

Министерство науки и высшего образования 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 Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка осветительной системы многоярусной конструкции по выращиванию растительной продукции в тепличном комплексе

УДК 628.977.9:631.544.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ81	Е.В. Жидолович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Т.В. Гречкина	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Т.Б. Якимова	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	И.И. Романцов	к.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	Способность формулировать цели, задачи научного исследования или разработки в области светотехники и фотонных технологий и материалов, способность выделять и обосновывать критерии, на основании которых формируются модели принятия решений, составлять план работ, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи
P2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов
P3	Способность к профессиональной оценке проблем проектирования в области светотехники, оплотехники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы
P4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной, облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности
P5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля качества изготовления деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов.
P6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные

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

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

Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ)
Направление подготовки (специальность) 12.04.02 Опотехника
Отделение материаловедения (ОМ)

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель
ООП «Опотехника» ОМ ИШНПТ
Полисадова Е.Ф. _____
(Ф.И.О.) (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ81	Жидолович Екатерина Валерьевна

Тема работы:

Разработка осветительной системы многоярусной конструкции по выращиванию растительной продукции в тепличном комплексе

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<ul style="list-style-type: none">– Объект исследования: нормы и правила освещения в теплицах; помещение теплицы.– Техническое оборудование для измерения освещенности и ФАР.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Актуальные аспекты тепличного хозяйства по выращиванию растений ярусным способом - анализ светотехнического оборудования для многоярусных конструкций; - нормы и правила светодиодных светильников для теплиц; - спектральный состав, поток, длительность облучения для роста и развития растений в закрытом грунте; - технологические принципы выращивания растений для конструкций ярусного (стеллажного) типа.</p> <p>2. Проведение экспериментальных исследований в тепличном комплексе</p> <p>3. Разработка: - элементов многоярусной конструкции по выращиванию низкорослых растений; - проекта освещения многоярусной конструкции в тепличном комплексе.</p>
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Построение трехмерной модели объекта исследования, представление экспериментальных и расчетных данных проекта (DIALux, SolidWorks, и т.п.)</p>
--	---

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
---	--

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Т.Б. Якимова, к.э.н.
Социальная ответственность	И.И. Романцов, к.т.н.
Раздел на иностранном языке	О.В. Сумцова

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>
--

<p>Actual aspects of the greenhouse growing plants in tiered system</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>29.10.2018 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гречкина Татьяна Валерьевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ81	Жидолович Екатерина Валерьевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4BM81	Жидолович Е.В.

Школа	ИШНПТ	Отделение школы	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	12.04.02 Оптотехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Инициатор проекта ОМ ИШНПТ ТПУ. исполнители: руководитель проекта, инженер – разработчик (магистрант)
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	районный коэффициент- 1,3; коэффициент дополнительной заработной платы - 0,15; накладные расходы – 16%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды, которые составляют 30,2 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Потенциальные потребители результатов исследования. Проведение -SWOT-анализа
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработка календарного плана и бюджета научного исследования. Оценка рисков и научно-технического уровня исследования.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение целесообразности и сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

02.03.2020

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4BM81	Жидолович Е.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ81	Е.В. Жидолович

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

Тема ВКР:

Разработка осветительной системы многоярусной конструкции по выращиванию растительной продукции в тепличном комплексе	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Выполнение камеральных работ (проведение эксперимента, обработка результатов, набор текста). Рабочее место расположено в 166 лаборатория №13. Имеет естественное и искусственное освещение, компьютерный стол с полочками для литературы. Объектом исследования является осветительная система многоярусной конструкции. Область применения – сельскохозяйственное производство.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	1.Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) 2.ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. 3.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы 4.СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. 5.ГОСТ Р 57671-2017. Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия. 6.СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений 7.СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы 8.СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах 9.ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов 10.ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования
2. Производственная безопасность:	Вредные факторы: – Отклонение параметров микроклимата в помещении – Шум, вибрации

	– Недостаточная освещенность зоны, зрительное напряжение Опасные факторы: – Электробезопасность – Статическое электричество
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия на: – атмосферу (выбросы); – литосферу (отходы). Утилизация ТБО, микросхем и источников света.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией для учебного корпуса является – пожар. В целях предотвращения возгорания необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с электрооборудованием.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.2020
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ81	Е.В. Жидолович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 107 с., 32 рис., 38 табл., 37 источников, 2 прил.

Ключевые слова: фитосветильник, фотосинтез, облученность, фотосинтетическая активная радиация, агрофотоника, освещение, закрытый грунт.

Объектом исследования является исследовательская ярусная установка.

