.02 «Оптотехника»
Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Эффективная система освещения для многоярусного выращивания гидропонного зеленого корма

УДК 629.979:631.544.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	А.А.Бактыбаев		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	А.Н.Яковлев	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

Научный консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	С.Б.Туранов			

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Е.В.Старикова	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	О.Б.Назаренко	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оптотехники
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий
P3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оптотехники
P4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий
P5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов
P6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оптотехники
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности
P9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Отделение материаловедения
Направление подготовки (специальность) 12.04.02 «Оптотехника»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП «Оптотехника»
ОМ ИШНПТ

(Подпись) _____ (Дата) Е.Ф. Полисадова
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ6А	Бактыбаев Азамат Абдухашимулы

Тема работы:

Эффективная система освещения для многоярусного выращивания гидропонного зеленого корма	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2018 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Отечественная и зарубежная литература по теме работы. Аппаратура – спектрофотометр «ТКА-Спектр», многоярусная гидропонная установка.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор по теме исследования. 2. Разработка методики исследований. 3. Обоснование и выбор методов и средств измерений. 4. Моделирование светильника для многоярусной гидропонной установки. 5. Разработка эффективной системы освещения для многоярусной установки.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Результаты расчетов плотности фотосинтетического фотонного потока. 2. Разработанная модель светильника для многоярусной гидропонной установки. 3. Рассчитанные электрические схемы. 4. Фотографии полученных образцов.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
<i>(если необходимо, с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Е.В. Старикова, к.филос.н.
Социальная ответственность	О.Б. Назаренко, д.т.н.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор	А.Н.Яковлев	к. ф.-м. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	А.А.Бактыбаев		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 127 с., 28 рис., 39 табл., 61 источников, 1 прил.

Ключевые слова: фотосинтез, освещение, облученность, фотосинтетическая активная радиация, светоизлучающий диод, гидропонный зеленый корм, растение, энергосбережение.

Целью работы является разработка эффективной системы освещения для выращивания гидропонного зеленого корма в многоярусной установке.

В результате исследования сделаны выводы о целесообразности применения светодиодных источников для повышения энергоэффективности при выращивании растений в многоярусных гидропонных установках.

Область применения: светотехническая промышленность, сельскохозяйственные структуры, научно-исследовательские лаборатории.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
2. ГОСТ 12.1.033-81 ССБТ Пожарная безопасность. Термины и определения.
3. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
4. ГОСТ 17.4.3.04-85 Охраны природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.
5. ГОСТ 20490-75 Реактивы. Калий марганцовокислый. Технические условия
6. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести

Список основных обозначений и сокращений

ГЗК – гидропонный зеленый корм

ИИ – источник излучения

КСС – кривая силы света

ОУ – осветительная установка

СД – светоизлучающий диод

ФАР – фотосинтетическая активная радиация

Оглавление

Введение	10
1 Обзор литературы	12
1.1 Опто – техническая сторона растениеводства со светодиодным освещением	12
1.2 Функции различных клеток растения	13
1.3 Влияние спектра падающего света на фотосинтез	15
1.4 Обзор энергетических и фотометрических величин	19
1.5 Системы светодиодного освещения для растениеводства и оценка их фитохарактеристик	24
2 Расчет и конструирование осветительной установки для гидропонного оборудования	27
2.1 Обзор отечественных фитосветильников	27
2.2 Моделирование осветительной установки в Light Tools	28
2.3 Расчет эффективности и конструирование фитосветильника в SolidWorks	32
2.4 Патентное исследование фитосветильника для многоярусной гидропонной установки	41
2.5 Описание многоярусной гидропонной установки	46
3 Методика эксперимента	51
4 Анализ полученных данных	58
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
5.1 Предпроектный анализ	68
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	68
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	70
5.1.3 SWOT-анализ	71

5.2 Планирование управления научно-техническим проектом	73
5.2.1 План проекта	73
5.2.2 Бюджет научно-технического исследования	77
5.2.3 Оценка рисков НТИ	82
5.2.4 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования	83
5.2.5 Оценка ресурсоэффективности проекта	85
6 Социальная ответственность	90
Заключение	104
Список публикаций	105
Список используемых источников	106
Приложение А	112

Введение

После охватившего светотехнический рынок от массового применения светодиодов белого цвета свечения в традиционно «ламповых» осветительных приборах появилось еще одно крайне перспективное направление, в котором вполне можно обойтись без люминофора и серьезной оптики. После детального изучения процессов фотосинтеза оказалось, что в освещении растений с целью их интенсивного роста, нужны незаслуженно забытые монохромные светодиоды: красного цвета (на основе арсенида галлия) и синего (подойдут отходы от производства кристаллов InGaN для белых с люминофором). Вот и появилось целое направление в светодиодной отрасли — тепличное освещение. В настоящее время уже имеются первые положительные результаты от его применения у аграриев. Большинство тех производителей, кто расширил парк своей продукции тепличными осветительными приборами, применили самые современные знания о спектральной чувствительности отдельных культур, а производители светодиодов освоили целые линейки приборов для применения в теплицах. Иными словами, рынок тепличного светодиодного освещения сформировался не только идеологически, потребительски и научно: он уже довольно серьезно подготовлен технически.

Светодиодное освещение в растениеводстве имеет хорошие перспективы. Успех же на этом рынке будет зависеть от базового понимания фотосинтеза растений и спектрального распределения мощности освещения, которое требуется для создания оптимально комфортных условий, обеспечивающих здоровье и рост растений, а так же повышение эффективности энергоэффективности.

В данной работе будут рассмотрены все вышеперечисленные вопросы, а так предложено энергоэффективного обоснованного решения для выращивания гидропонного зеленого корма, что было подтверждено как экспериментально, так и обосновано математическими расчетами.

Работа соответствует:

- приоритетному направлению развития науки, технологий и техники Российской Федерации («Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика») и Перечню критических технологий Российской Федерации («Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств»).
- технологической платформе «Развитие российских светодиодных технологий».

Целью работы является разработка эффективной системы освещения для выращивания гидропонного зеленого корма в многоярусной установке. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Определение необходимого и достаточного уровня потока фотосинтетической активной радиации для эффективного роста ГЗК.
2. Оценка влияния светодиодного излучения на содержание хлорофилла и каротиноидов.

Так же, была поставлена инженерная задача по разработке осветительного прибора, для многоярусной гидропонной установки. Для решения данной задачи, необходимо было решение следующих подзадач:

1. Разработка конструкции осветительной установки.
2. Моделирование КСС для равномерного облучения гидропонного зеленого корма на ярусах.
3. Расчет фитоэффективности ОУ.

1 Обзор литературы

1.1 Опто – техническая сторона растениеводства со светодиодным освещением

Термин «гидропоника» произошло от греческого ύδωρ — «вода» и πόνοσ — «работа». Переводится термин по-разному: «вода за работой» или «работа на воде» или «работа воды». Передаваемое значение вполне прозрачно. Слово «гидропоника» в общем и целом описывает не какую-то одну технологию, а охватывает множество разных методов.

Рассмотрим основные преимущества выращивания растений гидропонным методом. В первую очередь, следует отметить следующее: растения изолированы от вредоносных насекомых, пестицидов и токсинов содержащихся в обычной почве. Гидропоника дает возможность выращивать здоровые крепкие растения, не подверженные обычным заболеваниям. Благодаря тому, что корни активно развиваются в воде или в любом виде субстрата они постоянно находятся на виду, что в значительной степени облегчает наблюдение за состоянием их здоровья, уровня рН и достаточности питательных веществ. Свойство высокой плотности высадки помогает максимизировать эффективность использования площади. Использование субстратов стимулирует ветвящееся развитие корневой системы, что сокращает занимаемую ей площадь. В среднем плотность засадки уваливается на 70-100% в зависимости от типа растений. За счет высокой степени впитывания питательных веществ и минералов непосредственно через корни, рост и развитие растений ускоряется в 1,5 – 2 раза, что позволяет получать несколько урожаев в год. При почвенном методе выращивания большое количество воды и питательных веществ уходят «в никуда», рассеиваясь в почве за пределами досягаемости корней или испаряясь с ее поверхности. Так как при гидропонном методе растение располагается в контейнере, трубе или другой емкости, 100% объема жидкости и питательных веществ используется для его роста и

развития. Многие культуры, выращенные на гидропонике, имеют более богатый вкус и аромат, так как и сбор начинается на стадии созревания. Например, в томатах это выражено появлением характерного красного оттенка (проявлением ликопина) и образования околосеменного геля, дающего характерный вкус плода. При почвенном выращивании, особенно в промышленных масштабах, томаты собираются зелеными сразу по достижению нужного размера, далее обрабатываются этиленом, который стимулирует проявление ликопина, но не влияет на вкус. В результате плод приобретает характерный окрас, но остается безвкусным и практически не имеет запаха.

Теперь, рассмотрим три основных недостатка гидропонного метода. Во-первых, это необходимость более тщательного ухода. Почва, как природная среда, обладает буферностью. Обычно при значительном нарушении уровня pH или баланса микроэлементов, почва постепенно сама приводит показатели к норме. При гидропонном методе необходим тщательный контроль за уровнем pH и содержанием различных элементов в среде роста. Для этого достаточно тщательно выверять дозировку питательных веществ, которые используются для подкормки растений. Во-вторых, угроза перегрева. Температура – один из важных лимитирующих факторов при использовании гидропонике. Температура 18-22⁰С в пределах корневой зоны является оптимальной для большинства культур и стимулирует активный рост растений. В-третьих, гидропоника подходит далеко не ко всем растениям. Точнее ее можно адаптировать для любой культуры, но это потребует дополнительных знаний и вложений.

1.2 Функции различных клеток растения

Фотосинтез — это процесс, который используется растениями для преобразования электромагнитного излучения (света) в химическую энергию, необходимую для их роста и развития. Все, что нужно для этого процесса, — диоксид углерода (CO₂), питательные вещества и вода. Сам процесс не является

особо эффективным; только 4 — 6% от поглощенного излучения преобразуется в химическую энергию [1]. Тем не менее, это именно тот двигатель, который в наибольшей степени управляет жизнью на нашей планете. Фотосинтетически активное излучение (Photosynthetically Active Radiation, PAR) определяется как электромагнитное излучение в спектральном диапазоне 400 — 700 нм, которое фотосинтезирующие живые организмы способны использовать в процессе фотосинтеза, чтобы превратить углерод из CO_2 в углеводы. Измерение фотосинтетически активного излучения в растениеводстве, как для научно-исследовательских целей, так и для проектирования систем парникового освещения, осуществляется специальными фотометрами [2].

Условная единица измерения для PAR — это фотосинтетическая плотность потока фотонов (Photosynthetic Photon Flux Density, PPF), которая выражается в единицах моль на квадратный метр в секунду. (Моль — единица измерения, используемая в химии для выражения количества атомов в веществе, которое эквивалентно числу атомов в 12 г изотопа углерода-12, что соответствует числу Авогадро, значение которого, обозначаемое как N_a , равно $6,022 \times 10^{23}$ атомов (в данном случае фотонов) на моль.). В этом случае каждый фотон поглощается, независимо от его длины волны (и, следовательно, энергии), и, как предполагается, в равной мере участвует в процессе фотосинтеза. Это происходит в соответствии с законом Штарка — Эйнштейна, который гласит, что между длинами электромагнитных волн в диапазоне 400 и 700 нм каждый фотон (или квант), который поглощается, будет возбуждать один электрон, независимо от энергии фотона. По этой причине поток фотосинтетических фотонов также называют квантовым потоком.

Поглощение листьями растений любого фотона с данной длиной волны зависит от спектрального коэффициента поглощения листа, который, в свою очередь, определяется в основном его оптическими свойствами, в том числе концентрацией растительных фотопигментов, таких как хлорофиллы А и В, различные каротиноиды (каротины и ксантофиллы) и антоцианы. Хлорофиллы несут ответственность за характерный зеленый цвет листьев. Каротиноиды и

антоцианы вносят вклад в желтый, оранжевый и красный цвета, которые проявляются в осенних листьях после разложения хлорофилла.

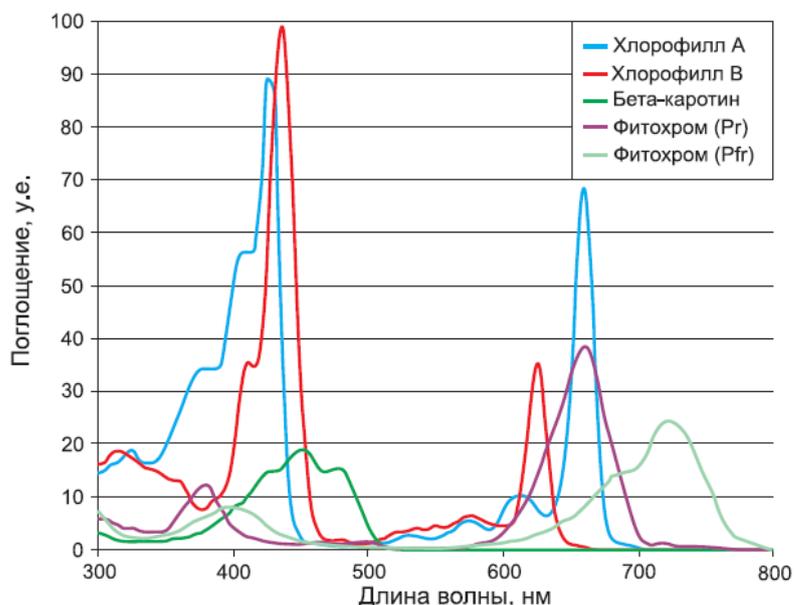


Рисунок 1.1 — Спектральные характеристики поглощения фотопигментов [2]

Типичные спектры поглощения хлорофилла А, хлорофилла В, бета-каротина и двух изоформ фитохрома показаны на рисунке 1. Следует отметить, однако, что эти спектры являются приблизительными. Они измерялись в пробирке путем растворения пигментов из экстрактов в растворителе, который оказывает влияние на поглощение спектра. Обычно полагается, что использования синих и красных светодиодов будет вполне достаточно для целей растениеводства. В действительности, дело обстоит гораздо сложнее.

1.3 Влияние спектра падающего света на фотосинтез

В конце XX века, МакКри (McCree) в исследовании [3] показал измерение квантового выхода поглощения CO_2 для листьев 22-ух видов культурных растений (квантовый выход фотосинтеза определяется как мкмоль

двуокиси углерода, ассимилированной (поглощенной) листом в расчете на каждый поглощенный им квант света). Используя измерения с интервалом в 25 нм для всех видов растений, он выделил эффективный участок спектра (рисунок 1.2), который является наиболее характерным для большинства культурных растений.

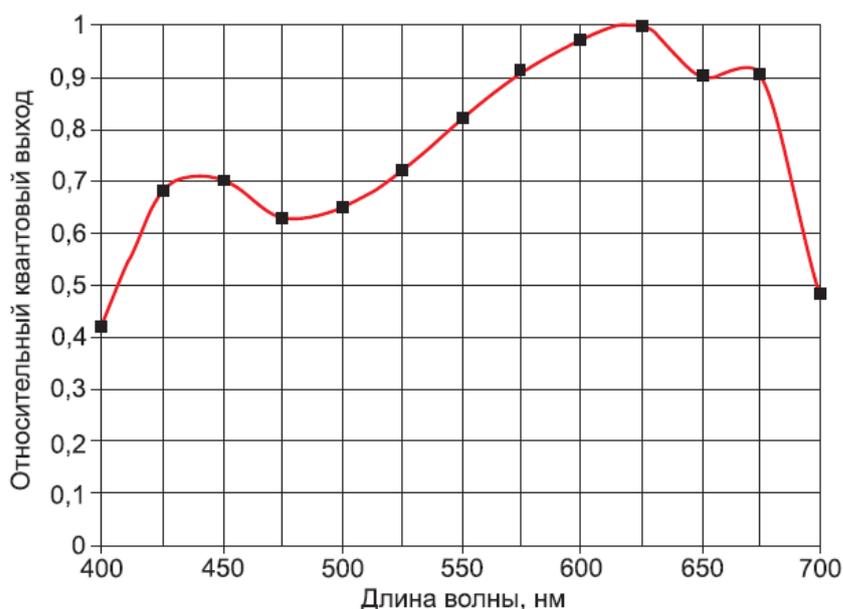


Рисунок 1.2 — Влияние спектра на фотосинтез для культурных растений [3]

Действие, оказываемое спектром, здесь представлено простым графиком, показывающим его биологическую эффективность в зависимости от длины волны падающего света. Как отмечает МакКри в [3], PPFD не является идеальным показателем фотосинтетически активного излучения по той причине, что в этом случае систематически завышается эффективность синего света по отношению к красному. Тем не менее, это представление весьма полезно, хотя бы потому, что этот показатель не зависит от какого-либо конкретного вида растений и может быть измерен как в лаборатории, так и в полевых условиях с помощью спектрометра со спектрально калиброванным квантовым датчиком, таким как LI-190SA от компании LI-COR [4].

Для инженеров, работающих в области облучения растениеводства, может показаться подозрительным, что все фотосинтетически активное

излучение находится в спектральном диапазоне от 400 до 700 нм. Именно этот диапазон берут за диапазон электромагнитных волн, воспринимаемых нашим человеческим зрением. А как насчет более коротких волн?

В диапазоне длин волн ниже 400 нм существует риск, что при фотоокислении образуются токсичные радикалы, которые могут разрушить хлорофилл клетки и другие клеточные компоненты. Под сильным ультрафиолетовым излучением виолаксантин, который участвует в процессе фотосинтеза, преобразуется с помощью цикла ксантофилла в зеаксантин. При этом он получает энергию от хлорофилла и освобождает ее в виде тепла. Этот процесс, таким образом, осуществляет фотозащиту растений от ультрафиолета. В то же время другие фотопигменты растений, в том числе криптохромы и фототропины, не имеют такой чувствительности (при измерении в пробирке) и не реагируют на ультрафиолет и, вероятно, дают реакцию в условиях наличия недостаточной освещенности.

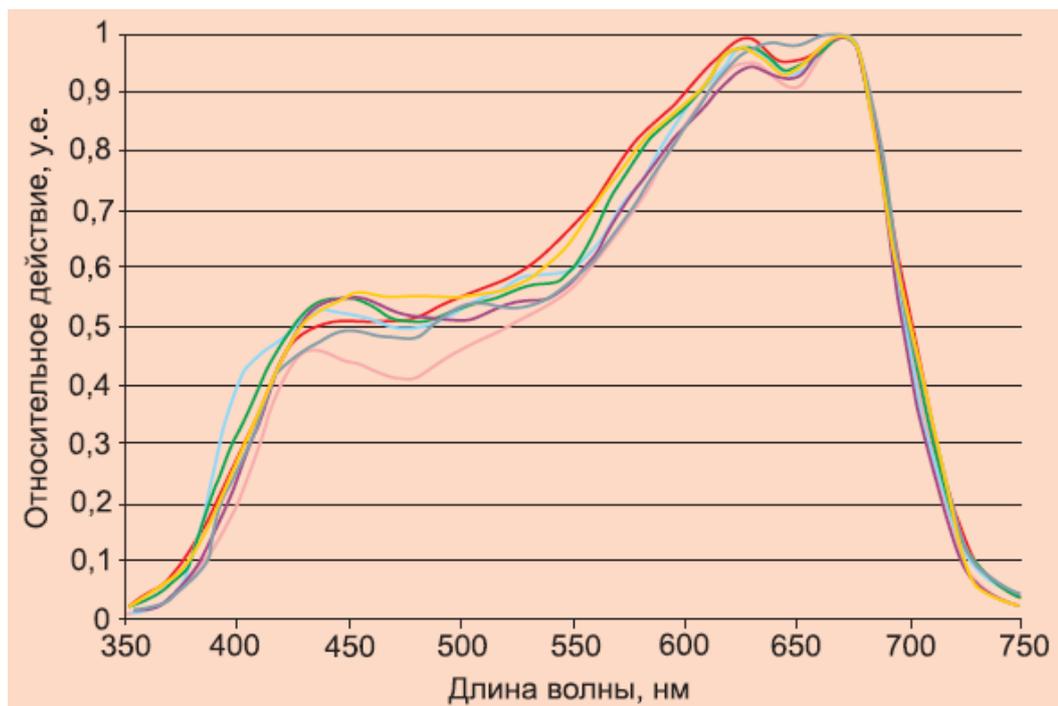


Рисунок 1.3 — Показатель активности спектра четко объясняет логику поведения в спектральном диапазоне 400–700 нм

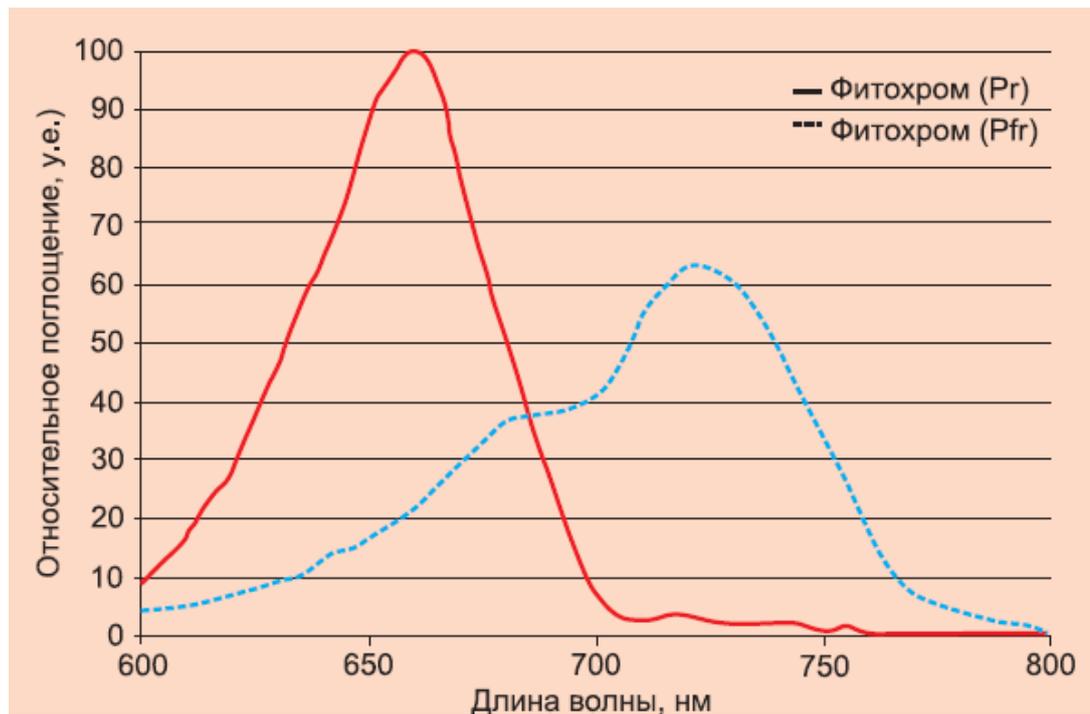


Рисунок 1.4 — Фотохромная активность спектра

Тем не менее, активность этих составляющих, вероятно, подавляется в условиях высокой освещенности благодаря синтезу ксантофилла. При длинах волн выше 700 нм энергия фотона является слишком низкой, чтобы активировать процесс фотосинтеза с помощью хлорофиллов и различных каротиноидов. Тем не менее, фитохромный фотопигмент, который отвечает за выход в трубку, развертывание листьев, а также уклонение от затенения, восприятие соседнего растения, прорастание семян, стимулирование начала цветения, имеет две изоформы, называемые Pr и Pfr.