Целью работы является разработка системы освещения ярусной исследовательской установки для выращивания микрозелени.

В процессе исследования проводился анализ фитосветильников, ярусных конструкций.

В результате исследования сделаны выводы о перспективности применения светодиодных фитосветильников для повышения эффективности при выращивании растений в многоярусных установках.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: светотехнические – облученность, спектр; электротехнические – мощность; технико-эксплуатационные – IP, степень защиты по электробезопасности.

Степень внедрения: модернизация существующей исследовательской установки для выращивания микрозелени с применением энергоэффективного фитосветильника.

Область применения: сельскохозяйственное производство, светотехническая промышленность, исследовательские лаборатории.

Экономическая эффективность/значимость работы: в работе представлено актуальное решение применения фитосветильника для увеличения объемов по выращиванию микрозелени.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р 57671-2017. Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия.
2. ГОСТ Р 55703-2013. Источники света электрические. Методы измерений спектральных и цветовых характеристик
3. ГОСТ Р 56231-2014. Светильники. Часть 2-1. Частные требования к характеристикам светильников со светодиодными источниками света
4. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
5. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
6. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
7. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
8. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы
9. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах
10. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
11. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования

Список основных обозначений и сокращений

КСС – кривая силы света

ОУ – осветительная установка

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

PPFD (photosynthetic photon flux density) – фотосинтетический фотонный поток

ВФ – вертикальная ферма

ПВХ – поливинилхлорид

DIALux evo/4.13– программа для расчета, проектирования трехмерного моделирования освещения

SolidWorks – программный комплекс САПР для разработки 3D изделий (детали и сборки)

Surfer15 – программа для анализа и моделирования поверхностей.

TracePro 73 – опто-механическое программное обеспечение, которое применяется для проектирования, анализа и оптимизации оптических и осветительных систем.

Оглавление

Введение	14
Глава 1 Актуальные аспекты тепличного хозяйства по выращиванию растений ярусным способом	16
1.1 Светотехническое оборудование для многоярусных конструкций ...	16
1.2 Нормы и правила светодиодных светильников для теплиц.....	19
1.3 Техническое оборудование для измерений	21
1.4 Технологические принципы выращивания растений для конструкций ярусного типа.....	24
Заключение по Главе 1.....	26
Глава 2 Экспериментальные исследования	27
2.1 Описание объекта исследования.....	27
2.2 Алгоритм подготовки к эксперименту «Выращивание микрозелени» ..	34
2.2.1 Наблюдение и сбор экспериментальных данных	35
Заключение по Главе 2.....	41
Глава 3 Моделирование осветительной системы.....	43
3.1 Подбор расположения светильника в ярусной установке	43
3.2. Стеллажная конструкция в SMART-теплице ТПУ	46
3.3 Разработка светильника для исследовательской установки.....	49
3.3.1 Тепловой расчет	51
Заключение по Главе 3.....	53
Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54
4.1 Предпроектный анализ	54
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	54
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
4.1.3 SWOT-анализ.....	57
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	59
4.2.1 План проекта.....	59
4.2.2 Бюджет научно-технического исследования	61

4.2.3	Расчет основной заработной платы исполнителей	61
4.2.4	Отчисления на социальные нужды.....	64
4.2.5	Расчет накладных затрат	64
4.2.6	Расчет общей себестоимость проекта	64
4.3	Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.....	65
4.3.1	Оценка рисков НТИ	65
4.3.2	Анализ и оценка научно-технического уровня исследования.....	67
4.3.3	Оценка ресурсоэффективности проекта	69
Заключение по разделу «Финансовый менеджмент»		70
Глава 5 Социальная ответственность		72
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	72
5.2	Производственная безопасность	74
5.2.1	Анализ вредных и опасных факторов	74
5.2.2	Отклонение параметров микроклимата в помещении	75
5.2.3	Шум	77
5.2.4	Освещенность в рабочей зоне	77
5.2.5	Электробезопасность	80
5.2.6	Статическое электричество	81
5.3	Экологическая безопасность	82
5.3.1	Утилизация.....	82
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
5.4.1	Пожарная безопасность	84
Заключение по разделу «Социальная ответственность».....		86
Заключение.....		87
Список публикаций автора.....		88
Список использованных источников		89
Приложение А		93
Приложение Б		97

Введение

Тепличное хозяйство России растёт – увеличиваются площади хозяйств, расширяется ассортимент возделываемых культур. Однако, главное не количественный или ассортиментный прирост, а новые технологии выращивания. Прежде всего, автоматизация теплиц. Автоматизация позволяет увеличить производство и существенно сократить издержки. Движение к полной автоматизации меняет потребности в использовании ручного труда и минимизирует затраты.

Традиционное сельское хозяйство имеет очевидный предел для своего роста – оно ограничено количеством земли, пригодной для этих целей. Поэтому для использования территории была предложена технология многоярусного выращивания. Однако вертикальное хозяйство накладывает на технологии, применяемые внутри фермы, определённые ограничения. К примеру, использование технологии беспочвенного выращивания – гидропоники, при которой корни растений погружены в специальный субстрат, представляющий собой раствор питательных веществ, который непрерывно циркулирует в системе. Второе важное ограничение связано с освещением, потому что должно быть организовано на каждом из ярусов, где выращиваются те или иные растения. Осветительные установки при этом должны быть максимально компактными. Этим требованиям отвечают светодиодные системы освещения. Однако они являются дорогими, но экономичны в эксплуатации.

Технология освещения ярусного выращивания зелени с применением светодиодов обеспечивает круглогодичное производство зелени высокого качества. Для этого необходимо создание оптимально комфортных условий обеспечивающих эффективное развитие растений.

На данный момент множество систем облучения стеллажных установок имеют не эффективные параметры, обеспечивают неравномерное распределение, не управляемы по спектральному составу, имеют высокую

или недостаточную мощность. Это ведет к неэффективному росту и развитию культур.

Целью работы является разработка системы освещения ярусной исследовательской установки для выращивания микрозелени. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Оценка влияния светодиодного излучения на рост и развитие микрозелени
2. Определение достаточного уровня потока ФАР для эффективной микрозелени

Была поставлена инженерная задача по разработке осветительного прибора для многоярусной исследовательской установки. Для этого необходимо было учесть:

1. Конструкцию осветительной установки
2. Расположение осветительного прибора в установке
3. КСС для равномерного облучения каждого яруса в установке
4. Произвести тепловой расчет разработанного прибора

В данной работе рассмотрены все вышеперечисленные вопросы, а также разработана система освещения для ярусного выращивания микрозелени, что была предложена в последствие проведения эксперимента.

Глава 1 Актуальные аспекты тепличного хозяйства по выращиванию растений ярусным способом

Новые тепличные комплексы активно возводятся во многих регионах страны. На стадии строительства находятся более 300 га теплиц и к 2024 году планируется обеспечить 1,5 млн тонн овощей в год [1].

Создание вертикальных городских теплиц обеспечивают полностью контролируемую среду, которая позволит получать стабильный урожай не зависимо от сезона, а размещать их возможно в помещениях с отсутствием естественного освещения. Вертикальные фермы очень перспективное направление сельского хозяйства, которое требует крупных капиталовложений и новых технологических решений.

Вертикальные агрофермы в настоящее время проектируются и возводятся в городах экономически развитых стран таких как [2]: США, Германия, Япония, Сингапур.

1.1 Светотехническое оборудование для многоярусных конструкций

В области растениеводства крупная компания Philips Lighting предлагает эффективные и инновационные решения для выращивания культур в городских условиях, а также самые надежные технологии и светодиодные системы. Компанией Philips был разработан производственный модуль GreenPower LED для многоярусного выращивания в кондиционированных средах с небольшим или отсутствующим дневным светом. Оптимизирован для закрытых климатических объектов с контролируемым климатом, таких как городские и вертикальные фермы, центры размножения и исследования, которые используют многоярусные системы для выращивания сельскохозяйственных культур, такие как: листовые овощи и травы, микрозелень, ягодные культуры, цветоводство.

Гарантируют, что глубокий красный спектр наиболее эффективен для фотосинтеза, вегетативное размножение и стимулирование развития побега. Синий спектр положительно влияет на компактность и упрочнение. Белый рабочий свет – полный спектр. Дальний красный спектр дает положительный эффект на генеративные свойства, формирование цветения.



Рисунок 1.1 – Производственный модуль GreenPower LED [3]

Таблица 1.1 – Характеристики производственного модуля GreenPower LED [3]

Параметры:	GreenPower LED
Входное напряжение	200 В
Потребляемая мощность	22-27 Вт
Световой поток	50 мкмоль/с
КПД	2.1-2.3 мкмоль/Дж
Степень защиты	IP66
Продолжительность	25000 часов

Производственный модуль выпускается и поставляется в четырех спектральных версиях:

- | | |
|----------------|----------------------------------|
| 1. DR / B | Deep red (DR) – глубокий красный |
| 2. DR / B /FR, | Blue (B) – синий |
| 3. DR / W | White (W) –белый |
| 4. DR / W / FR | Far red (FR) – дальний красный |

Городская вертикальная ферма Green Sense [4], которая находится в Портедже близ Чикаго (США), располагается в здании промышленного склада площадью 12000 м² . Выращивают салат, микрозелень, в том числе капусту, рукколу, кресс-салат и кулинарные травы. Около 80% продукции идет в продуктовые магазины, а 20% – в компании, которые обслуживают рестораны и учреждения.