В основном состоянии фитохром — Pr имеет пик поглощения спектральной плотности 660 нм. Когда поглощается красный фотон, он преобразует фитохромный фотопигмент в состояние — Pfr, которое имеет спектральный пик поглощения 730 нм. Когда молекула фитохрома поглощает инфракрасный фотон, она преобразуется обратно в состояние Pr, вызывая при этом физиологические изменения в растении. Хлорофилл листьев является прозрачным для инфракрасного излучения. Таким образом, фитохромный механизм сигнализации оптимально подходит для целей чувствительности к

измерениям условий освещения на лесных этажах и в присутствии соседних растений, соревнующихся за доступность прямых солнечных лучей.

1.4 Обзор энергетических и фотометрических величин

Развитие различных направлений светотехники, конструкции осветительных приборов, представлений о природе электромагнитного излучения, использования энергии света (излучения) в различных сферах науки и техники и т.д. явилось результатом чрезвычайного разнообразия величин, количественно характеризующих свет (излучение) как природное явление [5, 6, 7, 8]. Различают объективные величины, характеризующие энергетическую сторону излучения электромагнитных волн, и субъективные (световые) редуцированные фотометрические величины, связанные с особенностями восприятия света человеческим глазом.

К объективным величинам относятся:

Энергия излучения, W_e (лучистая энергия) – энергия, передаваемая в виде электромагнитного излучения (переносимая оптическим излучением). Единица измерения – Дж.

Поток излучения, Φ_e (лучистый поток) – это мощность излучения, т.е. количество переносимой энергии излучения (оптического излучения) dW_e за малый промежуток времени dt . $\Phi_e = dW_e/dt$. Единица измерения – Дж/с = Вт

Сила излучения, I_e (энергетическая сила света) – это пространственная плотность потока излучения (оптического излучения), т.е. величина, характеризующая распространение плотности потока излучения в пространстве. Она численно равна отношению потока излучения $d\Phi_e$ к телесному углу $d\Omega$, в пределах которого поток распространяется и равномерно распределяется. $I_e = \Phi_e/d\Omega$. Единица измерения – Вт/ср.

Телесный угол, Ω – часть пространства, ограниченного конической поверхностью (т.е. множеством лучей, выходящих из одной точки). Мерой телесного угла является отношение площади S участка, вырезаемого из

поверхности сферы телесным углом (конусом) с вершиной в ее центре, к квадрату ее радиуса, $\Omega = S/R^2$, [м²/ м²]. Единица измерений – ср (стерадиан).

Облученность, E_e (энергетическая освещенность) – поверхностная плотность потока излучения, т.е. величина, характеризующая распределённую плотность потока излучения на поверхности. Она численно равна отношению потока излучения $d\Phi_e$ к площади облучаемой поверхности dS . $E_e = d\Phi_e/dS$. Единица измерения – Вт/м².

Субъективными величинами являются:

Световая энергия, W_v – энергия, передаваемая в виде электромагнитного излучения, которая вызывает у человека зрительные ощущения. Световая энергия является некоторой долей от энергии, переносимой оптическим излучением (энергии излучения). Размер этой доли зависит от чувствительности человеческого глаза к различным длинам волн в спектре излучения. Единица измерения – Дж = лм × с. Световая энергия в системе редуцированных фотометрических величин является аналогом величины энергии излучения (W_e) в системе энергетических фотометрических величин.

Световой поток, Φ_v – количество переносимой электромагнитным излучением световой энергии dW_v за малый промежуток времени dt . $\Phi_v = dW_v/dt$. Т.е. это величина, оценивающая поток излучения Φ_e по зрительным ощущениям человеческого глаза. *Световой поток* является некоторой долей потока излучения. Размер этой доли зависит от чувствительности человеческого глаза к различным длинам волн в спектре излучения. Единица измерения – лм (люмен). *Световой поток* в системе редуцированных фотометрических величин является аналогом величины потока излучения (Φ_e) в системе энергетических фотометрических величин.

Сила света, I_v – это пространственная плотность светового потока, т.е. величина, характеризующая распространение плотности светового потока в пространстве. Она численно равна отношению светового потока $d\Phi_v$ к

телесному углу $d\Omega$, в пределах которого световой поток распространяется. $I_v = d\Phi_v/d\Omega$.

Освещенность, E_v – это поверхностная плотность светового потока, т.е. величина, характеризующая распространение плотности светового потока на поверхности. Она численно равна отношению светового потока $d\Phi_v$ к площади освещаемой поверхности dS . $E_v = d\Phi_v/dS$. Единица измерения – лк (люкс). Освещенность в системе редуцированных фотометрических величин является аналогом величины облученность (E_e) в системе энергетических фотометрических величин.

Фотосинтетически активное излучение (фотосинтетически активная радиация, ФАР) – поток излучения в диапазоне (в зарубежной литературе к ФАР (photosynthetic photon flux density, PPF) относят поток излучения в диапазоне от 400 до 700 нм. С энергетической точки зрения для большинства источников излучения отличие составляет не более 1%) от 3800 до 710 нм, энергия которого наиболее эффективно воздействует на физиологические процессы фототрофов (фотосинтез, синтез пигментов, фотопериодизм, фототаксис, фототропизм) [9].

ФАР является частью потока физиологически активного излучения, который кроме ФАР включает ультрафиолетовое (УФ) и инфракрасное излучение (ИК). УФ и ИК, так же как и ФАР, воздействуют на процессы роста и развития клеток, но для нормального существования многих фототрофов энергия ФАР, в отличие от энергии УФ и ИК, является необходимой и достаточной. Уровень ФАР на рабочей поверхности гидропонной многоярусной установки для выращивания низкокультурных растений выражается в единицах облученности Вт/м².

Таблица 1.1 — Сравнительная таблица объективных и субъективных фотометрических величин

Объективные		Субъективные	
Наименование	Формула	Наименование	Формула
Энергия излучения, Дж	W_e	Световая энергия, лм х с	W_v
Поток излучения, Вт = Дж/с	$\Phi_e = \frac{dW_e}{dt}$	Световой поток, лм = Дж/с	$\Phi_v = \frac{dW_v}{dt}$
Сила излучения, Вт/ср	$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$	Сила света, кд = лм/ср	$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$
Облученность, Вт/м ²	$E_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$	Освещенность, лк = лм/м ²	$E_v = \frac{d\Phi_v}{dS}$

Определение спектральной фотосинтетической эффективности растения, произведенное по спектрам поглощения излучения хлорофиллом $\alpha(\lambda)_{\text{хл}}$ и каротиноидами $\alpha(\lambda)_{\text{к}}$ по формуле 1.1 [10] позволило сформулировать технические требования к растениеводческим лампам.

$$K_p(\lambda) = \frac{\lambda}{680} [\alpha(\lambda)_{\text{хл}} + 0,5 \cdot \alpha(\lambda)_{\text{к}}] \quad (1.1)$$

До этого эффективность применения для искусственного облучения растений тех или иных источников света оценивалась только экспериментально, что требовало больших затрат времени и средств. При этом результаты полученные различными экспериментаторами, нередко носили противоречивый характер и были трудно сопоставимы, так как в одних случаях измерялась облученность (Вт/м²), в других – освещенность (лк).

Полученные по указанному выше выражению расчетные значения были приняты за спектральную фотосинтетическую эффективность и положены в основу разработанного отраслевого стандарта [11] Разработка [11] была встречена с одобрением заинтересованными предприятиями и организациями. По проекту ОСТ было получено около 30 положительных заключений и только одно отрицательное, доводы которого изложены в [12], в основном сводились к

преждевременности введения фотосинтетически эффективных величин и единиц и к целесообразности использования исключительно энергетических единиц в области ФАР. Имеется также публикация [13], в которой, в частности, отмечается, что практика применения эффективных величин «вряд ли принесла пользу». Однако стандарт утвержден и в течение ряда лет успешно работает. В одной из последних работ [14] призывается отказаться от ОСТ 16.0.689.027.74.

Рассмотрим, какие изменения произошли в области оценки излучения ламп в растениеводстве, за период от первой [12] до последней публикации [14]. На основе функций спектральной эффективности растений и понятия фотосинтетически эффективного потока источников оптического излучения разработаны, внедрены в производство в конце XX-го века и используются в народном хозяйстве высокоэффективные лампы типов ДРФ1000, ЛФ40-1, ЛФ40-2. Преимущества и эффективность их применения при выращивании растений описаны в [15–20].

Во ВНИИИС разработан был прибор фитофотометр, для измерения фотосинтетически эффективного потока (фитопотока) источников света. Конструкция и принцип его действия описаны в [21]. С 1973 г. с помощью этого прибора измеряется фитопоток растениеводческих ламп ДРЛ400 и ДРФ1000 на СПО «Светотехника» и во ВНИИИС. Прибор прошел опробование в Академии Наук НРБ и получил высокую оценку [22]. Ученые ПНР, используя кривую относительной спектральной фотосинтетической чувствительности растений, стандартизованную ОСТ 16.0.689.027.74, провели исследования по выбору наиболее эффективных для облучения растений газоразрядных ламп высокого давления. Результаты исследований были доложены на Всемирном электротехническом конгрессе в Москве в 1977 г. [23].

Проект стандарта, основанного на функции спектральной эффективности фотосинтеза среднего листа растения, представленный СССР, был одобрен рабочим совещанием специалистов стран участниц СЭВ по теме, предусматривающей разработку энергетических основ и технических средств

применения оптического излучения в растениеводстве (ГДР, Гросбеерен, 1975 г.). Таким образом, идея оценки ламп по их фотосинтетически эффективной отдаче не изжила себя, а еще более окрепла и приобретает до сих пор все больше приверженцев по всему миру.

Что касается измерений излучения ламп в энергетических единицах, то они могут применяться для контроля облученности в производственных условиях, когда известен фотосинтетически эффективный поток ламп. Однако без учета функции фотосинтетической эффективности растений невозможно создать специальные лампы для растений.

1.5 Системы светодиодного освещения для растениеводства и оценка их фитохарактеристик

В настоящее время наиболее распространенным источником света для освещения парников, который обычно используется в дополнение к дневному свету в течение зимних месяцев, являются натриевые лампы высокого давления (High-Pressure Sodium Lamp, HPS). Тем не менее, с ростом интереса к городскому растениеводству, которое опирается исключительно на электрическое освещение, светодиоды обладают многими преимуществами. Это особенно верно для систем выращивания овощей в многоуровневых теплицах, где используются близко расположенные стойки с поддонами, на которых выращиваются растения в виде многоуровневых вертикальных конструкций. В таких условиях применение натриевых ламп высокого давления является непрактичным. МакКри в [24] отмечает, что относительный квантовый выход излучения спектра, влияющего на урожайность фотосинтеза, имеет два пика с длинами волн в 440 нм и 620 нм. Он также отметил, однако, эффект Роберта Эмерсона (Robert Emerson), который заключается в том, что красный свет с длиной волны более 700 нм, относительно малоэффективный в фотосинтезе высших растений, становится вполне эффективным, если

использовать его совместно с более коротковолновым красным светом. Это явление, названное эффектом усиления Эмерсона, было положено в основу гипотезы, согласно которой фотосинтез включает две разные световые реакции, и оптимальные условия создаются для него в том случае, когда две эти реакции протекают одновременно. В частности, добавление белого или синего света к источнику длинноволнового красного света может с успехом увеличить скорость фотосинтеза. Зеленый свет также используется в процессе фотосинтеза. Было установлено, что зеленый свет воздействует на фотосинтез в самом теле листа более эффективно, чем красный или синий [25]. Кроме того, насекомые, которые используются в теплицах для опыления и в качестве средств биологической борьбы с вредителями, лучше видят в зеленой и ультрафиолетовой областях спектра. Вполне вероятно, что именно по этой причине многие садоводческие светодиодные осветительные модули содержат InGaN-светодиоды с эффективной длиной волны 450 нм, а также синие светодиоды и AlInGaP темно-красные светодиоды с длиной волны 660 нм. Типичным примером таких светодиодных модулей является Philips Luxeon, которые сочетают в себе «королевский синий» и «насыщенный красный» цвет излучения [26]. Оба этих источника света весьма эффективны, так как превращают в видимый свет около 45% от подводимой к ним электрической мощности. Зеленые светодиоды, хотя и являются весьма полезными, редко используются из-за их гораздо меньшего КПД излучения. Однако в ближайшее время эта ситуация может в корне измениться, поскольку компания OSRAM Opto недавно объявила о разработке InGaN зеленых светодиодов с 25% внешнего квантового выхода на длине волны 530 нм.

Для прогрессивного роста растения, необходимо существование области фотосинтетической активной радиации (ФАР). ФАР — это часть излучения видимого оптического диапазона, к которому растение наиболее восприимчиво и которое необходимо и достаточно для обеспечения жизнедеятельности и образования биомассы в процессе фотосинтеза [27 – 31].

Принятый за рубежом диапазон ФАР в 400 – 700 нм несколько отличается от отечественных 380 – 710 нм [32, 29, 30, 33, 34], 380 – 720 нм [35]. Однако данное различие несущественно отражается на измерении ФАР [32]. Измерение лучистой энергии, падающей на растения и поглощаемой ими, исключительно важно для облучательной техники. ФАР измеряется энергетическими и световыми величинами [30].

Оценка ФАР по световым величинам усложнена из-за необходимости пересчета. Об отсутствии среди исследователей единого подхода к определению ФАР свидетельствует разнообразие встречающихся в научной литературе величин, характеризующих падающее на растения и воспринимаемое ими оптическое излучение.

Например, в отечественной литературе можно встретить следующие единицы измерения: $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{мин}^{-1}$ [32], $\text{Эйнштейн}/\text{см}^2$, $\text{эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ [30, 35, 36]; интенсивность ФАР, $\text{Вт}/\text{м}^2$ [37, 38]. За рубежом распространена оценка растениеводческих источников излучения по потоку фотонов. Зарубежные исследователи указывают значения плотности фотосинтетического потока фотонов в $\text{мкмоль}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) [28, 39]. Такой подход требует корреляции числа фотонов с количеством молекул вещества, способных его воспринять. Число фотонов, равное числу Авогадро ($N_A = 6,026 \times 10^{23}$ моль⁻¹), принято в качестве единицы фотонного потока, получившей название «Эйнштейн». Но вместо такого наименования нередко используется термин, являющийся его синонимом, — «моль квантов» [27].

Отсутствие единого подхода к измерению потока фотонов, безусловно, связано с отсутствием официальной единицы измерения фотонного потока в международной системе СИ [40].

2 Расчет и конструирование осветительной установки для гидропонного оборудования

2.1 Обзор отечественных фитосветильников

Первое производство отечественных тепличных облучателей, предназначенных для досвечивания рассады было налажено в 1972 году на Кадошкинском электротехническом заводе (в настоящее время ОАО «КЭТЗ» выпускает светотехническую продукцию марки Galad). Облучатели комплектовались лампами ДРЛФ-400, выпускаемыми СПО «Лисма» (г. Саранск) на базе ДРЛ-400.

Облучатели ОТ – 400 и ОТ – 400М состоят из корпуса, снабженного узлом подвеса в виде стальной скобы, фарфорового патрона, газоразрядного источника излучения, отрезков кабеля с трехштырьковой вилкой. Облучатели имеют модификации: ОТ – 400И (ОТ – 400МИ) и ОТ – 400Е (ОТ – 400МЕ), с коэффициентом мощности около 0,5 – 0,55. К недостаткам марки «ОТ» относят: значительные потери светового потока в верхнюю полусферу. Были разработаны облучатели с большей единичной мощностью: ОТ – 1000МИ-011, ОТ – 2000 (с лампой ДРОТ – 2000, обладающей низким сроком службы: 2 – 3 тысяч часов).

Облучатель тепличный «Фотос» типа ОГС01 работает в трехфазной системе переменного тока с глухозаземленной нейтралью, с номинальным линейным напряжением 380 В. Состоит из корпуса, блока пускорегулирующей аппаратуры и блока компенсирующих конденсаторов. Не смотря на то, что облучатели серии «Фотос» имеют хорошие светотехнические характеристики, конструкция не позволяет регулировать распределение лучистой энергии по облучаемой поверхности. Типы облучателей серии «Фотос»: ОГС01-1000 «Фотос-1» (лампа ДРИ-1000-6), ОГС01-1000-002 «Фотос-2» (лампа ДРИ-1000-6), ОГС01-2000-001 «Фотос-3» (лампа ДРИ-2000-6), ОГС01-2000-002

«Фотос-4» (лампа ДРИ-2000-6), ОГС01-3500-001 «Фотос-5» (лампа ДРИ-3500), ОГС01-3500-002 «Фотос-6» (лампа ДРИ-3500).

Облучатели ЖПП07 «Урожай» рассчитаны для работы с натриевыми лампами высокого давления мощностью 400 и 600 Вт. Конструкция позволяет устанавливать источники излучения на разных расстояниях относительно отражателя, благодаря чему кривая силы света в поперечной плоскости может изменяться от широкой до косинусной. Это позволяет использовать светильник для освещения помещений различной высоты.

В ангарных теплицах с шириной пролета 18 метров применяются облучательные установки типа СОРТ-1-10 с лампами ДКсТЛ-10000, УОРТ-2-3000 с лампами ДМ4-3000, ДМЗ-3000, а так же УОРТ-1-6000 с лампами ДМ-6000. Ввиду возросшего интереса к ресурсо- и энергосберегающим технологиям происходит постепенное внедрение светодиодных светильников в агропромышленный комплекс. Существуют светильники для облучения рассады, досветки различных овощных, ягодных культур, цветов. Большинство предлагаемых приборов имеют две узкие спектральные полосы в синей (400–500 нм) и красной (600–700 нм) областях с различным соотношением энергий.

Обзор характеристик некоторых облучательных установок для растениеводства защищенного грунта представлен в [41].

2.2 Моделирование осветительной установки в Light Tools

В программном комплексе Light Tools был смоделирован светодиод мощностью 1 Вт. Габаритные размеры светодиода $3,5 \times 3,5$ мм. Задается только одна излучающая поверхность (TopSurface). Общий вид светодиода представлен на рисунке 2.1. Светодиод CREE серии XP-E. Основные характеристики светодиода представлены в таблице 2.1 [42]. Общая мощность светильника, по условию, не более 30 Вт. Следовательно, было выбрано 24 светодиода по 1 Вт. Одним из наиболее оптимальных вариантов расстановки

светодиодов является расположение их одним рядом. Светодиоды располагаются на плате с размерами 1300×20 мм.

Таблица 2.1. Характеристики светодиода марки CREE XP-E

Параметры	Значения
Габариты, мм	$3,5 \times 3,5$
Максимальный потребляемый ток, А	0,35
Максимальная мощность, Вт	1
Световой поток, лм	100
Световая отдача, лм/Вт	100
Типичное прямое напряжение, В	2,9 при 65 мА
Максимальное обратное напряжение, В	-5
Угол обзора	130
Максимальная температура соединения, °С	150

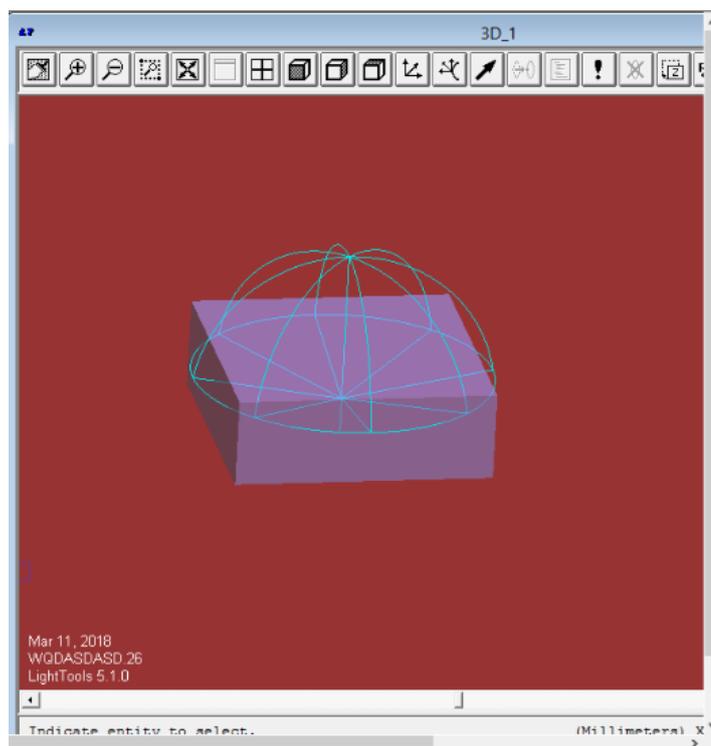


Рисунок 2.1 – Общий вид светодиода

Следующим этапом создаются отражающая поверхность, которые имеют диффузные свойства отражение. Свойства отражения: повышенное

рассеяние – диффузное отражение 90%. Отражатель был выбран прямоугольной формы, продолговатой вдоль всей длины светильника, габаритные размеры которого составляют $1300 \times 40 \times 2$ мм. По отношению к плоскости электронной платы, она расположена под углом 120° (рисунок 2.2).

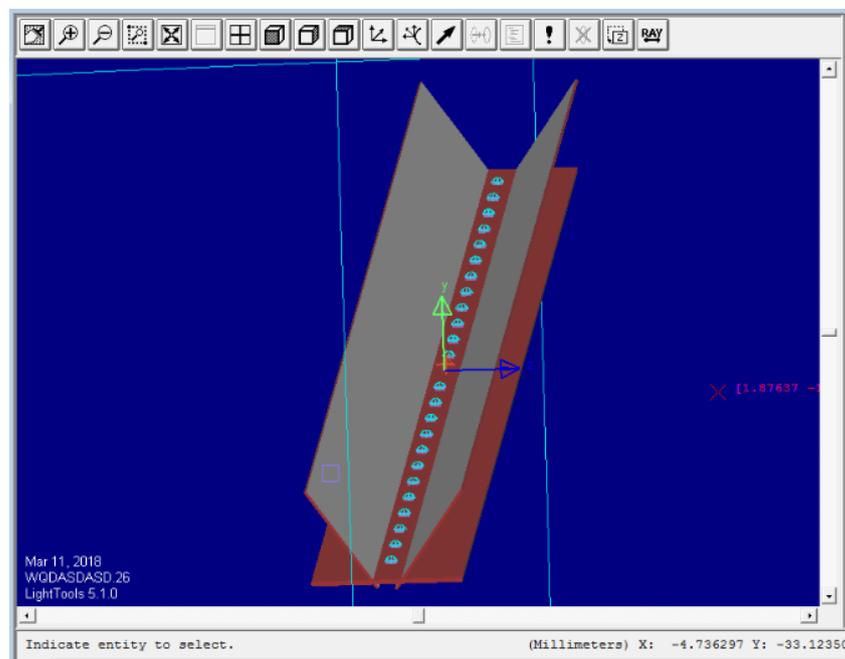


Рисунок 2.2 – Диффузный отражатель

Общий вид светильника представляет собой продолговатую структуру, обрамляемую с двух противоположных сторон отражающими элементами. Освещаемая площадь расположена на расстоянии 500 мм и имеет габаритные размеры 1300×600 мм. Данная площадка представляет собой один из уровней гидропонной установки, предназначенная для выращивания различных низкорослых зеленых культур.