а



б

Рисунок 1.2 – а) Ферма Green Sense [5];
б) Салатная вертикальная ферма iFarm [7]

В ферме Green Sense на стеллажах высотой порядка 7,5м автоматизированное управление освещением с помощью светодиодных модулей от Phillips с синим и красным спектром.

Отечественные производители тепличных светодиодных приборов для ярусного выращивания стараются не отставать от зарубежного опыта и используют разработанные технологии в собственных фермах. Например, создатели iFarm Project [6], в г. Новосибирск. Их собственная разработка это полноспектральный светодиодный светильник, который они используют для ярусного выращивания (см. рисунок 1.3б).

Таблица 1.2 – Технические характеристики светодиодной лампы iFarm [6]

Мощность	не более 29 Вт
ССТ	3000 К
Д/Ш/В	1.8м/15мм/6мм
Масса	200 г
Тип и материал корпуса	Алюминиевый, с покрытием анодированным серебром, Прозрачная пластиковая линза

Рассмотрим другую российскую компанию «Агрорус» в городе Брянск. Предлагает вертикальные фермы закрытой светокультуры под брендом «Илиотек» [8], у которых так же налажено собственное производство светодиодных светильников. Описывают что выпускают с независимо регулируемой интенсивностью белого и красного каналов, что позволяет подбирать оптимальное соотношение синего и красного спектра (и общей интенсивности).

1.2 Нормы и правила светодиодных светильников для теплиц

Первый документ, регулирующий технические требования для светодиодных фитосветильников это ГОСТ Р 57671-2017 «Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия» [9].

В данном стандарте регулируются типы КСС фитосветильников для освещения растений сверху, в том числе и в многоярусных установках стеллажного типа, – это Л (полуширокая) или Ш (широкая) (п.5.2.1.).

Так же нормируется эффективность приборов в области ФАР (фотосинтетическая активная радиация), которая должна быть 2.0 (мкмоль/с)/Вт у приборов, предназначенных для освещения растений сверху; для дополнительного освещения растений в объеме ценоза (междурядное

освещение) – 1.8 (мкмоль/с)/Вт; и не менее 1.9 (мкмоль/с)/Вт —для приборов, предназначенных для освещения растений в многоярусных установках стеллажного типа. Максимальная температура нагрева корпуса не должна превышать 60°C.

Так же, в стандарте [9] в пункте 7.3 кратко изложен порядок определения эффективности приборов в области ФАР:

а) Измерение спектральной плотности излучения ОП в области ФАР (400–700 нм) по ГОСТ Р 55703.

б) Расчет фотосинтетического потока фотонов по формуле [9]:

$$F_{\text{ФАР}} = \int_{400}^{700} \varphi_{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{h \cdot c \cdot N_A} \cdot d\lambda = K \cdot \int_{400}^{700} \varphi_{\lambda} \cdot \lambda \cdot d\lambda \quad (1)$$

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

φ_{λ} – спектральная плотность распределения мощности излучения прибора (в области ФАР), Вт/нм;

λ – длина волны, нм;

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – постоянная Планка;

$c = 3 \cdot 10^{17}$ нм/с – скорость света;

$N_A = 6,022 \cdot 10^{17}$ моль⁻¹ – число Авогадро;

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

в) Измерение потребляемой мощности – по ГОСТ Р 56231;

г) Эффективность в области ФАР рассчитывают по формуле [9]:

$$\eta_{\text{ФАР}} = F_{\text{ФАР}} / P \quad (2)$$

где: $\eta_{\text{ФАР}}$ – эффективность в области ФАР, (мкмоль/с)/Вт;

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

P – потребляемая мощность, Вт.

В настоящее время многие производители предлагают светодиодные светильники для освещения теплиц, многоярусных установок, досвечивания, следует что соответствие стандарту и будет определяющим фактором для потребителя.

1.3 Техническое оборудование для измерений

Часть солнечной радиации в диапазоне от 400 до 700 нм которая используется растениями для фотосинтеза получила название фотосинтетически активная радиация (ФАР).