При изменении расстояния между светодиодами, радиуса кривизны и угла наклона отражателя можно добиться равномерно распределения светового потока на освещаемой площадке. Результаты распределения полученной освещенности на площадке разработанного светильника представлены на рисунке 2.3.

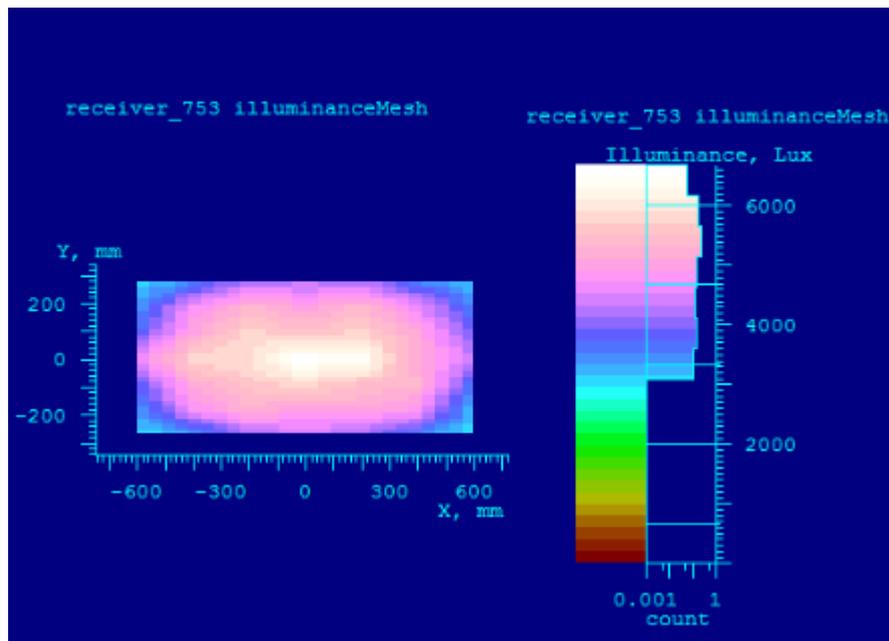


Рисунок 2.3 – Распределение освещенности на площадке

При добавлении расчетной поверхности-сферы, появляется возможность рассмотрения хода лучей, которые попадают и не попадают на площадку, рисунок 2.4.

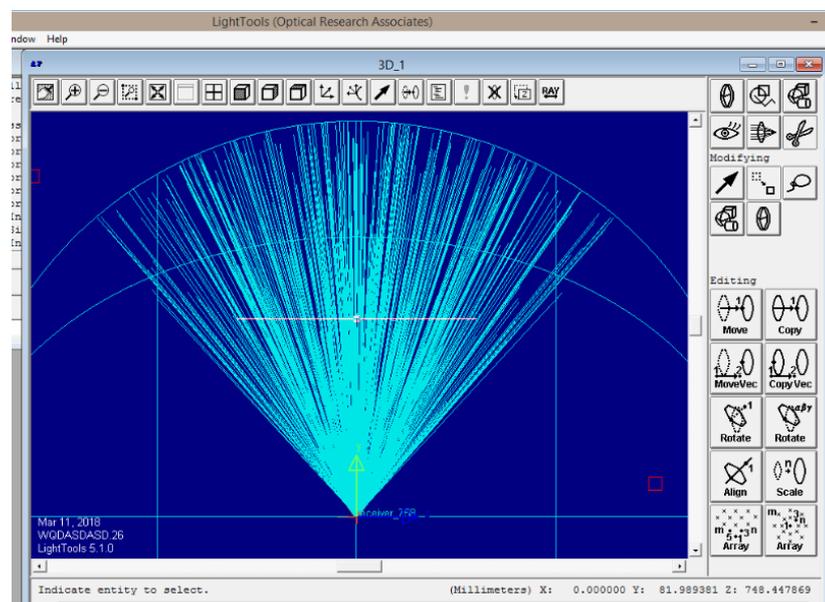


Рисунок 2.4 – Ход лучей

Более точное распределение светового потока в пространстве отражает форма КСС (кривая силы света), которая представлена на рисунке 2.5.

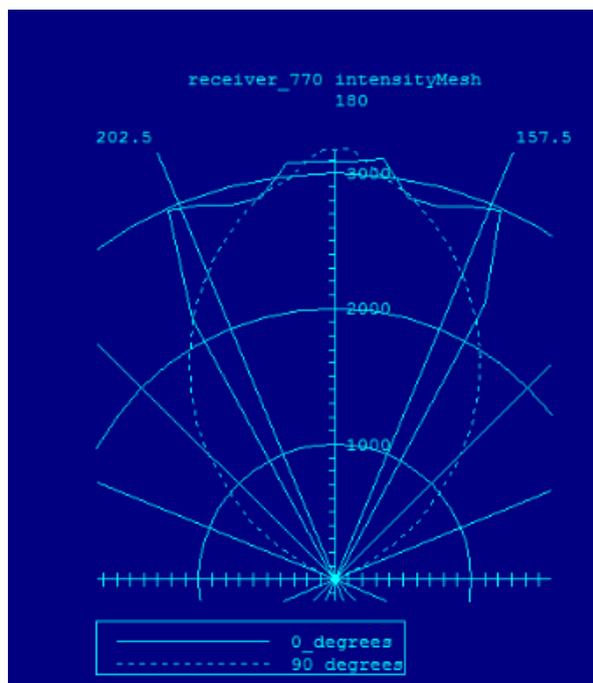


Рисунок 2.5 – КСС разработанного светильника в двух плоскостях (сплошная линия – 0 градусов, пунктирная линия – 90 градусов)

2.3 Расчет эффективности и конструирование фитосветильника в SolidWorks

Основывая на национальный стандарт РФ «Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия» распространяется на осветительные приборы (ОП) с светодиодами, предназначенные для облучения растений в промышленных теплицах и других культивационных сооружениях защищенного грунта и рассчитанные для работы в сетях переменного тока напряжением до 600 В включительно. В стандарте содержатся общие требования к ОП для теплиц, в том числе фотометрические. В фотометрической части приведены требования эффективности приборов в области фотосинтетической активной радиации (ФАР), которая должна быть не меньше 2,0 мкмоль/Дж у приборов для освещения растений сверху, не меньше чем 1,8 мкмоль/Дж у приборов для дополнительного междурядного освещения и не меньше чем 1,9 мкмоль/Дж у

приборов для освещения растений в многоярусных установках стеллажного типа [43].

Кроме того, в стандарте кратко изложен порядок определения эффективности приборов в области ФАР, состоящий из нескольких этапов:

а) Измерение спектральной плотности излучения ОП в области ФАР (400–700 нм).

б) Расчет фотосинтетического потока фотонов по формуле [43, 44]:

$$F_{\text{ФАР}} = \int_{400}^{700} \frac{\mu_{\lambda} E_{\lambda} \cdot \lambda}{h \cdot c \cdot N_A} d\lambda \quad (2.1)$$

где $F_{\text{ФАР}}$ – фотосинтетический поток фотонов, мкмоль/с;

E_{λ} – спектральная плотность распределения энергии излучения прибора, Дж/нм;

λ – длина волны, нм;

h – постоянная Планка;

c – скорость света;

N_A – число Авогадро;

μ_{λ} – спектральная чувствительность растений.

в) Измерение потребляемой мощности ОП.

г) Расчет эффективности ОП в области ФАР по формуле [43]:

$$\eta_{\text{ф}} = \frac{F_{\text{ФАР}}}{P_{\text{э}}} \quad (2.2)$$

где $\eta_{\text{ф}}$ – эффективность прибора в области ФАР, мкмоль/Дж;

$F_{\text{ФАР}}$ – фотосинтетический поток фотонов, мкмоль/с;

$P_{\text{э}}$ – потребляемая прибором мощность, Вт.

Таким образом, используя формулу 2.1, получим:

$$F_{\text{ФАР}} = \int_{400}^{700} \frac{\mu_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot \lambda}{h \cdot c \cdot N_A} d\lambda = K \int_{400}^{700} E_{\lambda} \cdot \lambda \cdot d\lambda \quad (2.3)$$

где E_{λ} – спектральная плотность распределения энергии излучения прибора, Дж/нм;

λ – длина волны, нм;

$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;

$$c = 3 \cdot 10^{17} \text{ нм/с};$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{17} \text{ моль}^{-1};$$

$$K = 8,36 \cdot 10^{-3} \text{ мкмоль} \cdot \text{нм}^{-1} \cdot \text{Дж}^{-1} - \text{коэффициент},$$

μ_λ – спектральная чувствительность растений [44].

В итоговой формуле 3 величина $\mu_\lambda=1$ (спектральная чувствительность растений). Как правило, для расчетов в качестве μ_λ используется кривая Маккри (средняя спектральная чувствительность для разных растений). Но согласно последним исследованиям кривые спектральной чувствительности отличаются для разных растений [45 – 47], таким образом использование данной величины в расчетах приводит к серьезным погрешностям (до 40%).

Для дальнейших расчетов, была измерена спектральная плотность распределения энергии излучения на прототипе светильника, при помощи спектрофотометра «ТКА-Спектр» (ФАР). В таблице 2.2 предоставлены данные измерений.

Таблица 2.2 – Результаты измерений спектрофотометром «ТКА-Спектр» (ФАР)

λ , нм	E_λ , Дж/нм	PPFD, $\mu\text{mol/s/m}^2$
401,7	69,3	0,2328
405,0	69,4	0,2348
408,4	51,0	0,1741
411,7	40,1	0,1381
415,0	43,0	0,1491
418,3	46,1	0,1610
421,6	49,5	0,1743
424,9	53,5	0,1900
428,2	72,4	0,2592
431,5	158,9	0,5730
434,9	175,8	0,6392
438,2	142,7	0,5228
441,5	77,1	0,2847

Продолжение таблицы 2.2

444,8	73,2	0,2722
448,1	76,4	0,2863
451,4	78,8	0,2974
454,7	81,6	0,3101
458,1	84,3	0,3227
461,4	86,3	0,3327
464,7	88,0	0,3419
468,0	90,1	0,3526
471,3	91,5	0,3603
474,6	92,7	0,3678
477,9	93,0	0,3716
481,2	93,8	0,3774
484,6	94,0	0,3807
487,9	94,5	0,3854
491,2	94,1	0,3864
494,5	94,0	0,3884
497,8	93,1	0,3873
501,1	92,2	0,3864
504,4	91,4	0,3856
507,7	91,3	0,3873
511,1	90,5	0,3868
514,4	89,8	0,3859
517,7	89,6	0,3878
521,0	89,6	0,3903
524,3	90,3	0,3958
527,6	91,1	0,4017
530,9	93,4	0,4144
534,3	95,5	0,4264
537,6	101,6	0,4566
540,9	148,9	0,6731
544,2	177,8	0,8088
547,5	173,6	0,7945
550,8	129,8	0,5979
554,1	119,1	0,5515
557,4	122,5	0,5708
560,8	126,1	0,5914
564,1	129,2	0,6091
567,4	131,2	0,6225
570,7	137,5	0,6561
574,0	151,3	0,7261
577,3	155,4	0,7498

Продолжение таблицы 2.2

580,6	146,9	0,7129
583,9	132,2	0,6453
587,3	126,3	0,6203
590,6	122,3	0,6038
593,9	118,1	0,5863
597,2	112,8	0,5633
600,5	107,5	0,5395
603,8	102,1	0,5154
607,1	96,5	0,4897
610,5	90,6	0,4622
613,8	84,9	0,4355
617,1	78,9	0,4072
620,4	73,6	0,3815
623,7	67,9	0,3542
627,0	63,1	0,3306
630,3	58,3	0,3072
633,6	53,6	0,2839
637,0	49,9	0,2655
640,3	45,9	0,2456
643,6	42,4	0,2282
646,9	39,1	0,2115
650,2	35,9	0,1951
653,5	33,1	0,1810
656,8	30,7	0,1688
660,1	28,2	0,1554
663,5	26,1	0,1447
666,8	24,0	0,1338
670,1	22,4	0,1253
673,4	20,7	0,1168
676,7	19,2	0,1088
680,0	17,6	0,1003
683,3	16,6	0,0951
686,7	15,6	0,0893
690,0	14,9	0,0860
693,3	13,9	0,0808
696,6	12,8	0,0748
699,9	11,7	0,0687
703,2	11,3	0,0666
706,5	10,5	0,0621
709,8	10,1	0,0600

Продолжение таблицы 2.2

713,2	9,5	0,0564
716,5	8,9	0,0535
719,8	8,6	0,0515
723,1	8,1	0,0489
726,4	7,7	0,0465
729,7	7,4	0,0451
733,0	7,1	0,0434
736,3	6,8	0,0419
739,7	6,4	0,0394
743,0	6,2	0,0383
746,3	5,8	0,0360
749,6	5,8	0,0365
752,9	5,6	0,0351
756,2	5,6	0,0355
759,5	5,2	0,0333
762,9	5,3	0,0340
766,2	5,2	0,0330
769,5	5,0	0,0324
772,8	5,0	0,0322
776,1	5,1	0,0333
779,4	4,9	0,0317
782,7	4,9	0,0323
786,0	4,9	0,0322
789,4	5,1	0,0338

В программе MathCAD были проинтегрированы расчеты для фотосинтетического потока фотонов $F_{\text{ФАР}} = 56.766$ мкмоль/с. Воспользовавшись формулой 2, для расчета эффективности осветительного прибора в области ФАР, получим: $\eta_{\text{ф}} = 1.896$ мкмоль/Дж, что соответствует значению необходимой эффективности для осветительных приборов в многоярусной установке для тепличного хозяйства[43].

Результаты расчета светового потока, попавшего на площадку, представлены на рисунке 2.6.

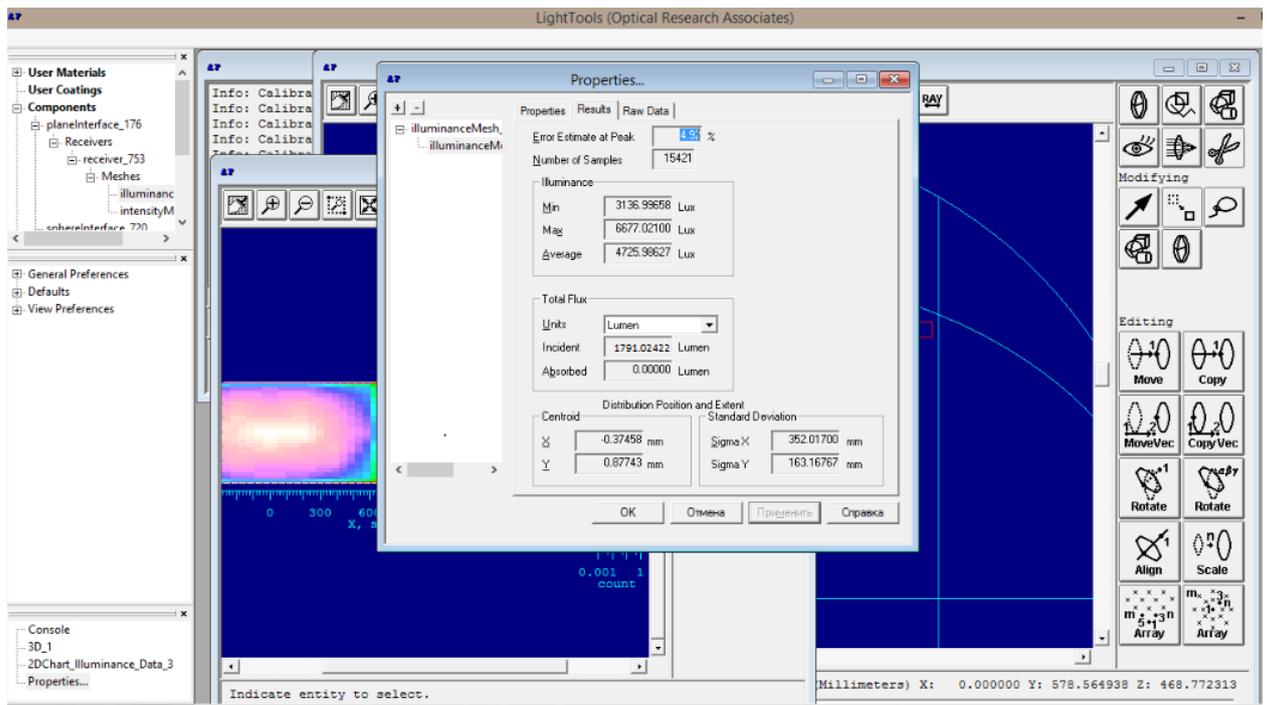


Рисунок 2.6 – Расчет светового потока на площадке

Из условия задания световой поток одного светодиода соответствует 100 лм, следовательно, световой поток от светильника, имеющий 24 светодиода равен 2400 лм. Световой поток, падающий на площадку, соответствует 1791.024 лм, таким образом, 74.626% всего исходящего светового потока падает на площадку одного стеллажа многоярусной установки.

Трехмерная модель светильника, разработанная на SolidWorks, представлена на рисунке 2.7.

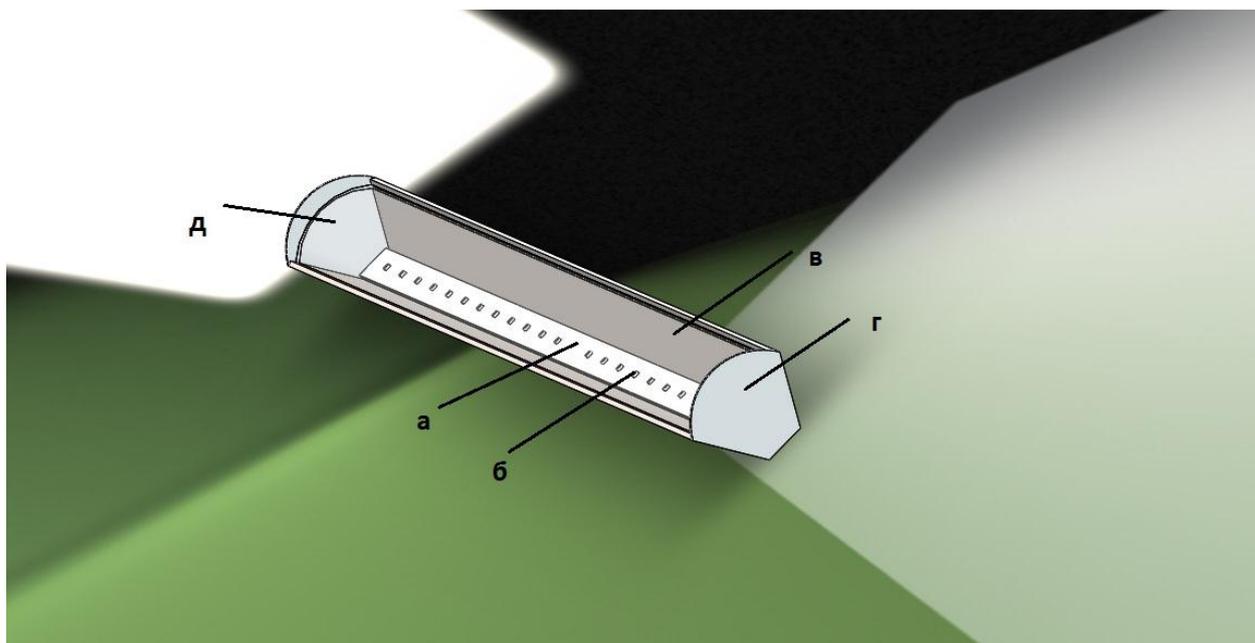


Рисунок 2.7. Внешний вид светильника (а - печатная плата, б - светодиод, в - отражатель, г - корпус, д - стекло)

Максимальная температура в светодиодах достигает 39°C. Искусственные условия нагрева светодиодов были смоделированы в SolidWorks. И на рисунке 2.8 показаны значения температур которые присутствовали во время работы осветительной установки.

ОЦ Max Температура (твердое тело) 1	36.7715 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.490961 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 10	38.1995 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.540163 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 11	38.1782 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.532999 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 12	38.3132 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.537058 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 13	38.4783 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.548545 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 14	38.6458 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.542097 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 15	38.7464 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.550307 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 16	38.799 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.546774 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 17	38.7808 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.557737 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 18	38.7862 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.551417 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 19	38.5755 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.545079 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 2	37.0366 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.493582 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 20	38.6869 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.543408 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 21	38.3413 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.544548 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 22	38.1296 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.526571 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 23	37.806 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.52225 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 3	37.1658 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.509156 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 4	37.2729 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.505907 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 5	37.5912 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.515564 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 6	37.8179 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.528834 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 7	38.028 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.523639 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 8	38.1594 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.532657 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 9	38.2226 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.529366 °C	Проверка критериев

Рисунок 2.8. Температуры на светодиодах

На рисунке 2.9 предоставлена многоярусная установка, для которой было проведено конструирование осветительного прибора.



Рисунок 2.9 – Многоярусная гидропонная установка установка

На рисунке 2.10 показан прототип осветительного прибора, установленный в многоярусную гидропонную установку.

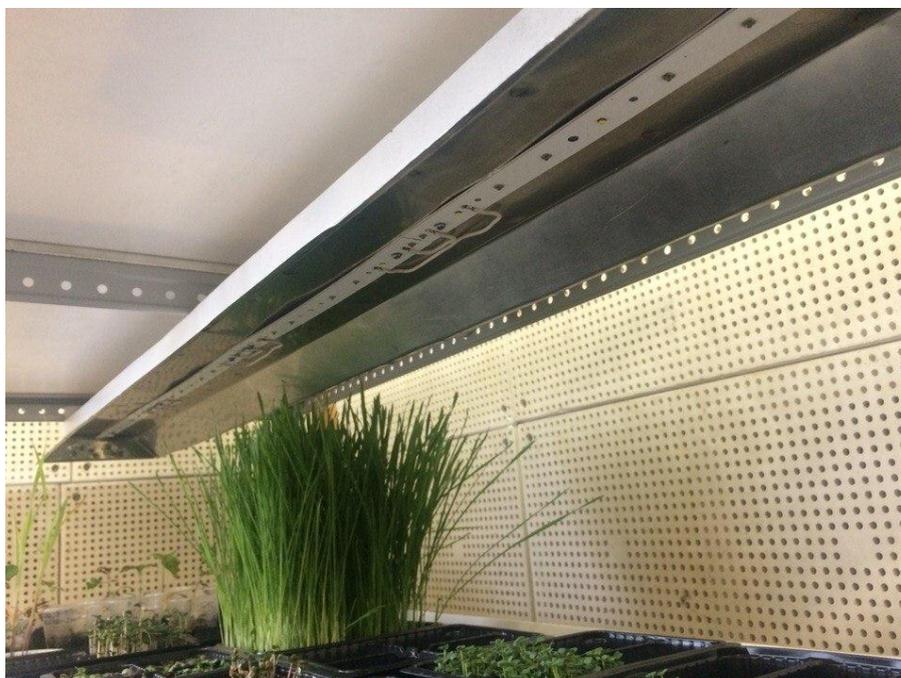


Рисунок 2.10. Прототип смоделированного осветительного прибора

2.4 Патентное исследование фитосветильника для многоярусной гидропонной установки

Регламент поиска

«Светильники для многоярусной гидропонной установки»

«Светильники для многоярусной установки»

Цель:

Выявление охранных документов, препятствующих производству и реализации объекта разработки в РФ.

Формирование групп патентов-аналогов для дальнейшей оценки перспективности защиты результатов научных исследований.

Начало поиска: 12 мая 2017 г. Окончание поиска: 29 мая 2017 г.

Обоснование регламента поиска: Поиск проводился по патентной литературе в объеме патентных фондов Российской Федерации, по ведущим базам данных патентной информации, а также в научно-технической литературе, включая отечественные научные журналы, обзоры и монографии. Ретроспектива поиска – 10 лет. Глубина поиска в 10 лет определена годом принятия стандарта IEEE802.11

В таблице 2.3 показаны результаты патентного анализа. Всего на протяжении от 2007 по 2017 год, было найдено три разработки осветительных установок для многоярусных установок.

Таблица 2.3 – Результаты патентного анализа

Таблица 2.3 – Патентный анализ и его результаты Предмет поиска (авторы)	Страна поиска	Источники информации, по которым был проведен поиск					
		Патентные		НТИ		Другие	
		Наименование	Классификационные индексы МПК, (МКИ), МКПО,	Рубрик и УДК и другие	Классификационные индексы		
1	2	3	4	5	6	7	8
Осветительная установка для гидропонники Шарупич Т.С., Габель Б.В., Шарупич В.П.	RU	Патенты	H04B10/00 H04B10/10	УДК 004.05 7.4	УДК 004.057.4 УДК 004.72 H04B10/00	2007 – 2017	ФИПС. Роспатент. http://www.fips.ru/ ВИНИТИ - http://www.viniti.msk.su/ ;

Светильник для цеха– производства ГЗК Трусов Н.А., Кравцов С.И., Нюшков Н.В., Власов И.Н., Власова М.В.					H04B10/10	МЦНТИ - http://www.icsti.su/ ; ГПНТБ - http://www.gpntb.ru/ ВОИС - http://www.wipo.int/ .
Способ и устройство для освещения тепличных растений РАЯЛА Юхани БУРМОЙ Тауно				УДК 004.72		

Полученные результаты поиска и анализ патентов выявил определенные недостатки в разработках осветительных установок для многоярусных стеллажей, предназначенных для выращивания растений. В сравнительной таблице 2.4 показаны все характеристики, которыми должны обладать современные фитосветильники.

Таблица 2.4 – Сравнительная таблица фитосветильников, полученных результатов патентного анализа

№	Предмет поиска (авторы)	Характеристики фитосветильников					
		Управляемая система освещенности	Изменение спектрального состава	Энергоэффективность	Самая низкая себестоимость	IP для влажной среды	Простота использования
1.	Осветительная установка для гидропонники Шарупич Т.С., Габель Б.В., Шарупич В.П.	–	–	–	–	IP54	+
2.	Светильник для цеха–производства ГЗК Трусов Н.А., Кравцов С.И., Нюшков Н.В., Власов И.Н., Власова М.В.	–	–	–	–	IP54	+
3.	Способ и устройство для освещения тепличных растений РАЯЛА Юхани БУРМОЙ Тауно	+	–	–	–	IP54	+
4.	Фитосветильник для гидропонной многоярусной установки Бактыбаев А.А., Туранов С.Б.	+	+	+	+	IP65	+

Заключение анализа: Патентный поиск с примерами результатов приведен в таблице 2.3. Поиск, в рамках которого проводились патентные исследования, имеет целью осуществление работ по созданию нового поколения гидропонных многоярусных установок с динамическим режимом светодиодного облучения, учитывающий энергетические характеристики растения и световые характеристики установки, превосходящих отечественные аналоги. Ни один из вышеприведенных примеров не учитывал энергетические характеристики осветительных приборов, использующих для роста растения. Так же, используемые светильники патентообладателей в 1,5 раза энергозатратней, нежели разработанный фитосветильник, для многоярусной гидропонной установки в рамках ВКР.

2.5 Описание многоярусной гидропонной установки

Многоярусная гидропонная установка (МГУ) является инновационным решением эффективного использования вертикальной плоскости для выращивания различных растительных культур.

Всю установку можно разделить на три основные части. Самой важной частью МГУ является сама конструкция совместно с поддонами, которые через определённый период времени, заливаются питательными веществами. Второй по значимости является автоматизированная система, отвечающая за экосистему внутри МГУ, такую как: влажность, температура, подача воды, pH и т.д. И наконец, освещение, которое может быть в качестве люминесцентных источников света, светодиодов и др. Осветительные установки располагаются над каждым ярусом, под оптимальной высотой таким образом, что высокая температура около источников излучения никак не разрушат внешний слой растений.

На рисунке 2.11 показана модель гидропонной многоярусной установки, построенная в графической программе 3ds Max.



Рисунок 2.11 – Модель многоярусной гидропонной установки

Существует несколько видов гидропонных систем:

- DWC – водная культура;
- NFT – водная культура (техника с использованием питательного слоя);
- субстратная культура;
- субстратная культура (с использование капельного полива);
- субстратная культура (с использование периодического затопления);
- аэропоника – воздушная культура.

При конструировании системы следует применять не только вышеприведенные методы гидропоники, но и их различные комбинации. Главное, что следует знать, так это то, что корни растения обязаны насыщаться кислородом всегда, но и не должны пересохнуть при этом.

Если расстояние до 15см от “поверхности” корни обязаны больше быть в воздушной среде, нежели в воде. При естественных условиях данный пласт

почвы является наиболее плодородным и для многих растений, служит, источником большинства питательных элементов, на более глубоком расстоянии корни впитывают только воду.

1. DWC – водная культура

Принцип работы данной установки следующий: растения закрепляются мягким зажимом (можно применять параллон) на не тонущем поддоне или на верхней части самого растения, а их корни при этом все время погружены в аэрируемый питательный раствор.

Это установка является одной из самых простых гидропонных установок, при этом она отлично себя зарекомендовала при выращивании водолюбивых культур (например салата). Еще можно выращивать почти все болотные культуры. Однако для овощных культур подобная система не пригодна. Еще минусом является то, что, сколько растений, столько и требуется питательного вещества.

В этой водной культуре сухость и влажность регулируется количеством (концентрацией) солей непосредственно в растворе, например для томатов ЕС должна быть не ниже 2,4 mS (миллиСименс) и это считается нормой, это необходимо для того чтобы корни не стали переувлажненными.

2. NFT – водная культура (техника с использованием питательного слоя) (Nutrient Film Technique)

В данной схеме гидропонной установки, водная помпа (внешняя) создает непрерывный и постоянный поток раствора через корни растений. Непосредственно на разрезе А-А можно увидеть, что одной из особенностей конструкции сосуда вместе с его корнями является сосуд так как он широкий и плоский, а сам раствор при этом образует так называемый “ручей” проходящий на дне этой емкости глубиной не большей 1 – 2см. Этим достигается довольно широкой поверхностью “водная гладь”, которая граничит с воздухом. И если скорость движения питательного вещества по дну емкости достигается с помощью перемешивания верхнего слоя раствора непосредственно с воздухом, при этом повышая его влажность в корневой зоне и способствуя насыщению

самого раствора кислородом не применяя при этом дополнительную аэрацию с использованием компрессора. Сосуд лучше всего располагать под наклоном, но небольшим, для улучшения стока.

3. Субстратная культура.

Это пассивная гидропонная установка довольно проста, в ней растение, корни которого располагаются в проницаемом для воды сосуде вместе с влажным субстратом. При этом растение получает питательные вещества и воду с помощью капиллярных сил. Сосуд вместе с корневой системой погружен примерно на 1-2 см в раствор.

Одним из главных недостатков подобных систем является то, что есть необходимость постоянно контролировать уровень раствора и довольно сильная зависимость влажности в корневом пространстве растения от типа используемого субстрата.

4. Субстратная культура (с использованием периодического затопления)

Эта точно такая же гидропонная установка субстратная, но только здесь применяется периодическое полное заполнение питательным раствором сосуда вместе с корнями. На рисунке можно увидеть эту установку, состоит она из сосуда, у которого двойное дно. В системе насос расположен в нижнем отделении конструкции, который также является резервуаром для питательного раствора. В верхнем резервуаре, также есть вторая ограничительная трубка необходимая для слива избытков в нижний отдел.

Рассмотрим режимы работы конструкции:

Первый режим: корневая система растения расположена в субстрате и в воздушном пространстве, и только на дне располагается небольшой уровень раствора, который поддерживает повышенную и постоянную влажность. Данный уровень легко устанавливается с помощью насосной выходной трубки.

Второй режим: от 2 до 8 раз в день, исходя от микроклимата, субстрата и естественных потребностей растения, таймер включает насос, и от 10 до 15 минут (до того момента когда субстрат полностью не намочит) затопляется питательным веществом верхнее отделение конструкции до уровня трубки

(ограничительной). После того время истекло таймер выключает работу насоса до следующего заданного периода и раствор через специальную выходную трубку сливается обратно в отделение расположенное внизу. Так обновляется воздух, находящийся в корневой зоне, и тем самым корневая система насыщается кислородом. После этого установка переходит в первый режим. Многие любители гидропоники для того чтобы вырастить многие овощные культуры предпочитают воспользоваться этим методом исходя из таких принципов как результат, простота и надежность.

5. Субстратная культура (с использованием капельного полива)

Установки, сконструированные под этой схеме, применяют все тот же субстрат, но здесь уже подача питательного раствора происходит постоянно, или же с периодичностью (порции четко дозированы). Для того чтобы подать раствор применяют регулируемые капельницы, питательное вещество течет под основание стебля на поверхность субстрата. В современных теплицах, где выращивают овощи, часто применяют данный метод, при этом в качестве субстрата используют кокосовые волокна.

6. Аэропоника – воздушная культура

Аэропоника представляет собой метод беспочвенного выращивания, при котором корневая система у растения находится постоянно в воздухе и с некоторой периодичностью опрыскивается питательным субстратом.

3 Методика эксперимента

На сегодняшний день гидропонный зеленый корм (ГЗК) является наиболее перспективным источником питания в сельскохозяйственной индустрии. На протяжении последней пятилетки, вопрос по замене примитивных питательных источников на ГЗК является актуальным. Обсуждение данного вопроса стало заинтересовывать все больше и больше лиц, желающих повышения эффективности производимой сельскохозяйственной продукции. Использование ГЗК в качестве источника питательных элементов для животноводства началось в Австралии. Это связано с ежегодным увеличением площади пустыни Виктория в сторону, где концентрация сельскохозяйственных ферм Австралии имеет наибольшую концентрацию.

Гидропонный зеленый корм обладает рядом положительных свойств. Начиная от повышенной концентрации микроэлементов в свежей листве проростков, заканчивая низкой себестоимостью, в отличие от примитивных источников питания. Конечно, в большинстве случаев используются в качестве добавок – зерна зеленого корма, но в отличии от пророщенного ростка, в таблице 3.1 показано различие в витаминном составе между ними.

Таблица 3.1. – Сравнение количественных показателей в 1000 граммах зерна и гидропонного зеленого корма [48]

Показатель	Гидропонный зеленый корм	Фуражное зерно
Обменная энергия, МДж	12	10,7
Сырой протеин, г	136,87	106,15
Лизин, мг	7,36	4,87
Метионин, мг	2,21	1,59
Серин, мг	5,89	0,49
Цистин, мг	1,47	1,25

Продолжение таблицы 3.1

Сахар, г	206,03	5,61
Сырой жир, г	46,36	23,56
Сырая клетчатка, г	123,62	48,26
Сырая зола, г	33,11	27,42
Кальций, г	1,47	0,79
Фосфор, г	4,42	3,85
Магний, г	1,47	1,05
Натрий, г	0,25	0,11
Цинк, мг	54,53	26,25
Селен, мг	0,29	0,05
Витамин В1, мг	3,68	0,78
Витамин В2, мг	8,9	1,25
Витамин В6, мг	8,09	1,27
Витамин Е, мг	25,75	13,71
Каротин, мг	21,12	3,25

Данные показатели напрямую зависят от протекания сложных биохимических процессов внутри растения на протяжении всего времени роста. Основываясь на показатели из таблицы 3.1, можно перейти к рассуждению актуальности ВКР. Во-первых, энергетическая ценность и состав гидропонного зеленого корма превышает все показатели чем у примитивных источников питания для животноводства. Во-вторых, вытекает следующая подзадача, для снижения себестоимости при выращивании зеленого корма, необходимо подобрать наиболее эффективный режим для его облучения, что является основной задачей в качестве экономии электроэнергии, так и первой ступенью исследовании с точки зрения светотехники. Эффективный режим облучения подразумевает удовлетворения всех вышеперечисленных параметров.

Объектом исследования была выбрана пшеница сорта Ирень. Выбор данного сорта обосновывается несколькими факторами. Во-первых, логистика

для получения зерен была минимальна. Во-вторых, сорт Ирень обладает наивысшей схожестью, а так же он с 1998 года районирован по Западно-Сибирскому региону. Сорт Ирень относится к однолетнему растению ярового типа, вид которого является *Triticum aestivum L.*, из разновидности *milturum*, рода *Triticum L.*, семейства *Poaceae Barnhart*. Этот сорт в Томской области возделывается ради двух целей: получения как продовольственного, так и фуражного зерна. Сорт выведен в Красноуфимском селекционном центре ГНУ Уральский НИИСХ. Вегетационный период этого раннеспелого и урожайного сорта составляет 70–80 дней. Обладает высокоустойчивостью к полеганию, а так же к мучнистой росе и пыльной головне. Масса тысяча зерен составляет 32 – 40 грамм. Отнесен к ценным по качеству зерна сортам. Формирует зерно с содержанием сырой клейковины. 31–35 %. Средняя урожайность составляет 32,1 центнера с гектара.

Исследование проводилось в установках (400×300×450 мм) показано на рисунке 3.1, изготовленных из пенопластовых листов. Каждая установка была оборудована лампами фирмы «Ecola», обладающие цветовой температурой 4000 К. Всего было изготовлено шесть установок, параметры ламп в каждой из них обладают следующими показателями рассмотренные в таблице 3.2.

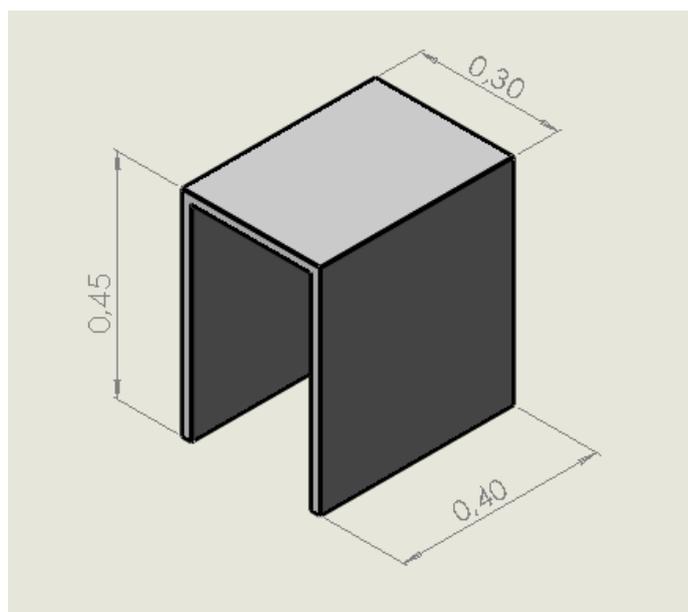


Рисунок 3.1 – Установка для исследований

Таблица 3.2 – Параметры ламп в каждой установке

Характеристики ламп	Установки					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Потребляемая мощность, Вт	0	5	10	15	25	50
Облученность (ФАР), Вт/м ²	–	11,3	17,3	20,6	37,7	54,9
PPFD (ФАР), мкмоль/с/м ² .	–	53,4	82,4	97,4	178,6	261,0

Оптические характеристики ламп, приведенные в таблице 3.2, были измерены при помощи спектрофотометра "ТКА-Спектр" (ФАР). Данный прибор предназначен для измерения абсолютного спектрального распределения источников излучения в видимой области, как облученности (Вт/м²), так и плотности фотосинтетического фотонного потока PPFD в мкмоль/с/м². Основные технические данные и характеристики прибора Спектрофотометр "ТКА-Спектр" (ФАР) приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Технические характеристики спектрофотометра "ТКА-Спектр" (ФАР)

Диапазон измерения полной облучённости (два режима измерения: с ослабителем и без ослабителя)	100 ÷ 600 000 мВт/м ² (калибровка по источнику типа А)
Режим измерений	Непрерывный/Пауза
Основная относительная погрешность измерений облучённости (не более)	± 8,0 %
Приёмник	Полихроматор, 128-пиксельная линейка кремниевых фотоэлементов
Шаг сканирования, нм	3,33
Ширина спектральной линии (FWHM), нм	9,9
Диапазон времени интеграции (проведения замера), мс	16 ÷ 4096
Обновление вывода данных зависит от уровня энергетической освещённости источника света и занимает до 5 с.	

Всхожесть семян мягкой яровой пшеницы сорта Ирень была определена по ГОСТ 12038-84 и составляла не менее 95 %. В течении суток, семена пшеницы замачивались в воде, после на 30 минут замачивались в слабом растворе перманганата калия, для предотвращения возникновения плесневидных образований в процессе роста гидропонного зеленого корма.

Затем проросшие семена перемещали в вегетационные сосуды в каждый из которых сеялось по 15 грамм сырых зерен, эксперимент был сделан в четырех повторностях для каждого варианта опыта и выращивали при температуре 23 +/- 2 °С при 15-ти часовом фотопериоде, до 10-дневного возраста. Полив проводился вручную, ежедневно составляло 300 мл водопроводной воды на каждый сосуд. В контрольном варианте семена проращивали в темновом режиме

Исследования, связанные с биологическими параметрами исследуемого объекта проводились в лаборатории «Сельскохозяйственных культур» биологического института, НИ ТГУ.

Морфометрические параметры оценивали по длине корневой системы, длине проростков, массе корневой и надземной частей растений. Определение сырой массы проводили стандартным весовым методом. Удельную поверхностную площадь листьев (УППЛ) рассчитывали как соотношение массы листьев к их площади.

Определение содержания фотосинтетических пигментов хлоропластов проводилось следующим образом. На спектрофотометре фирмы SHIMADZU UV-1601PC. Данный метод определения пигментов позволяет получать результаты о содержании хлорофиллов а и b без предварительного выделения их из суммарной вытяжки пигментов [49]. Среднюю пробу из 10 растений (масса навески 0,4 г) мелко нарезали ножницами и растирали в фарфоровой ступке с небольшим количеством 96 % этилового спирта. Смывание ступки повторяли 5–7 раз до тех пор, пока вытяжка не станет бесцветной. Вытяжку центрифугировали при 10 000 оборотах в течение 15 минут, пока вытяжка не станет прозрачной. Вытяжки разводили таким образом, чтобы величина оптической плотности конечного раствора не превышала 0,6 ед. Содержание пигментов определяли спектрофотометрическим методом по величине оптической плотности при 665, 649 и 440 нм. Содержание пигментов рассчитывали по уравнениям Вернона для растворов пигментов в 96 % этаноле:

$$Ca = (13,7 \times D_{665} - 5,76 \times D_{649}) \times P \times V / A$$

$$C_b = (25,8 \times D_{649} - 7,6 \times D_{665}) \times P \times V / A$$

$$C_a + C_b = (6,10 \times D_{665} + 20,04 \times D_{649}) \times P \times V / A.$$

$$C_k = (4,695 \times D_{440,5} - 0,268 \times C_a + b) \times P \times V / A,$$

где C_a – содержание хлорофилла а;

C_b – содержание хлорофилла b;

D_{665} , D_{649} , $D_{440,5}$ – оптические плотности, соответственно при 665, 649 и 440,5 нм;

P – разведение – объем, мл;

A – навеска, г.

Статистическая обработка результатов исследований проводилась с помощью программ Microsoft Office Excel 2013 и Statistica 8.0. В таблицах представлены средние арифметические значения в форме «среднее \pm ошибка среднего» по морфологическим параметрам из 25 – 40 повторностей, по физиолого-биохимическим из 3 – 4 повторностей. Все показатели проверены на нормальность распределения. В случае нормального распределения и близости дисперсии выборок использовали сравнение групп по t-критерию Стьюдента. Для сравнения малых выборок использовался U-тест Манна-Уитни. Достоверными считали различия с вероятностью ошибки p , не превышающей 0,05.

4 Анализ полученных данных

В настоящее время большой интерес вызывает разработка высокотехнологичных энергосберегающих источников света нового поколения для выращивания растений в условиях защищенного грунта и светокультуры. К их числу относятся и различные светодиодные устройства [50].

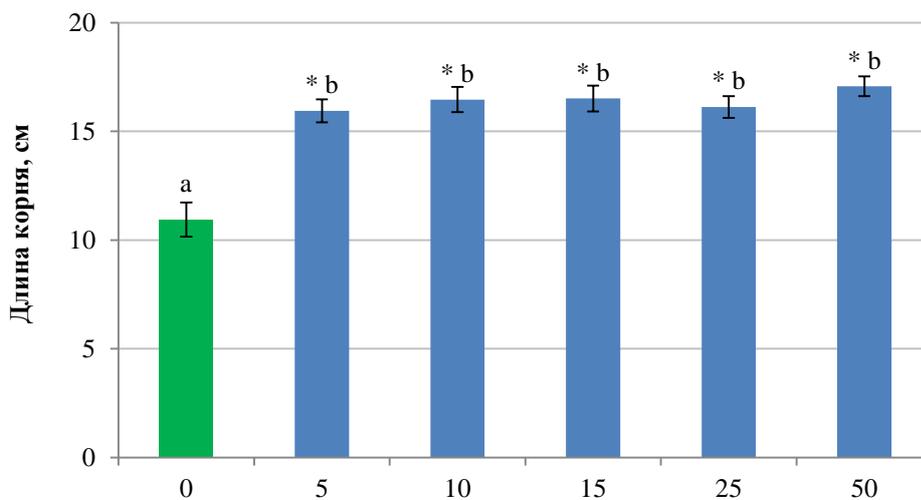
Исследования, проведенные с проростками пшеницы, выращенными в разных условиях освещения, показали, что они отличаются по ряду морфологических показателей (Рисунок 4.1).