Фотосинтез — это процесс преобразования энергии света в энергию химических связей органических веществ. Для осуществления фотосинтеза пигменты в тканях растений должны поглощать энергию фотонов нужных длин волн и затем использовать эту энергию для запуска цепи химических реакций фотосинтеза.[10]

При взаимодействии излучения с растением энергия падающих фотонов распределяется следующим образом:

- Отражение ~ 10%
- Пропускание ~ 10%
- Теплота ~ 35%
- Транспирация ~ 43%
- Фотосинтез ~ 2%

Фотосинтетические пигменты высших растений делятся на две группы - хлорофиллы и каротиноиды. Роль этих пигментов состоит в том, чтобы поглощать свет и превращать его энергию в химическую энергию.[10]



Рисунок 1.3 – Спектры поглощения хлорофиллов *a* и *b*, и каротиноидов

Хлорофиллы *a* и *b* имеют два основных максимума поглощения в красной и сине-фиолетовой частях спектра с незначительными различиями в их положении. Как видно на рисунке 2.5, у хлорофилла *b* максимум поглощения в красной части спектра несколько смещен в сторону коротковолновых лучей, а в сине-фиолетовой части, наоборот, в сторону длинноволновых лучей по сравнению с положением аналогичных максимумов у хлорофилла *a* [10].

Все растения по-разному воспринимают разные длины волн в спектре ФАР. Это связано с разным поглощением разных типов пигментов в листьях каждого растения.

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.

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

PPF - фотосинтетический поток фотонов. Это абсолютное количество фотонов в ФАР диапазоне, которое излучает источник света каждую секунду.

Параметр PPFD – это количество фотосинтетически активных фотонов, попадающих на измеряемую поверхность растения в течение данной секунды.

Для измерения PPFD использовался спектрофотометр ТКА-ФАР. Прибор предназначен для измерения абсолютного спектрального распределения источников света и световых приборов в видимой области в диапазоне от 400 до 790нм, измерения энергетической освещенности (облучённости) и плотности фотосинтетического фотонного потока PPFD в $\frac{\text{мкмоль}}{\text{с}\cdot\text{м}^2}$.



Рисунок 1.4 – Спектрофотометр "ТКА-Спектр"(ФАР) [11]

Таблица 1.3 – Основные технические данные и характеристики прибора Спектрофотометр "ТКА-Спектр"(ФАР) [11]

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
Спектральный диапазон, нм	400 ÷ 790
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

Измерение освещенности в люксах позволяет оценить фотосинтетически активную радиацию в любых других единицах. Для измерения параметра освещенности был использован люксметр ТКА-люкс.



Рисунок 1.5 – Люксметр ТКА-люкс [12]

Таблица 1.4 – Основные характеристики прибора Люксметр «ТКА-люкс» [12]

Диапазон измерений освещённости	1,0 ÷ 200 000 лк
Основная относительная погрешность измерений освещённости	± 6,0 %
Пределы дополнительной относительной погрешности прибора при измерении оптических величин, за счет изменения чувствительности фотометрической головки при изменении температуры воздуха в зоне измерений на каждые 10 °С	± 3,0 %
Жидкокристаллический дисплей	3½ разряда
Измерительный блок	155 x 77 x 40 мм
Масса прибора	0,45 кг
Элемент питания - типоразмер батареи «Крона»	9 В

1.4 Технологические принципы выращивания растений для конструкций ярусного типа

Первая в мире коммерческая вертикальная ферма находится в Сингапуре SkyGreens [13]. Ее создатель Jack Ng начал эксперименты с выращиванием зелени в 2010 году, через год обнародовал результаты, и на следующий 2012 год запустил полноценное производство а так же наладил поставки в продуктовые магазины страны.

Запатентованная конструкция вертикальной фермы состоит из вращающихся ярусов, установленных на алюминиевой раме А-образной формы (см. рисунок 1.3а). Высота ярусов может достигать до 9 метров с 38 ярусами.



а



б

Рисунок 1.6 – Вертикальная ферма SkyGreens [13]

Ферма компании Plenty [14], базирующаяся в Сан-Франциско, в буквальном смысле выращивает растения вертикально. Ряды поддонов с растениями устанавливаются на высоту шесть метров. Автоматизирован практически каждый этап производственного процесса (см. рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Вертикальная ферма Plenty [14]

Как можно видеть, существует достаточно много вариаций ярусных конструкций. Стандартная комплектация универсальных вертикальных или многоярусных установок которую предлагает большинство производителей включает:

- каркас из прочных долговечных материалов
- светодиодные фитолампы
- поддоны, стаканчики, кассеты, лотки для выращивания различных культур
- мощное насосное оборудование
- оборудование для обеспечения вентиляции, отопления
- инструкцию по эксплуатации, выращиванию культур, набор инструментов для сборки конструкции

Заключение по Главе 1

Примеры многоярусных конструкций и тенденции развития подобных тепличных технологий сопряжены с рациональным использованием площадей и объемом готовой продукции. Кроме того, это один из способов оптимального возделывания низкорослой и быстропроизрастаемой растительной продукции, так необходимой для пищевого рациона человека.

В условиях современных инновационных технологий светодиодного освещения и сопутствующих микроэлектронных компонентов сопровождающий технологический процесс тепличного хозяйства, позволяет совершенствовать условия многоярусного выращивания растений, в том числе конструкциями от 10 и более ярусов.

Опыт зарубежных стран показывает, интерес к ярусным конструкциям и способам выращивания на них растений только увеличивается, а по прогнозам GrandViewResearch [15], инвестиции в вертикальные фермы увеличатся до очень значительных 9,9 млрд долларов в 2025 году.

Глава 2 Экспериментальные исследования

В последнее время, в силу необходимости здорового питания, люди все больше стремятся правильно и качественно питаться, употреблять в пищу исключительно полезные вещества богатые микроэлементами и полезными свойствами. Вырастает интерес к растительной продукции разных видов, в том числе к микрозелени. Впервые, микрозелень стала популярна в Калифорнии, но быстро распространилась по всей Америке и всему миру. Связан такой факт с тем, что именно первые листы растений содержат наибольшую концентрацию полезных веществ, входящих в состав зеленой массы. Большинство микрозелени имеет в 30 раз большее содержание полезных для организма человека веществ чем уже сформировавшиеся растения. Микрозелень – это пророщенные растения в фазе листьев семядоли состоящих из одного-двух настоящих листов. Высота такого растения составляет около 2,5-15 см. Обычно от посева до сбора урожая проходит от 7 до 21 дня. Микрозелень следует отличать от проростков, которые имеют гораздо короткий цикл от 2-7 дней. Также её следует отличать от взрослой зелени. В качестве микрозелени выращивают как традиционную зелень: салат, лук, укроп, петрушка, кинза и прочие пряные травы, так и растения, в качестве зелени используемые редко: редис, дайкон, свёкла, или не используемые вообще: злаки, подсолнечник, нут, капуста. [16]

2.1 Описание объекта исследования

Для выявления влияния облучения различными световыми приборами в исследовательской установке, был проведен эксперимент на предмет выращивания микрозелени в трех ячейках. Экспериментальная установка — это стеллажная конструкция с ячейками, модель которой представлена на рисунке 2.1а. Ячейка изготовлена из вспененного ПВХ, обеспечивающего как

высокий коэффициент отражения излучения, так и низкий коэффициент теплопередачи. Стеллажная конструкция снабжена проточной системой полива. Схема контрольных точек, в которых производились измерения, показана на рисунке 2.2б.