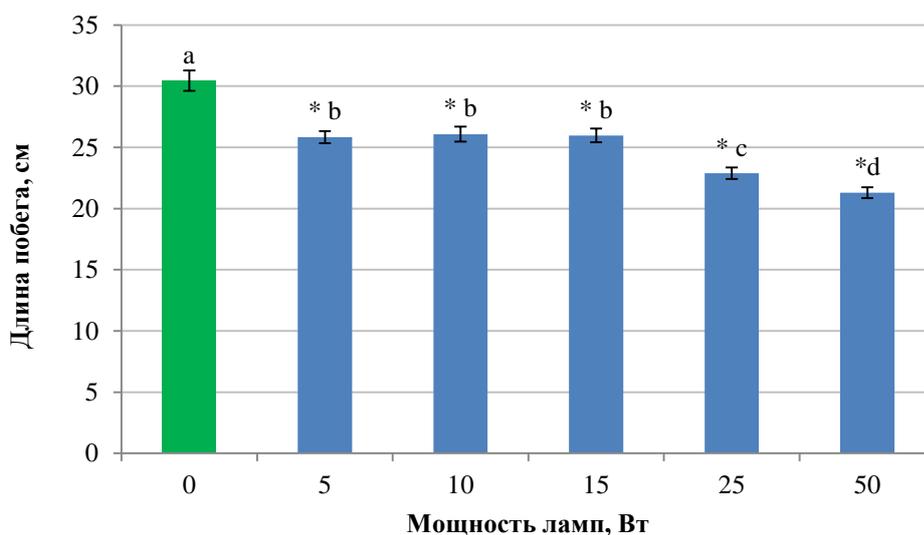
Рисунок 4.1 – Влияние света разной интенсивности на проростки пшеницы

Длина корней проростков, выращенных без освещения (0 Вт – контроль) была меньше опытных вариантов на 31–36 %, но достоверных различий между опытными вариантами по данному показателю не обнаружено (Рисунок 4.2 а). В то же время длина побега с увеличением интенсивности освещения снижалась, растения пшеницы становились более компактными. Так, при

освещении лампами 5, 10 и 15 Вт разница с контролем составляла 14–15 %, при 25 Вт – 25 %, а при 50 Вт – 30 % (Рисунок 4.2 б).



а)

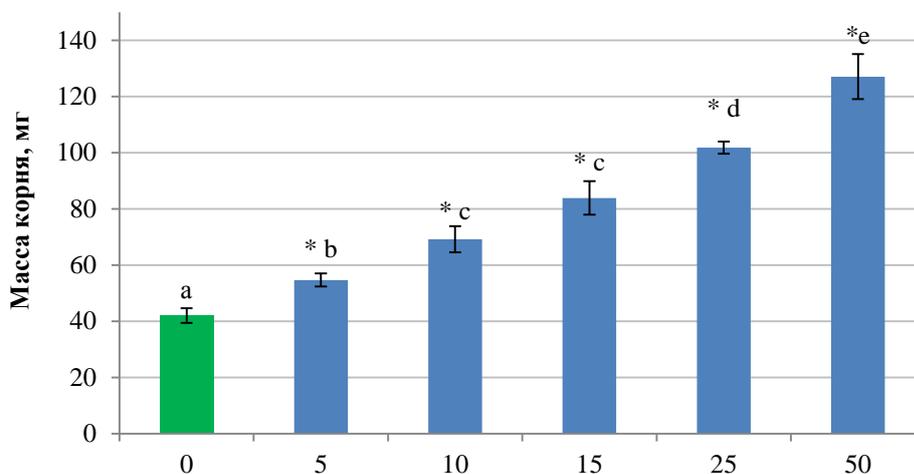


б)

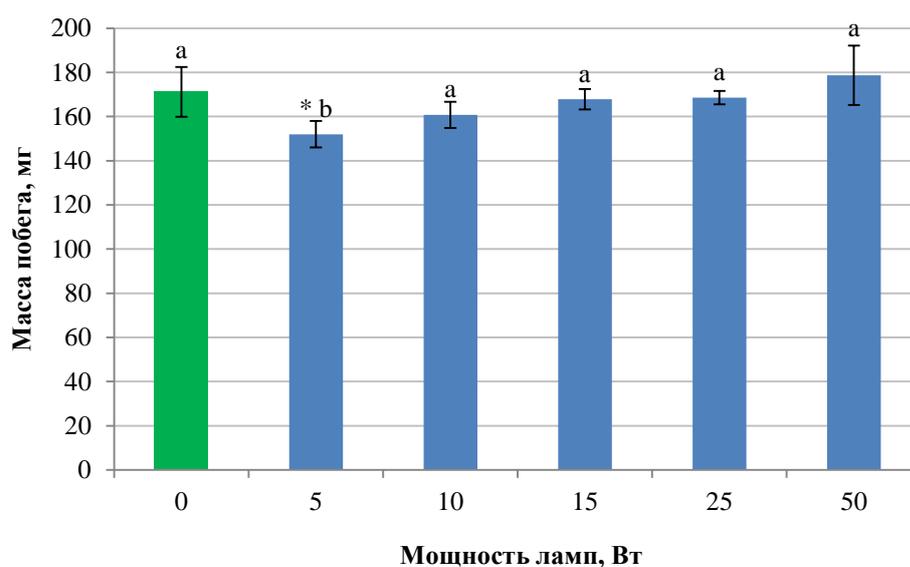
Рисунок 4.2 – Влияние света разной интенсивности на рост корневой системы (А) и побега (Б) проростков пшеницы. Обозначения: зеленым цветом выделен контроль – 0 Вт; * – различия с контролем достоверны ($p \leq 0,05$); разные буквы указывают на достоверность различий средних значений вариантов опыта при $p \leq 0,05$

Интенсивность освещения светодиодными лампами значительно влияла и на накопление биомассы проростков пшеницы. Было установлено, что с

увеличением интенсивности освещения сырая масса корней постепенно увеличивалась, а в варианте с лампами мощностью 50 Вт была максимальной – в 3 раза больше контроля (Рисунок 4.3 а).



а)



б)

Рисунок 4.3 – Влияние света разной интенсивности на сырую массу корневой системы (а) и побега (б) пшеницы. Обозначения: зеленым цветом выделен контроль – 0 Вт; * – различия с контролем достоверны ($p \leq 0,05$); разные буквы указывают на достоверность различий средних значений вариантов опыта при $p \leq 0,05$

При анализе накопления сухого вещества корневой системой проростков пшеницы отмечена схожая закономерность – сухая масса корней достоверно выше контроля в вариантах опыта 10–50 Вт (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Действие света разной интенсивности на морфометрические параметры растений пшеницы

Вариант опыта	Сухая масса, мг		Соотношение корень/побег (по сухой массе)	Площадь листа, см ²	УПШЛ, мг/см ²
	Корня	Побега			
0 Вт (контроль)	6,27 ± 0,44 ^a	13,0 ± 1,22 ^a	0,49	1,65 ± 0,06 ^a	4,48 ± 0,14 ^a
5 Вт	7,30 ± 0,55 ^a	15,87 ± 1,30 ^a	0,46	4,63 ± 0,11 ^{*b}	1,81 ± 0,09 ^{*b}
10 Вт	8,67 ± 0,39 ^{*b}	19,7 ± 0,72 ^{*b}	0,44	5,30 ± 0,44 ^{*c}	1,73 ± 0,06 ^{*b}
15 Вт	9,73 ± 0,41 ^{*c}	20,03 ± 0,58 ^{*b}	0,49	5,71 ± 0,56 ^{*c}	1,59 ± 0,12 ^{*b}
25 Вт	9,10 ± 0,15 ^{*c}	18,87 ± 0,18 ^{*b}	0,48	4,94 ± 0,12 ^{*b}	1,88 ± 0,08 ^{*b}
50 Вт	13,57 ± 0,96 ^{*d}	23,0 ± 1,27 ^{*c}	0,59 [*]	4,47 ± 0,07 ^{*b}	2,13 ± 0,05 ^{*c}

Примечание: * Различия с контролем достоверны ($p \leq 0,05$); разные буквы указывают на достоверность различий средних значений вариантов опыта при $p \leq 0,05$

Сырая масса надземной части – побегов – практически не изменялась по мере возрастания интенсивности освещения, а значения сырой массы в вариантах опыта 10–50 Вт не превышали значения в контроле. Только действие светодиодного излучения мощностью 5 Вт проявилось в снижении накопления биомассы побегов пшеницы на 12 % по сравнению с контролем (Рисунок 4.3 Б). Однако сухая масса побегов с увеличением интенсивности освещения увеличивалась, достигая максимума при 50 Вт (Таблица 4.1).

Следует отметить, что абсолютные значения сухой массы побега во всех вариантах опыта в 2 раза превышали значения корня.

Одним из показателей развития проростка является корнеобеспеченность как отношение сухой массы корневой системы к сухой массе побега. Установлена связь между данным показателем и устойчивостью растений к неблагоприятным условиям окружающей среды [51]. Свет разной интенсивности не оказал влияния на показатель корнеобеспеченности в

вариантах опыта от 0 до 25 Вт, развитие проростков характеризуется незначительным варьированием: 0,44–0,49 отн. ед. Только в варианте 50 Вт соотношение корень/побег увеличивался на 20 % (Таблица 3.4).

Результаты проведенного исследования показали, что светодиодные источники света разной интенсивности оказывают влияние и на площадь первого листа пшеницы. В контрольном варианте (0 Вт) отмечены наименьшие значения данного показателя, при мощности ламп 5 Вт площадь увеличивается в 2,8 раз, при 10 и 15 Вт – в 3,2 и 3,5 раз соответственно. При дальнейшем повышении интенсивности освещения (25 и 50 Вт) площадь образующихся листьев ниже, чем у предыдущих вариантов, но остается достоверно больше контроля в 2,7–3 раза (Таблица 4.1).

Важным параметром листового аппарата, характеризующим жизнедеятельность растений, является удельная поверхностная плотность листа (УППЛ). Самые высокие значения УППЛ были обнаружены у контрольного варианта, возможно потому, что этиолированные листья были меньше развернуты. При повышении интенсивности освещения УППЛ возрастала и достигала максимума при 50 Вт, достоверно отличаясь от других опытных вариантов. Высокое значение УППЛ листьев при освещении лампами 50 Вт отражает накопление большего количества сухой массы на единицу листовой поверхности (Таблица 4.1).

Основным акцептором света является пигментная система растений, которая реагирует на интенсивность и спектральный состав света, что в дальнейшем оказывает большое влияние на фотосинтетическую продуктивность растений [52]

В результате проведенных исследований установлено, что в контроле (0 Вт – без освещения) наблюдалось стартовое содержание фотосинтетических пигментов в листьях. Максимальное содержание хлорофилла *a* и *b* наблюдалось у проростков, культивируемых при освещении лампами 25 Вт. Содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов достоверно не различалось в вариантах с мощностью ламп 10, 15 и 25 Вт (Таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Влияние света разной интенсивности на содержание фотосинтетических пигментов первого листа пшеницы, мкг/г сырой массы

Вариант опыта	Хлорофилл		a/b	Сумма каротиноидов	$\frac{a+b}{\text{карот.}}$
	a	b			
0 Вт (контроль)	$12,2 \pm 0,8^a$	$2,4 \pm 0,4^a$	$5,3^a$	$51,3 \pm 0,8^a$	$0,3^a$
5 Вт	$1019,8 \pm 32,9^b$	$326,1 \pm 13,7^b$	$3,1^b$	$251,9 \pm 5,3^b$	$5,3^b$
10 Вт	$1184,3 \pm 36,1^c$	$395,1 \pm 21,5^c$	$3,0^b$	$300,0 \pm 12,3^c$	$5,3^b$
15 Вт	$1182,2 \pm 19,5^c$	$375,7 \pm 9,8^c$	$3,2^b$	$296,9 \pm 7,8^c$	$5,3^b$
25 Вт	$1216,2 \pm 34,2^c$	$389,2 \pm 11,3^c$	$3,1^b$	$309,8 \pm 6,6^c$	$5,2^b$
50 Вт	$1152,2 \pm 19,3^c$	$342,5 \pm 8,0^b$	$3,4^b$	$336,1 \pm 4,3^d$	$4,5^c$

Примечание: разные буквы указывают на достоверность различий средних значений вариантов опыта при $p \leq 0,05$

Максимальное количество каротиноидов отмечено в варианте с освещенностью 50 Вт – 336,1 мкг/г сырой массы. Известно, что повышенное накопление желтых пигментов характеризует адаптивную реакцию, направленную на повышение устойчивости фотосинтетического аппарата, поэтому дальнейшее увеличение интенсивности света (более 50 Вт) может быть неблагоприятным для проростков пшеницы.

Одним из информативных показателей, характеризующий работу фотосинтетического аппарата является отношение хлорофилла a к хлорофиллу b (a/b). Это отношение связано с активностью «главного» хлорофилла a , чем оно больше, тем интенсивнее фотосинтез. В норме этот показатель должен соответствовать 2,2–3,0. Отношение хлорофилла a/b может характеризовать и потенциальную фотохимическую активность листьев. Высокая величина отношения может, по заключению [53], служить признаком высокой потенциальной интенсивности фотосинтеза.

При культивировании проростков в условиях разной интенсивности освещения не наблюдалось изменений соотношения количества хлорофилла a к хлорофиллу b в опытных вариантах. Отношение хлорофилла a/b характеризует также степень сформированности фотосинтетического аппарата, поэтому

можно предположить, что в контрольном варианте при выращивании растений без освещения фотосинтетический аппарат не был сформирован.

Отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам ($a+b/\text{каротиноиды}$) играет не менее важную роль при характеристике работы фотосинтетического аппарата. Это соотношение в норме стабильно и очень чутко реагирует на изменения различных факторов среды. Приведенные данные (Таблица 4.2) свидетельствуют о сходстве в характере формирования хлорофиллов и каротиноидов опытных вариантов в диапазоне мощности ламп от 5 до 25 Вт. Уменьшение отношения $a+b/\text{каротиноиды}$ в опыте с лампами 50 Вт свидетельствует о дисбалансе между основной и вспомогательной формами пигментов.

Значение воды в метаболизме растительных организмов трудно переоценить, ее функции многосторонни, поэтому в данном эксперименте был определен ряд показателей, связанных с водным режимом растений пшеницы. В первую очередь было определено общее содержание воды в корнях и листьях (Таблица 4.3). Показано, что воздействие света разной интенсивности не оказывает влияния на оводненность тканей корня и листа, разницы в содержании воды в контроле и опытных вариантах не обнаружено.

По данным ряда авторов, устойчивость растений к изменяющимся условиям среды в большой мере определяется соотношением свободной и связанной воды в тканях [54]. Свободная вода – это вода, лишенная каких-либо примесей, обуславливающая физиологическую активность растений: чем больше её содержание в растении, тем выше их жизнедеятельность. Связанная вода – вода, взаимодействующая с неводными компонентами, она имеет повышенную упорядоченность пространственной организации, пониженную температуру замерзания, более высокую температуру кипения и т.д. [55]. Связанная вода имеет большое значение в устойчивости протопласта и растения в целом. При неблагоприятных условиях существования содержание связанной воды в листьях растений повышается, что приводит к замедлению их роста, к снижению интенсивности обменных процессов [56].

Таблица 4.3 – Влияние света разной интенсивности на содержание воды в проростках пшеницы

Вариант опыта	Содержание воды, %	
	Корень	Побег
0 Вт (контроль)	85,0 ± 1,3	92,4 ± 0,3
5 Вт	90,9 ± 0,9	89,3 ± 0,1
10 Вт	86,3 ± 0,8	88,8 ± 0,2
15 Вт	88,3 ± 0,4	88,1 ± 0,1
25 Вт	91,1 ± 0,2	88,8 ± 0,2
50 Вт	89,3 ± 0,2	87,0 ± 0,4

Проведенные исследования по изучению изменения состояния внутриклеточной воды в листьях пшеницы под действием света разной интенсивности показали, что наименьшее количество свободной воды содержится в контроле, а опытные варианты не имеют достоверных различий по данному показателю. Наибольшее количество связанной воды находится также в контрольном варианте (42,3 %), а в опытных вариантах характеризуется незначительным варьированием – от 32,1 до 35,0 % (Таблица 4.4). Полученные данные свидетельствуют о том, что растения пшеницы, выращиваемые без освещения (0 Вт) находятся в неблагоприятных условиях существования.

Таким образом, сравнительное изучение морфо-физиологических параметров проростков пшеницы в зависимости от интенсивности освещения в условиях светокультуры показало, что наиболее оптимальным режимом является освещение мощностью 50 Вт.

Таблица 4.4 – Влияние света разной интенсивности на содержание свободной и связанной воды в листьях пшеницы

Вариант опыта	Содержание воды, % на сырую массу	
	свободная	связанная
0 Вт (контроль)	49,0 ± 0,3	42,3 ± 0,3
5 Вт	55,2 ± 2,0*	35,0 ± 1,9*
10 Вт	53,5 ± 0,9*	35,3 ± 1,3*
15 Вт	56,8 ± 1,8*	32,6 ± 1,6*
25 Вт	56,4 ± 1,4*	32,1 ± 1,2*
50 Вт	53,8 ± 0,8*	33,9 ± 0,6*
Примечание: * Различия с контролем достоверны ($p \leq 0,05$)		

При более высокой интенсивности может наблюдаться торможение ростовых процессов растений. Для решения задач энергосбережения и снижения затрат на выращивание растений допустимо использовать и более низкие уровни освещенности в диапазоне от 10 до 25 Вт.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ6А	А.А. Бактыбаеву

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	12.04.02 Оптотехника

Исходные данные к разделу «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Потенциальные потребители результатов НИИ</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизации установки 10% Норма амортизации ПК 33,3</i>
<i>3. Использование систем налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные страховые фонды, которые составляют 27,1 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	<i>SWOT-анализ НИИ, разработка иерархической структуры проекта</i>
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Проект выполняется в рамках магистерской диссертации, устав не требуется.</i>
<i>3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Разработка календарного плана и бюджета научного исследования.</i>
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение целесообразности и эффективности НИИ: оценка рисков и научно-технического уровня исследования, оценка ресурсоэффективности проекта</i>

Перечень графического материала:

<ol style="list-style-type: none"> <i>1. Карта сегментирования рынка</i> <i>2. Иерархическая структура работ</i> <i>3. SWOT -анализа проекта</i> <i>4. Диаграмма Ганта</i> <i>5. Смета затрат на научно-исследовательскую работу</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Е.В. Старикова	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	А.А. Бактыбаев		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выпускная квалификационная работа на тему «Эффективная система освещения для многоярусного выращивания гидропонного зеленого корма» выполняется в рамках магистерской диссертации в целях разработки модели фитосветильника предназначенного для многоярусной гидропонной установки.

В данном разделе магистерской диссертации выполнено технико-экономическое обоснование научно-исследовательского проекта. В частности это оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения данного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также планирование и организация научно-исследовательского проекта.

Целью раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент» является оценка эффективности и возможности проведения данного исследования, оценки рисков и затрат, а также решение задач [57].

Поставим задачи для данного раздела:

- Оценить перспективность исследования;
- Составить план выполнения исследования;
- Рассчитать необходимые затраты для исследования.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

К целевым рынкам фитосветильника предназначенного для гидропонной установки являются: крупные тепличные хозяйства, которые занимают огромные территории и использующие энергозатратные газоразрядные лампы

для облечения тепличных культур, светотехнические компании, нацеленные на конструировании новых моделей светильников для тепличного хозяйства, стартапы связанные с инновационными теплицами, которые основаны на многоярусных гидропонных установках.

Основываясь на этих предпосылках, произвели сегментирование рынка в рамках, где в качестве критериев выбрали размер компании и выпускаемую продукцию. Карта сегментирования рынка представлена в таблицах 5.1 для фитосветильника предназначенного для многоярусной установки по выращиванию низкокультурных растений.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка для фитосветильника

		Выпускаемая продукция	
		Осветительные установки	Низкокультурные растения
Размер компании	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		

Светотехнические компании

Тепличные хозяйства

Исходя из таблица 5.1, наиболее перспективным сегментом в отраслях по внедрению фитосветильника для многоярусной установки являются средние и мелкие светотехнические компании, а так же инновационные стартапы в области тепличного хозяйства, направленные на эффективное использование ресурсов, таких как электроэнергия и используемая площадь в вертикальной плоскости. Однако, необходимо учитывать что крупные тепличные хозяйства используют до сих пор энергозатратные натриевые светильники, для понижения издержек электроэнергии, имеет место быть предложению по модернизации осветительных установок на современные светодиодные фитосветильники.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В настоящее время, для выращивания в тепличном комплексе различных культур применяются светильники на основе натриевых ламп, которые обладают рядом недостатков. Данное исследование и моделирование фитосветильника направлена на повышение полезной работы по отношению к затраченной электроэнергии. На настоящий момент, современные светильники для тепличного хозяйства не обладают управляющим механизмом спектральной составляющей, которая является наиболее важным параметром для фитосветильников, так как для эффективного роста различных культур необходимо определенное количество спектральной составляющей в различный период времени роста растения. Управляющий механизм в разработанной модели фитосветильника выделяет его среди множества светильников применяемых и разрабатываемых для тепличных хозяйств. В таблице 5.2 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства светильников для тепличного хозяйства. На основании таблицы 5.2 можно сделать следующий вывод, что разработанный фитосветильник, может составить серьезную конкуренцию распространенным натриевым светильникам используемых в настоящее время в тепличных комплексах. Главными преимуществами разработанной модели является энергоэкономичность, а так же управляющий механизм для спектральной составляющей.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда	0,05	5	3	0,25	0,15
2. Удобство в эксплуатации	0,05	5	3	0,25	0,15
3. Энергоэкономичность	0,2	5	2	1	0,4
4. Степень автоматизации процесса	0,05	4	4	0,2	0,2
5. Безопасность	0,05	5	4	0,25	0,2
8. Уровень шума	0,2	5	2	1	0,4
9. Простота эксплуатации	0,05	5	3	0,25	0,15
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность проекта	0,2	4	3	0,8	0,6
2. Цена	0,05	2	4	0,1	0,2
3. Послепродажное обслуживание	0,05	5	2	0,25	0,1
4. Срок выхода на рынок	0,05	4	5	0,2	0,25
Итого:	1			4,55	2,8

Примечание

1 Б_ф – фитосветильник, разрабатываемый в ходе исследовательской работы

2 Б_{к1} – натриевые светильники используемые в действующих тепличных хозяйствах

5.1.3 SWOT-анализ

На основе работы, проведенной в предыдущих разделах магистерской диссертации, был составлен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта. Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Долговечность.</p> <p>С2. Удобство в эксплуатации.</p> <p>С3. Заявленная энергоэффективность технологии.</p> <p>С4. Наличие квалифицированного персонала.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Сложности финансирования в дальнейшем для реализации проекта.</p> <p>Сл2. Отсутствие рекомендации и литературы для точного подбора параметров режима облучения.</p> <p>Сл3.Большой срок поставок материалов, используемых в проводимом исследовании.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Организационная поддержка проекта со стороны института биологии ТГУ.</p> <p>В3. Получение оптимального режима обучения низкорослых растений.</p>	<p>Высокая производительность технологии, удобство в эксплуатации и энергоэффективность позволит привлечь инновационную инфраструктуру ТПУ в дальнейших исследованиях, а также организационную поддержку со стороны института биологии ТГУ в дальнейших разработках фитосветильников.</p>	<p>Сложности финансирования и большой срок поставки материалов необходимые для реализации проекта может привести к отказу в поддержке проекта со стороны производителей фитосветильников. Отсутствие рекомендации и необходимой литературы для точного подбора параметров режима облучения ведет к снижению качества облученной спектральной составляющей.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление новых технологий.</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования.</p>	<p>Появление новых технологий (например: OLED энергоэффективные светильники на основе квантовых точек) может привести к утрате энергоэффективности и снижению сравнительной производительности данной технологий.</p>	<p>Несвоевременное финансовое обеспечение исследования увеличивает срок разработки окончательного варианта технологии.</p>

Таким образом, самой большой угрозой для проекта является сложности в финансировании. Новизна и применение новых исследований в данной области являются определенным приоритетом данного проекта среди всех аналогичных.

5.2 Планирование управления научно-техническим проектом

5.2.1 План проекта

По каждому виду запланированных работ устанавливаются ответственные лица в лице руководителя и магистранта.

В таблице 5.4 составлены перечни работ в рамках проведения научного исследования и распределены исполнители по видам работ.

Таблица 5.4 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Изучение существующих фитосветильников	3	11.02	13.02	Руководитель
2	Освоение программ “light tools”, “solidworks”	11	14.02	24.02	Дипломник
3	Составление пояснительной записки	4	25.02	28.02	Руководитель
4	Разработка охлаждения	3	1.03	3.03	Руководитель
5	Определение параметров фитосветильника	15	4.03	18.03	Дипломник
6	Разработка оптической части светильника	11	19.03	29.03	Дипломник
7	Рассмотрение вопросов конструирования световых приборов	3	30.03	1.04	Руководитель, Дипломник
8	Расчет электрической части	24	2.04	25.04	Руководитель, дипломник
9	Календарное планирование работ по теме	15	26.04	10.05	Дипломник

Продолжение таблицы 5.4

10	Архивация полученных выводов	15	11.05	25.05	Руководитель, Дипломник
11	Разработка методики настройки фитосветильника	11	26.05	05.06	Руководитель, Дипломник
12	Вывод по цели	11	06.06	16.06	Руководитель, дипломник
Итого:		126			

Таблица 5.5 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Изучение существующих фитосветильников	Руководитель	14	///												
2	Освоение программ “light tools”, “solidworks”	Дипломник	11		■											
3	Составление пояснительной записки	Руководитель	4		///											
4	Разработка охлаждения	Руководитель	14			///										
5	Определение параметров фитосветильника	Дипломник	15			■	■									
6	Разработка оптической части светильника	Дипломник	11				■	■								
7	Рассмотрение вопросов конструирования световых приборов	Руководитель , Дипломник	3						///							

Продолжение таблицы 5.5

8	Расчет электрической части	Руководитель , дипломник	24													
9	Календарное планирование работ по теме	Дипломник	15													
10	Архивация полученных выводов	Руководитель , Дипломник	15													

 – руководитель,  – дипломник

По анализу диаграммы Ганта общее число работ составило 12. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 74 чел/дней, для студента-исполнителя составила 116 чел/дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 126 календарных дней. При этом стоит учитывать вероятностную составляющую оценки трудоемкости, то есть продолжительность работ по этапам может увеличиваться или сокращаться.

5.2.2 Бюджет научно-технического исследования

Расчет стоимости материальных затрат производилось по действующим прейскурантам и договорным ценам. В стоимость материальных затрат включили транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Результаты по данной статье представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Расчет стоимости материальных затрат при конструировании экономного варианта без принудительного охлаждения прожектора (второй вариант)

№ п/п	Наименование	Марка, размер	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб
1	Светодиод	Cree XP-E	24	95	2280
2	Блок питания для СД	ЕСХе 100.12	1	1510,2	1510,2
3	Радиатор	АВ9010, длина 1300 мм	1	1100	1100
4	Отражатель алюминиевый	под заказ	2	800	1600
5	Печатная плата на алюминиевой основе	1300 × 40 мм	1	2105	2105
6	Защитное стекло	под заказ (1300 × 40 мм)	1	809	809
7	Корпус,	под заказ	1	2800	2800

Продолжение таблицы 5.6

8	Крепежные элементы				
9	Диффузный отражатель (ДВП шлифованный)	1300x40x2 мм	1	240	240
Итого					12444,2
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)					373,326
Итого					12817,526

Основная заработная плата

В данном пункте рассчитывается основная заработная плата руководителя и магистранта. Заработная плата определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок ТПУ. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

Пункт включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.1)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5.2)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 5.7 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1.	Руководитель	74	3486,04	257966,96
2.	Дипломник	116	321,36	32277,76
Итого по статье С _{осн}				295244,72

Тарифные ставки были приняты на основании регламентирующих документов планово-финансового отдела ТПУ [58].

Таблица 5.8– Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	126	126
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	24	42
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	102	84

Для руководителя:

$$З_{\text{м}} = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{дн}} = 34190 \cdot 10,4 / 102 = 3486,04 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{осн}} = 3486,04 \cdot 74 = 257966,96 \text{ руб.}$$

Для дипломника:

$$З_{\text{м}} = 1854 \cdot 1,3 = 2410,2 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{дн}} = 2410,2 \cdot 11,2 / 84 = 321,36 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 321,36 \cdot 116 = 32277,76 \text{ руб.}$$

Таблица 5.9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$, руб.	$K_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	26300	1,3	34190	3486,04	74	257966,96
Дипломник	1854	1,3	2410,2	321,36	116	32277,76

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (5.3)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 5.10 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Дипломник
Основная зарплата	257966,96	32277,76
Дополнительная зарплата	30956,03	3873,33
Зарплата исполнителя	288922,99	36151,09
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	325074,08	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (5.4)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 5.11 – Отчисления на социальные нужды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления, руб.
Руководитель	257966,96	30956,03	78298,13
Дипломник	32277,76	3873,33	9796,94
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%		
Итого по статье $C_{внеб}$			68501,18

Накладные расходы

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (5.5)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 70%.

Таблица 5.12 – Накладные расходы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Накладные расходы, руб.
Руководитель	257966,96	30956,03	86676,89
Дипломник	35992,32	3873,33	10845,32
Коэффициент накладных расходов	70 %		
Итого по статье $C_{накл}$			97522,22

Таким образом, основная заработная плата 295244,72 рублей, дополнительная заработная плата 97522,22 рублей, отчисления во внебюджетные фонды 68501,18 рублей, накладные расходы 325074,08. Суммарный бюджет затрат научного исследования составил – 786342,2 рублей. Учитывая перспективность исследования и бюджет НИ ТПУ, было бы целесообразно провести данное научное исследование, т.к. затраты сравнительно небольшие для исследования такого уровня, если предположить что такие исследования и разработки будут проводиться каждый год.

5.2.3 Оценка рисков НТИ

При оценке рисков НТИ оценивается вероятность их наступления (P_i). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i . Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблице 5.13

Таблица 5.13 – Экономические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	Инфляция	100	1	0,019	1,960
2	Экономический кризис	25	2	0,039	0,980
3	Недобросовестность поставщиков	25	6	0,117	2,941
4	Непредвиденные расходы в плане работ	50	7	0,137	6,862
5	Снижение уровня спроса на продукцию	50	10	0,196	9,803
6	Сложность выхода на мировой рынок	75	7	0,137	10,294
7	Колебания рыночной конъюнктуры	25	6	0,117	2,941
8	Отсутствие в числе сотрудников экономистов	25	2	0,039	0,980
9	Низкие объемы сбыта	50	10	0,196	9,803
	Сумма		51	1	46,568

Таблица 5.14 – Технологические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	Возможность поломки оборудования	25	7	0,25	6,25
2	Низкое качество поставленного оборудования	25	9	0,3214	8,0357
3	Неправильная сборка оборудования	25	8	0,2857	7,1428
4	Опасность для работающего персонала и аппаратуры	75	4	0,1428	10,714
	Сумма		28	1	32,142

Таблица 5.15 – Научно-технические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	Развитие конкурентных технологий	75	7	0,145	10,937
2	Создание новых методов синтеза	75	7	0,145	10,937
3	Риск невозможности усовершенствования технологии	50	8	0,166	8,333
4	Отсутствие результата в установленные сроки	50	7	0,145	7,2916
5	Получение отрицательного результата при внедрении в производство	25	10	0,208	5,208
6	Несвоевременное патентование	25	9	0,187	4,687
	Сумма		48	1	47,395

Далее производится расчет общих рисков:

Таблица 5.16 – Общая оценка риска проекта

Виды рисков в группе	P_i	b_i	W_i	$P_i * W_i$
Экономические	46,57	10	0,25	11,64
Технологические	32,14	9	0,5	16,07
Научно-технические	47,4	6	0,25	11,85
Итого		25	1	39,56

Итоговая оценка составила около 40%, что является весьма неплохим показателем для научного исследования.

5.2.4 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования

Необходимо рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем

показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$HTU = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \Pi_i \quad (5.6)$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Π_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 5.17 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.4
Теоретический уровень	0.2
Возможность и масштабы реализации	0.4

Таблица 5.18 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
<u>8-10</u>	<u>Сравнительно высокий НТУ</u>
11-14	Высокий НТУ

Таблица 5.19 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
<u>Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами</u>	<u>8</u>
Разработка алгоритма	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 5.20 - Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
<u>В течение первых лет</u>	<u>10</u>
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
<u>Отрасль</u>	<u>4</u>
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.4, P_1 = 10, k_2 = 0.2, P_2 = 8,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$HTU = 0.4 \cdot 10 + 0.2 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 8.4$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей (освещение закрытых больших площадок). Таким образом, анализируя результаты оценки, можно заключить, что проектная работа имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, а также приемлемый уровень рисков.

5.2.5 Оценка ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективность разработки светового прибора определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где: I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i - весовой коэффициент проекта;

b_i - бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 5.21

Таблица 5.21 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Качество светодиодов и отражателей	0,25	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,25	5
3. Производительность	0,20	4
4. Экономичность	0,20	5
5. Экологичность	0,10	5
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,20 \cdot 5 + 0,10 \cdot 5 = 4,55$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности проекта дает достаточно неплохой результат (4,55 из 5), что свидетельствует об эффективности реализации технического проекта.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта имеет важное значение при выполнении раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент». Его высокое значение говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы безопасности и надежности, удобства в эксплуатации и предполагаемый срок эксплуатации позволяют судить о корректно выполненной разработке системы.

Заключение:

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были рассчитаны следующие данные:

Оценка коммерческого потенциала и перспективности. Потенциальными потребителями данного научно технического исследования являются инновационные тепличные хозяйства, а так же светотехнические компании, занимающиеся разработкой осветительных установок.

1. Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал проводимого исследования, а также толчок в развитии применении таких систем освещения для многоярусных установок.

2. Определен полный перечень работ, проводимых при проектировании светового прибора. Общее число работ составило 12. Определена трудоемкость проведения работ. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 74 чел./дней, для магистранта составила 116 чел./дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 126 календарных дней.

3. Первоначальные вложения. Финансовые затраты на материалы и комплектующие изделия составило 12817,526 рублей.

Суммарный бюджет затрат НИИ составил – 786342,2 рублей. Расчет бюджета осуществлялся на основе следующих пунктов:

- расчет материальных затрат НИИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5. Определена целесообразность и эффективность научного исследования путем анализа и оценки научно-технического уровня проекта, а

также оценки возможных рисков. В результате проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического и практического уровня и приемлемый уровень рисков.

6. Проведена оценка ресурсоэффективности проекта (4,55 по 5- бальной шкале), что говорит об эффективности реализации данного научно-технического проекта.

Следует отметить важность для проекта в целом проведенных в данной главе работ, которые позволили объективно оценить эффективность проводимого научно-технического исследования.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ6А	А.А. Бактыбаеву

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	12.04.02. Оптотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является гидропонный зеленый корм. Область применения – сельское хозяйство.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отклонение параметров микроклимата в помещении; – отклонение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – Недостаточная освещенность рабочей зоны; <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность.
2. Экологическая безопасность:	<p>Анализ воздействия объекта на:</p> <ul style="list-style-type: none"> – атмосферу (выбросы); – литосферу (отходы).
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные чрезвычайные ситуации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пожар;
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<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.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	О.Б. Назаренко	Д. Т. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	А.А. Бактыбаев		

6 Социальная ответственность

В настоящее время гидропонный зеленый корм стал рассматриваться как альтернативный источник питания в животноводстве, который представляет собой огромное биоразнообразие с множеством преимуществ, превышающих потенциал обычного сельскохозяйственного сырья.

Все исследования по выращиванию гидропонного зеленого корма проводились в многоярусной автоматизированной установке проводились в лаборатории «Биофотоники». В ходе подбора оптимального режима облучения исследуемого объекта, работа была связана персональным компьютером, а также датчиками фиксируемые спектральный состав оптического излучения.

По характеру физической нагрузки работа инженера относится к разряду легких, но она сопряжена с большой умственной и нервно-психологической нагрузкой.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. В связи, с чем необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать в процессе выращивания гидропонного зеленого корма. Результаты проведенного анализа представлены в таблице 6.1 с учетом, что эксперименты проводились в учебной лаборатории.

Таблица 6.1. Опасные и вредные факторы при выращивании зеленого корма

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы	
	Вредные	Опасные	Вредные факторы	Опасные факторы
Подготовка установку (многоярусная гидропонная установка) и образцов к эксперименту; Процесс выращивания; Измерение с помощью оптических методов (спектрофотометр ТКА – ФАР) получаемые данные	Отклонение показателей микроклимата в помещении	Электрический ток	СанПиН 2.2.4.548-96 [59]	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [60]
	Отклонение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны	Освещенность		
	Освещенность в раб. зоне			

6.1.2 Отклонение параметров микроклимата в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Согласно [59], показателями, характеризующими микроклимат, являются: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения.

Влияние микроклимата на самочувствие человека значимо и существенно, а переносимость температуры во многом зависит от скорости движения и влажности окружающего воздуха - чем выше показатель относительной влажности, тем быстрее наступает перегрев организма. Недостаточная влажность, в свою очередь, может негативно отражаться на организме, становясь причиной пересыхания и растрескивания кожи и слизистой, а также последующего заражения болезнетворными микроорганизмами. Длительное воздействие высокой температуры при повышенной влажности может привести к гипертермии, или накоплению теплоты и перегреву организма, а пониженные показатели температуры, особенно при повышенной влажности воздуха, могут быть причиной гипотермии, или переохлаждения.

Необходимые условия микроклимата различаются для теплого и холодного времени года. Они делятся на оптимальные, обеспечивающие полный тепловой комфорт, и допустимые, которые могут приводить к некоторому дискомфорту, но находятся в пределах адаптивных возможностей человека. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в Вт.

Экспериментальная часть ВКР проводилась в лабораторных условиях, по энергозатратам ее следует отнести к категории Ia – работа легкая физическая, производимая сидя или связанная с ходьбой, но не требующая систематического физического напряжения или поднятия и переноса тяжестей.

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата для категорий Ia на рабочем месте приведены в таблицах 6.2 и 6.3 [59].

Таблица 6.2. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категорий Ia [59]

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха не более, м/с
холодный	22 .. 24	21 .. 25	60 .. 40	0,1
теплый	23 .. 25	22 .. 26	60 .. 40	0,1

Отопление лаборатории и корпуса в целом водяное с применением радиаторов, что обеспечивает постоянное и равномерное нагревание воздуха в холодное время года. В рабочем помещении имеется как естественная вентиляция, так и принудительная. Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Таблица 6.3. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категорий Ia [59]

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
холодный	20 .. 21,9	24,1 .. 25	15 .. 75	0,1	0,1
теплый	21 .. 22,9	25,1 .. 28	15 .. 75	0,1	0,2

6.1.3 Отклонение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Стерилизация, или обеспложивание (от лат. «sterilis» - бесплодный) означает полное уничтожение зародышей микроорганизмов в питательных средах, посуде и т.д. Стерилизация или обработка от будущих плесневидных образований очень важна в исследованиях, особенно при поддержании живых организмов.

Существует множество методов обработки, которые условно можно разделить на четыре категории: стерилизацию путем нагревания, стерилизацию при помощи электромагнитного излучения, стерилизацию при помощи фильтрации и химическую стерилизацию (см. табл. 5.4). Стерилизация с помощью нагревания является обычным способом стерилизации и, как правило, требует высоких температур ($\geq 100^{\circ}\text{C}$) при условии, что стерилизуемые материалы устойчивы к высоким температурам (например, стекло, металлические инструменты, алюминиевая фольга). Жидкости стерилизуются методом фильтрации, когда они содержат нестойкие компоненты, разрушающиеся при высокой температуре.

При проведении исследований в рамках магистерской диссертации в лаборатории «Биофотоники» ТПУ, единственным химическим веществом для стерилизации от плесневидных образований в процессе роста гидропонного зеленого корма, использовался марганцовый калий.

Применение перманганата калия осуществлялось следующим образом. Семена зеленого корма перед посевом в гидропонную установку на тридцать минут замачивались в раствор марганцовки. Раствор состоял из соотношения 0,005 г на 1 л воды.

Основывая на ГОСТ 20490-75, марганцовокислый калий относится к веществам 2-го класса опасности по ГОСТ 12.1.005. Предельно допустимая концентрация его в воздухе рабочей зоны, в пересчете перманганат калия соответствует $0,3 \text{ мг/м}^3$. При увеличении концентрации продукт токсичен и действует на центральную нервную систему.

Учитывая ПДК, можно сделать вывод, что концентрация перманганата калия не превышала допустимые значения.

Однако, нельзя забывать о средствах защиты при работе с MnO_2 . Работа должна осуществляться в специальных химических шкафчиках, оборудованных вытяжной системой, а так же помещение в которых проводятся работы с препаратом, должны быть оборудованы непрерывно действующей вентиляционной системой. Учитывая порошкообразную форму перманганата калия, для предотвращения попадания в дыхательную систему, необходимо надевать защитную маску.

Применение вышеперечисленных правил во время работы с перманганатом калия поможет избежать несчастных случаев.

Применение вышеперечисленных правил во время работы с перманганатом калия поможет избежать несчастных случаев.

Таблица 6.4. анализ используемых химических элементов.

Категория	Метод	Сущность метода	Использование	Ограничение
Химические вещества применимые для живых	Перманганат калия	0,005 г на 1 л, 30 минут	Очень распространенный метод общей дезинфекции	Не более 0,3г на м ³

6.1.4 Электрический ток

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока [61]. В зависимости от индивидуальных показателей человека (масса, рост, строение тела, пол, род

занятий), его физического состояния (болезнь, наличие состояния алкогольного опьянения), параметров протекающего тока (сила тока и его частота), состояния окружающей среды зависит поражающее воздействие на организм.

Одним из наиболее опасных параметров являются переменный ток с частотой от 10 до 120 Гц. Наиболее безопасным напряжением для человека является до 12 В, условно безопасным до 36 В [60]. Опасной величиной считается ток, более 1 мА, а смертельным более 100 мА. Опасность поражения человека электрическим током существует во всех случаях, когда используются электрические установки и оборудование.

По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении дипломной работы, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 220 В. Устройства относятся к 1 классу, так как имеют рабочую изоляцию и места для заземления. В системе, в соответствии с ГОСТ 12.1 009-76, применяется рабочая изоляция.

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

1. Применение изоляции;
2. Недоступность токоведущих частей;
3. Применение малых напряжений;
4. Изоляция электрических частей от земли.

Ток, который может вызвать травму, появляется в гидропонной установке только при повреждении (пробое) первичной обмотки, когда вторичный виток оказываются под напряжением питающей сети (220, 380 В).

Согласно ПУЭ (7-е изд.) [59] данная лаборатория относится к категории помещения – без повышенной опасности. Так как в ней учтены все необходимые правила по электробезопасности, это сухое помещение без повышенного напыления, температура воздуха нормальная, пол покрыт изоляционным материалом. Влажность воздуха не превышает 75%, отсутствует токопроводящая пыль, температура не превышает 35°C. Все сотрудники проходят первичный инструктаж по электробезопасности.

Основными техническими средствами защиты человека от поражения электрическим током, используемыми отдельно или в сочетании друг с другом, являются: защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение, электрическое разделение сети, малое напряжение, электротехнические средства, уравнивание потенциалов, двойная изоляция, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

Искусственное заземление – это преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки электрической сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

6.1.5 Освещенность в рабочей зоне

Требования к освещенности рабочего места инженера проектировщика:

- освещенность должна соответствовать характеру зрительной работы;
- величина освещенности должна быть постоянна во времени;
- должны отсутствовать пульсации светового потока источника света.

Требование к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, следующие при выполнении работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300 лк, а комбинированная – 750 лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности – 200 и 300 лк соответственно.

В качестве источников искусственного освещения на рабочем месте используются люминесцентные лампы, которые попарно объединены в светильники. Эти светильники располагаются над рабочими поверхностями в равномерно-прямоугольном порядке рисунке 6.1.

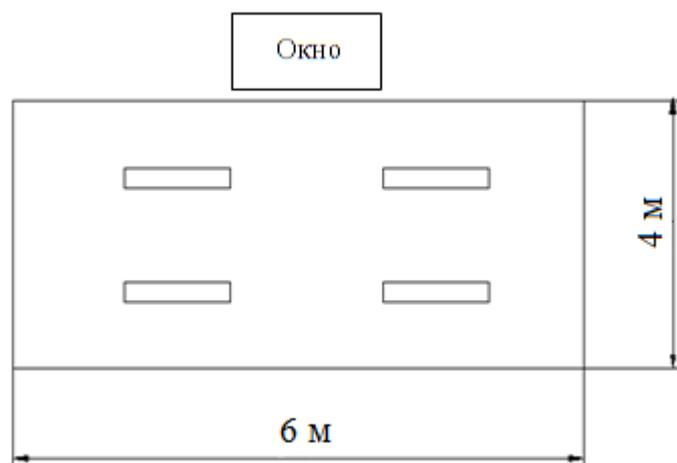


Рисунок 6.1.– План расположения световых приборов в аудитории №13 лаборатории «Биофотоники»

Произведем расчет искусственного освещения помещения методом коэффициента использования.