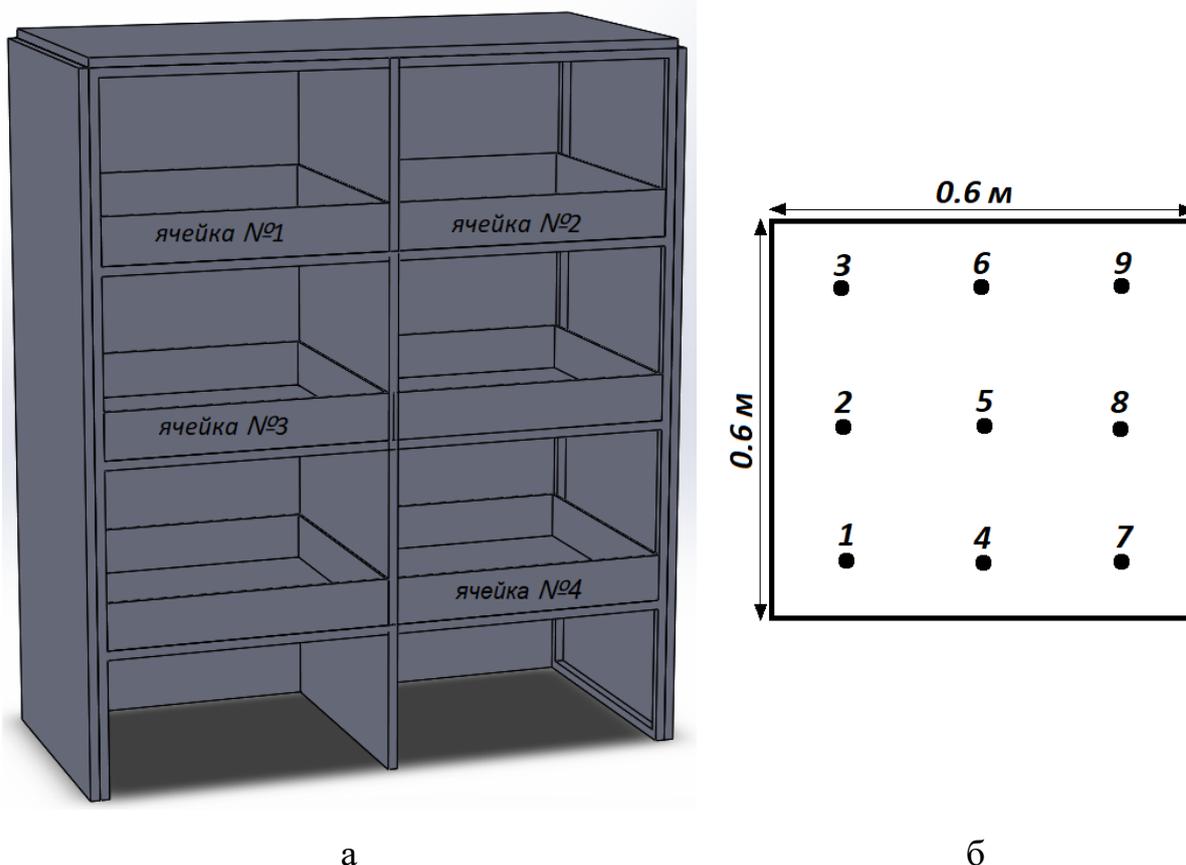


Рисунок 2.1 – а) модель установки выполнена в программе SolidWorks;
 б) контрольные точки в ячейке

В каждой ячейке оборудована собственная система освещения, представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Характеристика световых приборов в ячейках

Ячейка №1	Розовый свет, обеспечивается двумя светодиодными светильниками мощностью по 10,5 Вт каждый.
Ячейка №2	Светодиодные лампы белого света в количестве 4 штук, мощностью 15 Вт каждая.
Ячейка №3	Линейный маджентовый светодиодный светильник, мощностью 30 Вт
Ячейка №4	Отсутствие светильников, для выращивания в темноте

Измерения проводились в девяти точках каждой ячейки, на уровне роста потенциальной микрозелени, которые представлены на рисунке 2.1б.

Таблица 2.2 – Параметры с облученности в области ФАР в трех ячейках

№к.т.	Ячейка №1		Ячейка №2		Ячейка №3	
	E_e Вт/ м ²	PPFD μmol/с/м ²	E_e Вт/ м ²	PPFD μmol/с/м ²	E_e Вт/ м ²	PPFD μmol/с/м ²
1	9,3	46,9	10,6	51	9,82	46,8
2	15,2	76,9	15,9	76,6	8,08	38,4
3	10,5	53,3	14,2	68,8	8,8	42
4	12,6	63,7	11,6	55,9	12,5	59,2
5	20,6	104,1	15,6	75,1	11	52,1
6	12,7	64,2	12,5	60,5	9,18	30,3
7	10	50,9	10,2	48,7	14,4	68,3
8	13,9	70,9	14,1	67,8	14,6	68,9
9	8,89	45,4	10,7	51,5	9,88	40
ср. зн.	12,6	64	12,8	62	12,02	62,5

Как можно наблюдать из таблицы 2.2 во всех ячейках средние значения практически одинаковы. Из этого следует, что во всех ячейках исследовательской установки световые приборы облучают микрозелень в одинаковых условиях. Далее были построены спектры излучения в трех единицах: относительных, мВт/м² и мкмоль/с * м².