Для освещения аудитории №13 применяются открытые трехламповые светильники с люминесцентными лампами.

Основные характеристики ламп ЛБ:

- Мощность 40 Вт;
- Ток лампы 0,43 А;
- Световой поток 3200 лм.

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

где A - длина помещения, м; B - ширина помещения, м; h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 4}{2 \cdot (8 + 4)} = 1,33.$$

В нашем случае коэффициент отражения стен $\rho_c = 50\%$.

Выбор освещенности помещения осуществляем согласно СП 52.13330.2011, из которых минимальная освещенность $E_{\min} = 300$ лк. Учитывая, что в помещении 4 светильников и в каждом светильнике установлено три лампы, общее число ламп $N=12$. Тогда световой поток лампы равен:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 32 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,48} = 2750 \text{ лк.}$$

Сравниваем полученную величину светового потока с серийной, которая составляет 3200 лм.

$$-10 \leq \frac{\Phi_{\text{станд}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{станд}}} \cdot 100\% \leq 20;$$

$$-10 \leq \frac{3200 - 2750}{3200} \cdot 100\% \leq 20;$$

Получаем $-10 \leq 14,06 \leq 20$, что соответствует стандартным нормам освещения помещений, где установлены компьютеры, с освещённостью 300 лк.

6.2 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность – это допустимый уровень негативного воздействия со стороны природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

Соответственно, негативное влияние на атмосферу будет заключаться только в скоплении пыли на рабочем месте, а воздействие на литосферу будет характеризоваться утилизацией твердых бытовых отходов (бумага, отходы от образцов и т.п.).

Решения по обеспечению экологической безопасности:

1. для литосферы – вывоз твердых бытовых отходов, с последующей переработкой.

2. для атмосферы – проведение ежедневной влажной уборки на рабочем месте и проветривание помещения.

Многоярусная гидропонная установка работает непосредственно от электрической сети. Более того, зеленый корм имеет свойство потреблять большое количество углекислого газа и перерабатывать его в кислород, следовательно, установка не вызывает загрязнения природы.

Учитывая замену традиционных источников света в установке на светодиодные, сокращается потребление электроэнергии за счет того, что светодиоды имеют максимальную светоотдачу, обладают более высоким (до 80 %) коэффициентом полезного использования электроэнергии по сравнению с другими источниками. Кроме того, конструктивные особенности светодиодных систем позволяют размещать источники света внутри гидропонной установки, над исследуемым объектом, что позволяет лучше распределять энергию излучения. В силу своей твердотельной конструкции светодиоды более экологически безопасны и в отличие от люминесцентных ламп не содержат ртути, что так же положительно сказывается на окружающей среде.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Ответственность за обеспечение мер пожарной безопасности при проведении пожароопасных работ возлагается на руководителя подразделения, на территории которого проводятся работы.

Требования инструкции являются обязательными для исполнения всеми сотрудниками.

Лица, виновные в нарушении Правил пожарной безопасности, несут дисциплинарную, административную или уголовную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Основные причины возникновения пожара:

Воспламенение термопласта в результате повышения температуры нагревателей из-за:

- отказа терморегуляторов и датчиков температуры;
- неправильной установки датчиков температуры и силовых разъемов для электропитания нагревателей.

Воспламенение используемых материалов в результате взрыва от повышенной температуры летучих продуктов термоокислительной деструкции или взрывов термопласта, содержание которых в воздухе рабочей зоны превысило предельно-допустимые нормы.

Воспламенение изоляции электрических проводов, автотрансформаторов, трансформаторов, в результате длительного воздействия повышенной нагрузки, короткого замыкания или других причин.

Меры предупреждения возникновения пожара:

Перед началом технологического процесса необходимо проверить;

- правильность подключения силовых разъемов питающих проводов;
- исправность автоматизированной системы регулирования полива и освещения.

Во время технологического процесса каждые 30 минут производить осмотр рабочего оборудования, контроль освещения в гидропонной установке.

В случае отключения освещения в установке необходимо:

- отключить питание напряжения;
- отключить систему регулирования освещения;
- устранить причину замыкания;
- устранить возникшие неисправности;
- выполнить замену нерабочих компонентов, затем продолжить технологический процесс.

При невозможности устранить возникшие неисправности необходимо обесточить соответствующее электрооборудование и сообщить о происходящем руководителю лаборатории.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу.

В нашей лаборатории имеются следующие средства огнетушения:

- ручные огнетушители
- бочки с водой
- ящики с песком
- ручной пожарный инструмент и инвентарь (ведра, ломы, топоры, лопаты, багры и т.п.).

6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В лабораторию, чтобы делать эксперименты допускаются только те люди, которые ознакомлены инструкциями по работе лабораторных установках.

1. Достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществить все необходимые движения и перемещения.

2. Достаточные зрительные, физические и слуховые связи между инженером и машиной.

3. Оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места.

4. Рабочее кресло должно легко перемещаться и поворачиваться, иметь регулируемое по высоте сиденье, наклон спинки и сиденья, а также оптимальную твёрдость рабочих поверхностей.

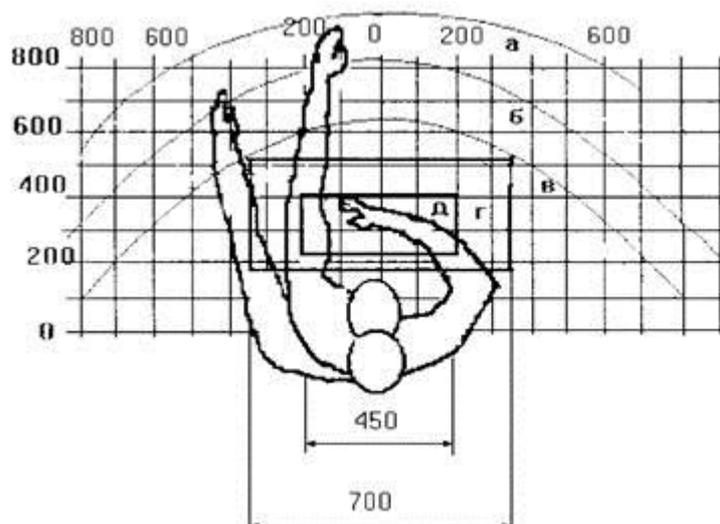


Рисунок 6.2 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости. а - зона максимальной досягаемости; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Расположение многоярусной гидропонной установки должно обеспечивать безопасные условия труда и удобства при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте. В нашем случае гидропонная установка компактна и все эти требования соблюдены.

Заключение

В работе проведено экспериментальное исследование влияния различного уровня облученности на рост гидропонного зеленого корма.

Установлено, что

1. Площадь листа наивысшее при облученности $17,3 \text{ Вт/м}^2$ (соответствующая $82,4 \text{ мкмоль/с/м}^2$) и составляет $5,3 \pm 0,44 \text{ см}^2$;
2. Наивысшее количество хлорофиллов а и b образуется при облученности $17,3 \text{ Вт/м}^2$. Данный показатель описывает, насколько хорошо протекает процесс фотосинтеза;
3. Наивысшие показатели суммы каротиноидов возникают при облученности $54,9 \text{ Вт/м}^2$ (соответствующая $261,0 \text{ мкмоль/с/м}^2$) и составляет $336 \pm 4,3$, однако при облученности $17,3 \text{ Вт/м}^2$ их сумма составляет $300 \pm 12,3$, что на 10% меньше чем в первом случае. Данное сравнение показывает, что увеличение каротиноидов на 10% не целесообразно по сравнению с затратами на электроэнергию в 5 раз.

Для получения данных результатов в гидропонной установке, решена была инженерная задача по моделированию энергоэффективной осветительной установки для многоярусного стеллажа, которая облучает необходимым количеством излучения рабочую поверхность. Был спроектирован светильник в программе LightTools мощностью 24 Вт для освещения площадки $1,3 \times 0,6 \text{ м}$, расположенного на 0,5 м от светильника. В результате полученное осветительное устройство равномерно освещало площадку. В тепловом расчете в программе SolidWorks максимальная температура нагрева составила 39°C являющейся допустимой температурой. Финансовые затраты на материалы и комплектующие изделия составило 12817,526 рублей.

Список публикаций

1. Бактыбаев А.А. Эффективная модернизация оптической облучающей системы в тепличном хозяйстве [Электронный ресурс] / А.А. Бактыбаев, С.Б. Туранов, К.А. Толеутаев; науч. рук. А.Н. Яковлев // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017): сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27-29 ноября 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. А.Н. Яковлева. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – [С. 130-131]. – Заглавие с титульного экрана. – свободный доступ из сети Интернет.

Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/45508>

2. Бактыбаев, А. А. Исследование оптических свойств светодиодов на основе гетероструктур из широкозонных полупроводников [Электронный ресурс] / А. А. Бактыбаев, С. Б. Туранов; науч. рук. И. А. Прудаев // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2016) : сборник научных трудов V Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 5–7 декабря 2016 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. А. Н. Яковлева. — Томск: STT, 2016. — [С. 220]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет.

Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/36486>

3. Effective Modernization of the optical irradiating system in greenhouse [Electronic resource] /A. Baktybayev, S. Turanov // Key Engineering Materials ^ Scientific Jurnal. – 2017. – Vol. 769^ Hight Technoligy^ Research and Applications 2017 (HTRA 2017). – P [388–393]. – Title screen. – Доступ по договору с организацией-держателем ресурса

Режим доступа: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.769.388>

Список используемых источников

1. Zhu X.-G., S. P. Long, D. R. Ort. Improving Photosynthetic Efficiency for Greater Yield // Annual Review of Plant Biology 61. 2010.
2. Barnes C., T. Tibbitts, J. Sager, G. Deitzer, D. Bubenheim, G. Koerner, B. Bugbee. Accuracy of Quantum Sensors Measuring Yield Photon Flux and Photosynthetic Photon Flux // Horticultural Science. 1993. 28(122).
3. McCree, K. J. The Action Spectrum, Absorptance and Quantum Yield of Photosynthesis in Crop Plant. // Agricultural and Forest Meteorology 9. 1972.
4. Radiation Measurement Instruments. www.licor.com/env/pdf/light/RMB.pdf (дата обращения 11.11.2016).
5. Клешнин А. Ф. Растения и свет. — М., АН СССР. — 1954. — 456 с.
6. Леман В. М. Курс светокультуры растений : Учебное пособие для с.-х. вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1976. — 271 с.
7. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб и доп. — М.: Знак, 2006. — 972 с.
8. Томинг Х. Г., Гуляев Б. И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. М.: Наука. — 1967. — 144 с.
9. Ничипорович А. А. Рабочее совещание по вопросам измерения оптического излучения для целей агрометеорологии, физиологии и экологии растений // Физиол. Раст. — 1969. — Т. 7, Вып. 6. — С. 332–350
10. Свентицкий И.И. – Вестник сельскохозяйственной науки, 1960, №2.
11. ОСТ 16.0.689.027.74. Источники Фотосинтетически эффективного излучения. Термины и определения, величины и единицы.
12. Хазанов В. С. О фотометрической оценке излучения по его действию на растения. – Светотехника, 1971, №5, с.16–18.
13. Самойлов Л. Н., Степанов Б.М., Эпштейн М. И. К вопросу об эффективных величинах и единицах. – Светотехника, 1979, №5, с. 10–13
14. Хазанов В. С. О фитофотометрической оценке излучения. – Светотехника, 1978, №5, с.24–26

15. Сулацков В. Г., Свентицкий И. И. К вопросу создания ламп с высокой эффективностью отдачей для облучения растений. – Светотехника, 1969, №3, с 7–10.
16. Сулацков В. Г., Свентицкий И. И. Лампа с высокой фитоотдачей для облучения растений. – Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1970, №11
17. Сулацков В. Г., Свентицкий И. И., Неклеса Н. П. Лампа типа ЛОР1000 для облучения растений. – Светотехника, 1971, №10, с. 3–4.
18. Усвяцова Е. И., Свентицкий И. И. Люминесцентные лампы для облучения растений. – Светотехника, 1971, № 11, с 9–11.
19. Свентицкий И. И., Неклеса Н. П., Сулацков В. Г. Влияние на урожай пшеницы новых электрических ламп для теплиц и фитотронов. – Вестник сельскохозяйственной науки, 1974, №5, с. 98-101.
20. Лебл Д. О. Новые лампы и технологические решения искусственного освещения в тепличном овощеводстве. – Информационный бюллетень. М.: изд. МСХ СССР, ВНИИ и ТЭИСХ, 1974.
21. Четвергов Д. И., Эрасмус А. А. Фитофотометр для контроля эффективной облученности в растениеводстве, -Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1970, №3, с.
22. Георгиев Г., Четвергов Д. И., Свентицкий И. И. Фотодетектор с оптически коригирана спектрално чувствителност за оценка на фотосинтетичната ефективност на лъченията. София, Агрофизични изследвания, 1975, №2.
23. Lesiuk B., Okolski F., Rudawy W., Stanioch W. Comparison tests of the photosynthetic effectiveness of the high pressure discharge lamps radiations. WELC, Moscow, June, 21–25, 1977, Section 4a, paper 64.
24. McCree, K. J. The Action Spectrum, Absorptance and Quantum Yield of Photosynthesis in Crop Plant. // Agricultural and Forest Meteorology 9. 1972.
25. Terashima I., T. Fujita, T. Inoue, W. S. Chow, R. Oguchi. Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White

Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves are Green // Plant & Cell Physiology. 2009. 50(4).

26. Philips Lumileds. 2014b. Luxeon Rebel Color Portfolio Datasheet DS68. Philips Lumileds Lighting Company.

27. Туранов С.Б., Козырева И., Яковлев А.Н. Методы оценки качественных характеристик светодиодных световых приборов для растений. // Светотехника. 2014. №6.

28. Radiation Measurement Instruments. www.licor.com/env/pdf/light/RMB.pdf (дата обращения 18.12.2017).

29. Мурей И. А., Шульгин И. А. Физиологические подходы к оценке использования лучистой энергии растением // Светотехника. 1979. № 9.

30. Леман В. М. Курс светокультуры растений. М.: Высшая школа, 1976.

31. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. М.: Знак, 2006.

32. Тооминг Х. М., Гуляев Б. И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. М.: Наука, 1967.

33. Головнева Н. Б., Терентьев В. М., Федюнькин Д. В. Об оценке эффективности излучения для выращивания растений // Светотехника. 1980. № 5.

34. Вассерман А. Л., Малышев В. В. Об оценке эффективности облучения растений // Светотехника. 1985. № 8.

35. Клешнин А. Ф. К вопросу об измерении лучистой энергии для ботанических целей // Светотехника. 1980. № 10.

36. Воскресенская Н. П. Фотосинтез и спектральный состав света. М.: Наука, 1965.

37. Козырев Б. П. Оценка эффективности излучения для растений // Светотехника. 1971. № 4.

38. 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.

39. Кхан Т. К., Шпентьес Н., Эльце Т. Предложения по оценке излучения, физиологически активного для растений // Светотехника. 2003. № 1.

40. Principles of radiation measurement/Брошюра компании LI-COR. www.licor.com/env/pdf/light/Rad_Meas.pdf (дата обращения: 31.01.2014).

41. Запысова А.Г., Яковлев А.Н., Козырева И.Н. Анализ осветительных установок, используемых в теплицах // Вестник энергоэффективности. – 2013. – № 2 (02). – С. 20–24 [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:<http://vestnik-energo.ru> (дата обращения 10.04.2013 г.).

42. Каталог CREE: Светодиоды и оптоэлектронные компоненты. – 2016 г.

43. Г.В. Боос, Л.Б. Прикупец: Стандартизация светотехнических приборов и установок для теплиц, ООО «ВНИСИ». Светотехника 2017 г.

44. Национальный стандарт РФ «ОБЛУЧЕНИЕ РАСТЕНИЙ СВЕТОДИОДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СВЕТА»: Стандартиформ. Москва. – 2017.

45. Прикупец Л.Б., Емелин А.А., Тараканов И.Г. Спектральный аспект при использовании облучателей со светодиодами для выращивания салатных растений в условиях светокультуры // Светотехника. – 2015. – №4. – С. 47-52.

46. Turanov S. B., Korepanov V.I., Yakovlev A. N. Evaluation of the effect of led irradiator spectral content on the development of greenhouse plants // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Materials and Technologies of New Generations in Modern Materials Science. – 2016. – Vol. 156.

47. Johkan M., Shoji K., Goto F., Nahida S., Yoshihara T. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa* // Environmental and Experimental Botany. – 2012. – 75. – P.128–133.

48. Мацерушка А., Лунегова И, Гидропонный корм по новой технологии // Животноводство России. – 2015 – №2 – С.14-16

49. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений / под ред. О.А. Павлиновой. М. : Наука, 1971. С. 154-170.
50. Валеев Р.А., Кондратьева Н.П., Кондратьева М.Г. Использование светодиодных осветительных установок (LED) при выращивании меристемных растений // Известия Международной академии аграрного образования (МАО). 2012. вып. 14. т. 2. с. 373–375.
51. Коробко В. В., Букарев Р. В. Влияние разнокачественного засоления на корнеобеспеченность проростков некоторых сортов зернового сорго // Вестн. Мичуринского филиала Рос. ун-та кооперации. Науч.-производ. журн. 2013. № 3. С. 65–67.
52. Ничипорович А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений. М.: наука, 1982. с. 7–33.
53. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 280 с.
54. Самуилов Ф.Д. Водный обмен и состояние воды в растении в связи с их метаболизмом и условиями среды. Казань: Изд-во КГУ, 1972. 282 с.
55. Жолкевич В.Н. Водный обмен растений. М.: Наука, 1989. 256 с.
56. Тарчевский И.А., Жолкевич В.Н. Водный обмен растений. М.: Наука, 1989. 28 с.
57. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
58. Регламентирующие документы планово-финансового отдела ТПУ - [Электронный ресурс <http://portal.tpu.ru>] – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/departments/otdel/peo/documents> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения 1.04.2018)
59. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

60. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

61. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – СПб.: ДЕАН, 2013. – 704с.

Приложение А

Раздел (2)

Расчет и конструирование осветительной установки для гидропонного оборудования

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	Бактыбаев Азамат		

Консультант отделения электронной инженерии ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Консультант – лингвист отделения электронной инженерии ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Ю.П.			

2. Calculation and construction of lighting system for hydroponic equipment

The first production of the national greenhouse irradiators using for seedling illumination started in 1972 at the Kadoshkino Electrical Technical plant (now JSC «KETF» produces lighting products of the brand Galad). The irradiators were completed with lamps ARC mercury radiated lamp-400 (AMRL) produced by Saransk production association «Lisma» (Saransk city) on the basis of the AMRL-400.

The «OT – 400» and «OT – 400M» irradiators consist of frame equipped with a suspension unit in the form of steel clamb, porcelain lampholder, gas-discharge radiation source, cable segments with a three-pin plug. Irradiators have modifications «OT – 400I» (OT – 400MI) and «OT – 400E» (OT – 400ME) with power factor about 0,5 – 0,55. There are some disadvantages of the brand «OT», such as significant loss of light to the upper hemisphere. Irradiators with bigger unit capacity were designed: «OT – 1000MI-011», «OT – 2000» (with lamp Arc mercury tube lamp – 2000 (AMTL) that has low service life: 2 – 3 thousand hours).

The greenhouse irradiator «Photos» type OGS01 runs in three-phase alternating current system with a dead-earthed neutral, with nominal line voltage of 380 V. It consists of a frame, a unit of starting and regulating equipment and a unit of compensating capacitors. Despite the fact that the irradiators of the series' «Photos» have good lighting characteristics, the construction does not allow controlling the distribution of radiant energy on the irradiated surface. Types of irradiators of «Photos» series include OGS01-1000 « Photos-1» (lamp AMRL-1000-6), OGS01-1000-002 «Photos-2» (lamp AMRL-1000-6), OGS01-2000-001 «Photos-3» (lamp AMRL-2000-6), OGS01-2000-002 «Photos-4» (lamp AMRL-2000-6), OGS01-3500-001 «Photos-5» (lamp AMRL-3500), OGS01-3500-002 «Photos-6» (lamp AMRL-3500).

The 07 «Urozhay» irradiators are designed to run with high-pressure sodium lamps with a capacity of 400 and 600 watts. The construction allows you to set the radiation sources at different distances from the irradiator, so that the light intensity

curve in the transverse plane can vary from wide to cosine. This allows you to use the lamp to illuminate the area of different heights.

SORT-1-10 with lamps Xenon tube lamp-10000 (XTL), UORT-2-3000 with lamps DM4-3000, DM-3000 and UORT-1-6000 with lamps DM-6000 that are types of irradiating installations are used in hangar greenhouses with span width of 18 meters.

Due to the increased interest in resource and energy saving technologies, led lamps are gradually being implemented into the agro-industrial complex.

There are lamps for irradiation of seedlings, lighting of various vegetables, berries, flowers. Most of the proposed devices have two narrow spectral bands in the blue (400–500 nm) and red (600–700 nm) areas with different energy ratios.

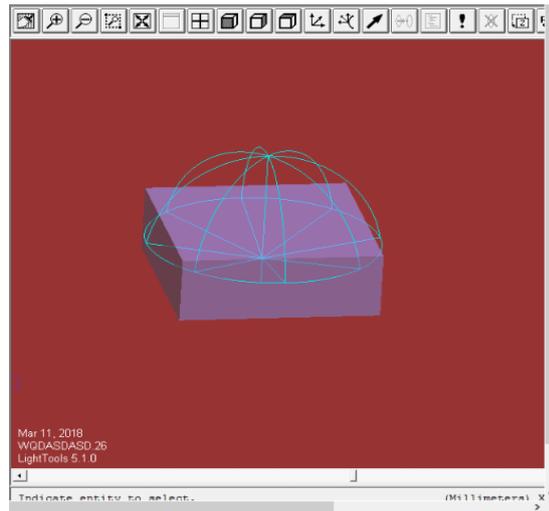
The review of the characteristics of some irradiation plants for protecting soil crop production is presented in [24].

2.1 Modeling of the lighting system in Light Tools

Led power of 1 W was modeled in the software complex Light Tools. Overall dimensions of the led are $3,5 \times 3,5$ mm. Only one radiating surface is specified (TopSurface). The general view of the led is shown in picture 2.1. The main characteristics of the led are presented in table 2.1 [1].

Table 2.1 – Led characteristics of brand CREE XP-E

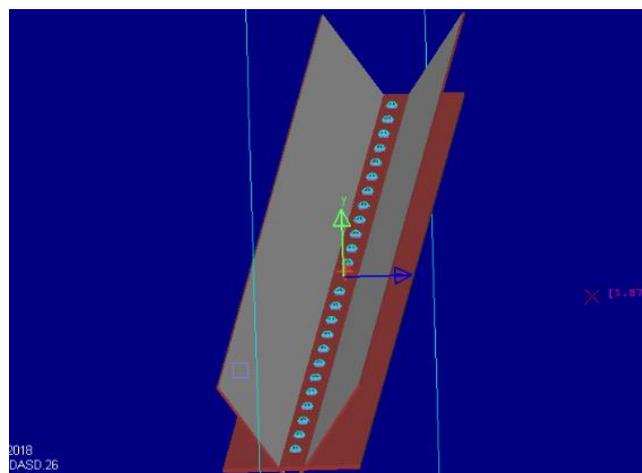
Parameters	Values
Dimensions, mm	$3,5 \times 3,5$
Maximum Current consumption, A	0,35
Maximum power, W	1
Luminous flux, lm	100
Luminous impact, lm/W	100
Direct voltage, V	2,9 при 65 мА
Maximum reverse voltage, V	-5
Viewing angle	130
Maximum connection temperature, °C	150



Picture 2.1 – The general view of the led

According to the conditions, the total power of the lamp cannot be more than 30 watts. Consequently, 24 LEDs of 1 W were selected. One of the most ideal options for the LEDs placement is to make them located in one line. LEDs are located on the board with dimensions of 1300×20 mm.

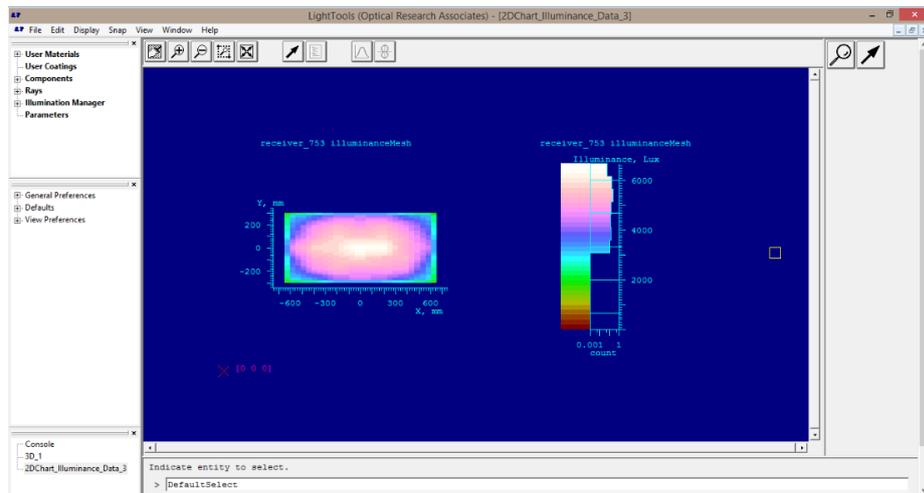
The next step is to create the reflecting surfaces that have diffuse reflection properties. There are reflection properties such as increased scattering-diffuse reflection of 90%. The reflector was chosen of rectangular shape, oblong along the entire length of the lamp, the overall dimensions of which are $1300 \times 40 \times 2$ mm. It is located at an angle of 120° towards the plane of the electronic board (picture 2.2).



Picture 2.2 – Diffuse reflector

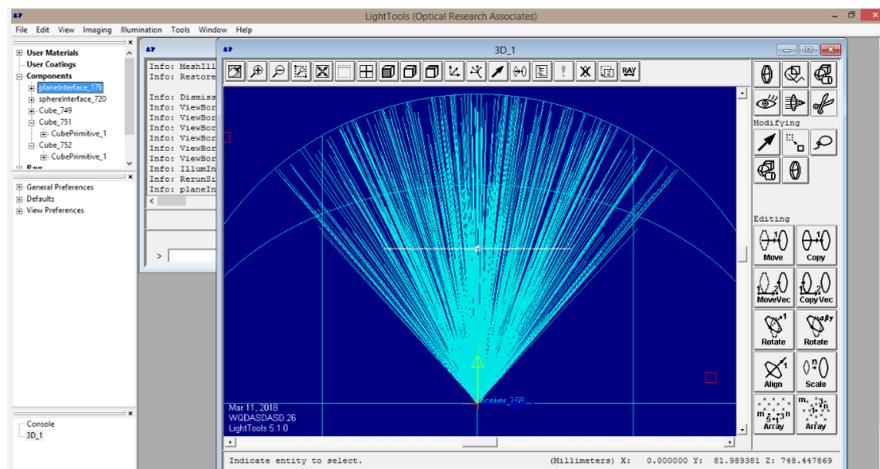
The General form of the lamp is an oblong structure framed from two opposite sides by reflective elements. The illuminated area is located at the distance of 500 mm and has dimensions of 1300×600 mm. This site is one of the levels of hydroponic installation made for the cultivation of various low-growing green crops.

By changing the distance between the LEDs, the radius of curvature and the inclination angle of the reflector we can get the equilibrium distribution of the light flux on the illuminated area. The distribution results of the received illumination on the site of the developed lamp are shown in picture 2.3.



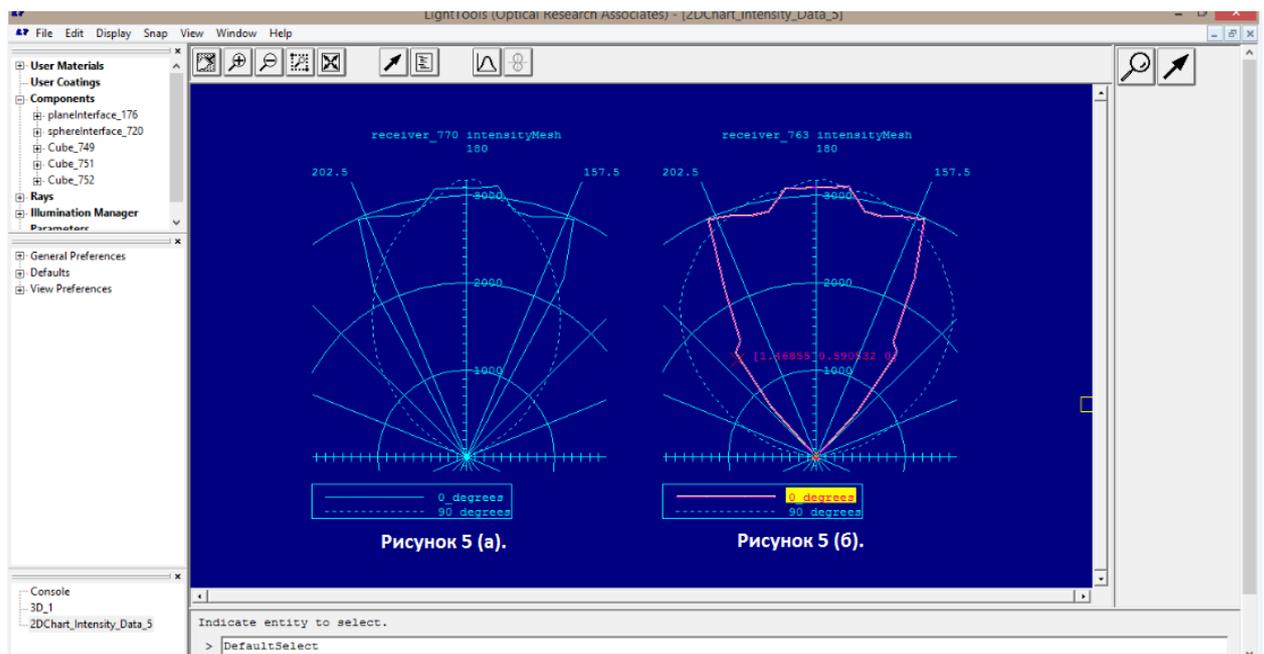
Picture 2.3 – Light distribution on the site

Adding the calculated surface-sphere, it is possible to make out the direction of the rays that fall and do not fall on the site, picture 2.4.



Picture 2.4 – The course of the rays

A more accurate distribution of the light flux in space reflects the shape of the LIC (light intensity curve) is shown in picture 2.5.



Picture 2.5 – LIC developed lamp in two planes (a – across view, b – along view)

2.2 Calculation of the efficiency and design of phytolamp in SolidWorks.

Phytolamp patent research for multistoried hydroponics installations

Based on the national standard of the Russian Federation "irradiation devices with led light sources for greenhouses. General technical conditions " are for lighting devices (LD) with LEDs designed for irradiation of plants in industrial greenhouses and other protected soil cultivation facilities and designed for operation in AC networks with a voltage of up to 600 V inclusive. The standard contains general requirements for LD of greenhouses, including photometric. The requirements for the efficiency of devices in the photosynthetic active radiation's (PAR) field are given on photometric part. The PAR should not be less than 2.0 $\mu\text{mol}/\text{J}$ in devices for lighting plants from above, not less than 1.8 $\mu\text{mol}/\text{J}$ in devices for additional inter-row lighting and not less than 1.9 $\mu\text{mol}/\text{J}$ in devices for lighting plants in multi-tier rack-type installations are given in the photometric part [2].

In addition, the standard summarizes the procedure for determining the effectiveness of devices in the field of PAR, containing of several stages:

a) Measurement of the LD for spectral radiation density in region (400–700 nm).

b) Calculation of photosynthetic photon flux by the formula [2, 3]:

$$F_{PAR} = \int_{400}^{700} \frac{\mu_{\lambda} E_{\lambda} \cdot \lambda}{h \cdot c \cdot N_A} d\lambda \quad (1)$$

where F_{PAR} – photosynthetic photon flux (PPF), $\mu\text{mol}/\text{s}$; E_{λ} – spectral density of the device radiation energy distribution, J/nm ; λ – wavelength, nm ; h – Plank constant; c – speed of light; N_A – Avogadro constant, μ_{λ} – spectral sensitivity of plants.

c) Measurement for LD power consumption.

d) Calculation of efficiency of LD in the field of RAP by the formula [2]:

$$\eta_f = \frac{F_{PAR}}{P_e} \quad (2)$$

где η_f – Efficiency of the device in PAR, $\mu\text{mol}/\text{J}$; F_{PAR} – Photosynthetic Photon Flux, $\mu\text{mol}/\text{s}$; P_e – power consumption, W .

Thus, using the formula 1, we get:

$$F_{PAR} = \int_{400}^{700} \frac{\mu_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \cdot \lambda}{h \cdot c \cdot N_A} d\lambda = K \int_{400}^{700} E_{\lambda} \cdot \lambda \cdot d\lambda \quad (3)$$

где E_{λ} – spectral density of the device radiation energy distribution, J/nm ; λ – wavelength, nm ; $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{s}$; $c = 3 \cdot 10^{17} \text{ nm}/\text{s}$; $N_A = 6,022 \cdot 10^{17} \text{ mol}^{-1}$; $K = 8,36 \cdot 10^{-3} \mu\text{mol} \cdot \text{nm}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$ – factor, μ_{λ} – spectral sensitivity of plants [3].

In the final formula 3, the value of $\mu_{\lambda} = 1$ (spectral sensitivity of plants). Usually, Mac–Cree schedule is used for calculating the μ_{λ} (average spectral sensitivity for different plants). But according to recent studies, spectral sensitivity curves differ for different plants [3-6], so the use of this value in calculations leads to serious errors (up to 40%).

For further calculations, the spectral density of the radiation energy distribution was measured on the lamp prototype with the usage of the «TKA-Spectrum» (PAR) spectrophotometer. The measurement data is presented in table 2.2.

Table 2.2 – The results of the measurements using a spectrophotometer «Spectrum» (PAR)

λ , nm	$E\lambda$, J/nm	PPFD, $\mu\text{mol/s/m}^2$
401,7	69,3	0,2328
405,0	69,4	0,2348
408,4	51,0	0,1741
411,7	40,1	0,1381
415,0	43,0	0,1491
418,3	46,1	0,1610
421,6	49,5	0,1743
424,9	53,5	0,1900
428,2	72,4	0,2592
431,5	158,9	0,5730
434,9	175,8	0,6392
438,2	142,7	0,5228
441,5	77,1	0,2847
444,8	73,2	0,2722
448,1	76,4	0,2863
451,4	78,8	0,2974
454,7	81,6	0,3101
458,1	84,3	0,3227
461,4	86,3	0,3327
464,7	88,0	0,3419
468,0	90,1	0,3526
471,3	91,5	0,3603
474,6	92,7	0,3678
477,9	93,0	0,3716
481,2	93,8	0,3774
484,6	94,0	0,3807
487,9	94,5	0,3854
491,2	94,1	0,3864
494,5	94,0	0,3884
497,8	93,1	0,3873
501,1	92,2	0,3864
504,4	91,4	0,3856
507,7	91,3	0,3873
511,1	90,5	0,3868
514,4	89,8	0,3859
517,7	89,6	0,3878
521,0	89,6	0,3903
524,3	90,3	0,3958

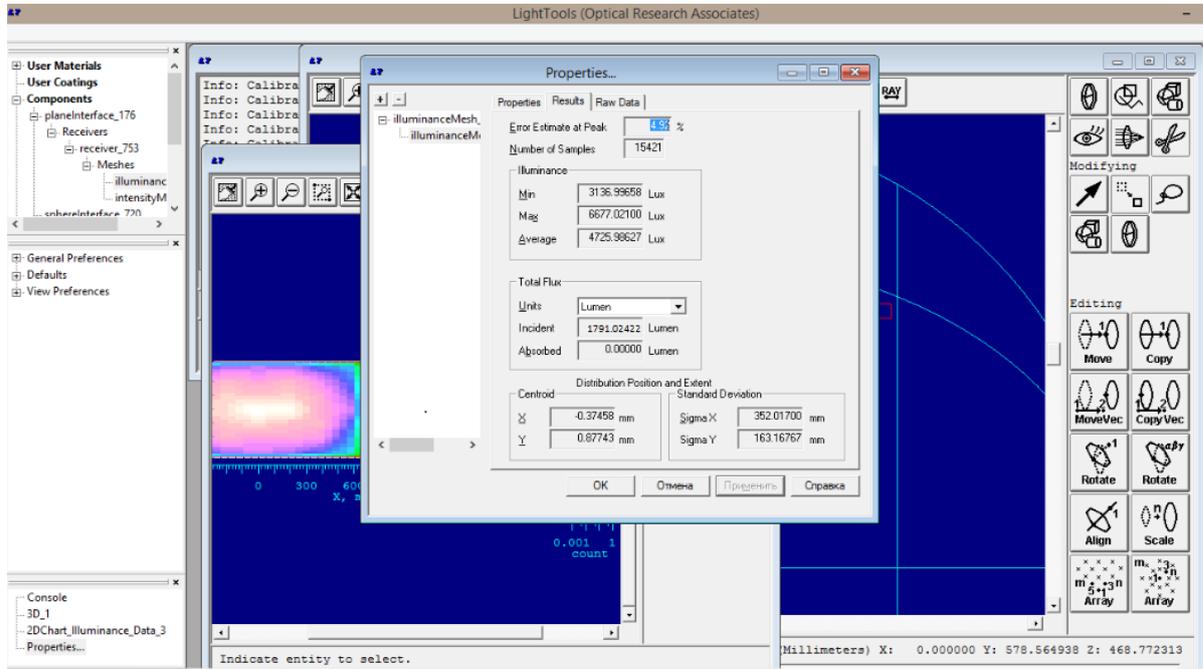
527,6	91,1	0,4017
530,9	93,4	0,4144
534,3	95,5	0,4264
537,6	101,6	0,4566
540,9	148,9	0,6731
544,2	177,8	0,8088
547,5	173,6	0,7945
550,8	129,8	0,5979
554,1	119,1	0,5515
557,4	122,5	0,5708
560,8	126,1	0,5914
564,1	129,2	0,6091
567,4	131,2	0,6225
570,7	137,5	0,6561
574,0	151,3	0,7261
577,3	155,4	0,7498
580,6	146,9	0,7129
583,9	132,2	0,6453
587,3	126,3	0,6203
590,6	122,3	0,6038
593,9	118,1	0,5863
597,2	112,8	0,5633
600,5	107,5	0,5395
603,8	102,1	0,5154
607,1	96,5	0,4897
610,5	90,6	0,4622
613,8	84,9	0,4355
617,1	78,9	0,4072
620,4	73,6	0,3815
623,7	67,9	0,3542
627,0	63,1	0,3306
630,3	58,3	0,3072
633,6	53,6	0,2839
637,0	49,9	0,2655
640,3	45,9	0,2456
643,6	42,4	0,2282
646,9	39,1	0,2115
650,2	35,9	0,1951
653,5	33,1	0,1810
656,8	30,7	0,1688
660,1	28,2	0,1554
663,5	26,1	0,1447
666,8	24,0	0,1338

670,1	22,4	0,1253
673,4	20,7	0,1168
676,7	19,2	0,1088
680,0	17,6	0,1003
683,3	16,6	0,0951
686,7	15,6	0,0893
690,0	14,9	0,0860
693,3	13,9	0,0808
696,6	12,8	0,0748
699,9	11,7	0,0687
703,2	11,3	0,0666
706,5	10,5	0,0621
709,8	10,1	0,0600
713,2	9,5	0,0564
716,5	8,9	0,0535
719,8	8,6	0,0515
723,1	8,1	0,0489
726,4	7,7	0,0465
729,7	7,4	0,0451
733,0	7,1	0,0434
736,3	6,8	0,0419
739,7	6,4	0,0394
743,0	6,2	0,0383
746,3	5,8	0,0360
749,6	5,8	0,0365
752,9	5,6	0,0351
756,2	5,6	0,0355
759,5	5,2	0,0333
762,9	5,3	0,0340
766,2	5,2	0,0330
769,5	5,0	0,0324
772,8	5,0	0,0322
776,1	5,1	0,0333
779,4	4,9	0,0317
782,7	4,9	0,0323
786,0	4,9	0,0322
789,4	5,1	0,0338

The calculation of photosynthetic photon flux $F_{PAR} = 56.766 \mu\text{mol/s}$ was integrated in the MathCAD program. Using the formula 2 for calculating the efficiency of the lighting device in the PAR's field, we get: $\eta_f = 1.896 \mu\text{mol/J}$ which

corresponds to the value of the necessary efficiency for lighting devices in a multi-tier installation for greenhouse[2].

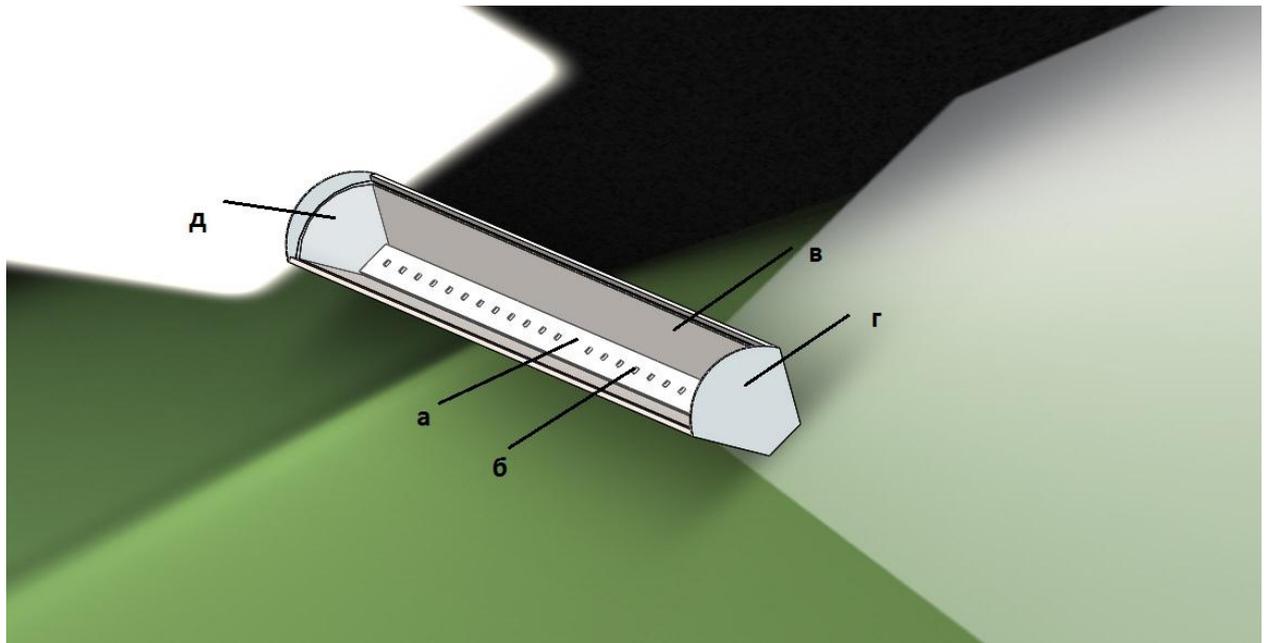
The results of the calculation of the light flux caught on the site are shown in picture 2.6.



Picture 2.6 – Calculation of the light flux on the site

According to the condition of the task, the light flux of the led corresponds to 100 lm, therefore, the light flux from the lamp that has 24 LEDs is equal to 2400 lm. The light flux falling on the platform corresponds to 1791.024 lm, thus 74.626% of the total outgoing light flux falls on the area of one rack of a multi-tiered installation.

The 3D model of the luminaire created in SolidWorks is shown in picture 2.7.



Picture 2.7 – Appearance of the lamp (a - printed circuit board, b - led, c - reflector, d - body, e - glass)

The maximum temperature in the LEDs reaches 39°C. The simulated heating conditions of the LEDs were modeled in SolidWorks. The picture 2.8 shows the temperature values that were presented during the operation of the lighting system.

ОЦ Max Температура (твердое тело) 1	36.7715 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.490961 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 10	38.1995 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.540163 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 11	38.1782 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.532999 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 12	38.3132 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.537058 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 13	38.4783 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.548545 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 14	38.6458 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.542097 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 15	38.7464 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.550307 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 16	38.799 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.546774 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 17	38.7808 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.557737 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 18	38.7862 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.551417 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 19	38.5755 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.545079 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 2	37.0366 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.493582 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 20	38.6869 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.543408 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 21	38.3413 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.544548 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 22	38.1296 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.526571 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 23	37.806 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.52225 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 3	37.1658 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.509156 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 4	37.2729 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.505907 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 5	37.5912 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.515564 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 6	37.8179 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.528834 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 7	38.028 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.523639 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 8	38.1594 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.532657 °C	Проверка критериев
ОЦ Max Температура (твердое тело) 9	38.2226 °C	Достигнуто (IT = 132)	0.529366 °C	Проверка критериев

Picture 2.8 – The temperature at the LEDs

Conclusions

A 24 W lamp was designed to illuminate the $1,3 \times 0,6$ m area located on 0,5 m from the luminaire. As a result, the resulting lighting device illuminated the area evenly; the efficiency of the lamp was 74.626%. The maximum temperature of the LEDs was 39°C , which is the allowable temperature in the thermal calculation.