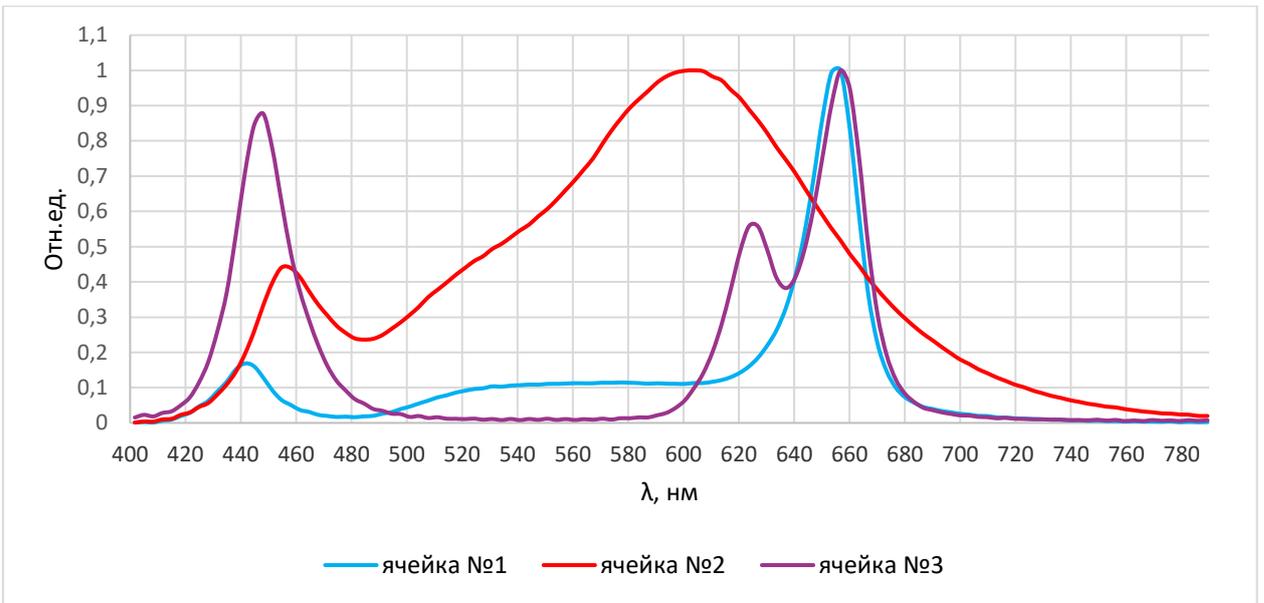


Рисунок 2.2 – Спектр излучения в относительных единицах

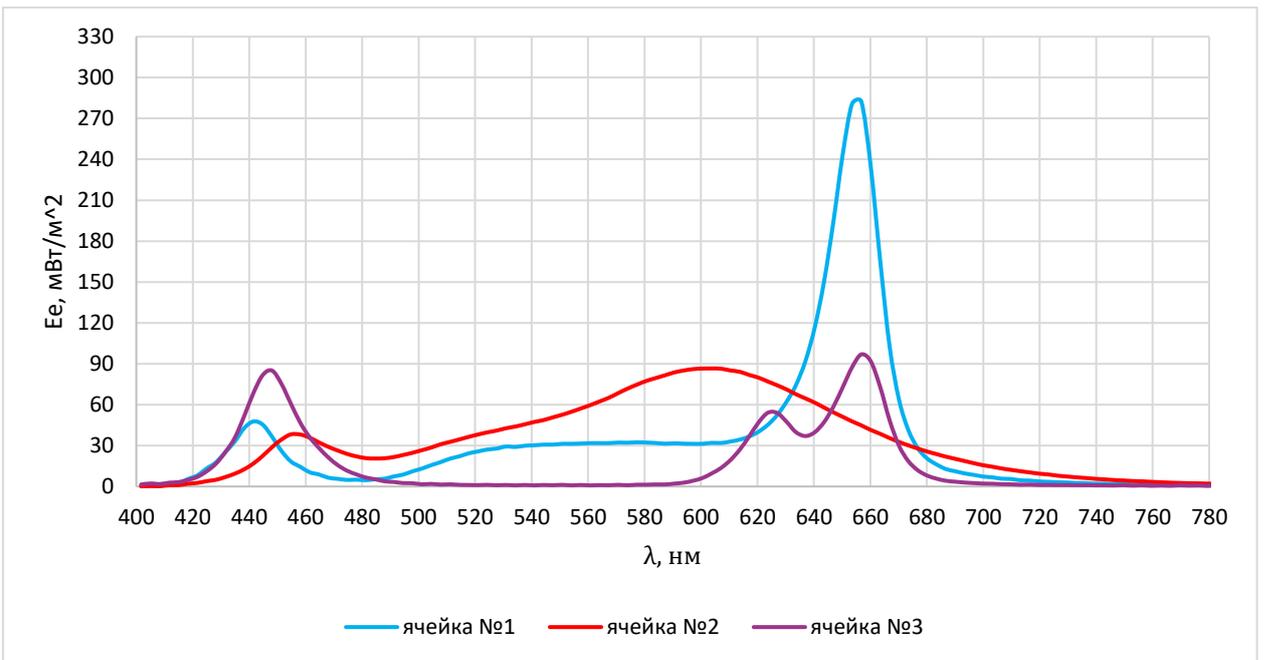


Рисунок 2.3 – Спектр излучения в мВт/м²

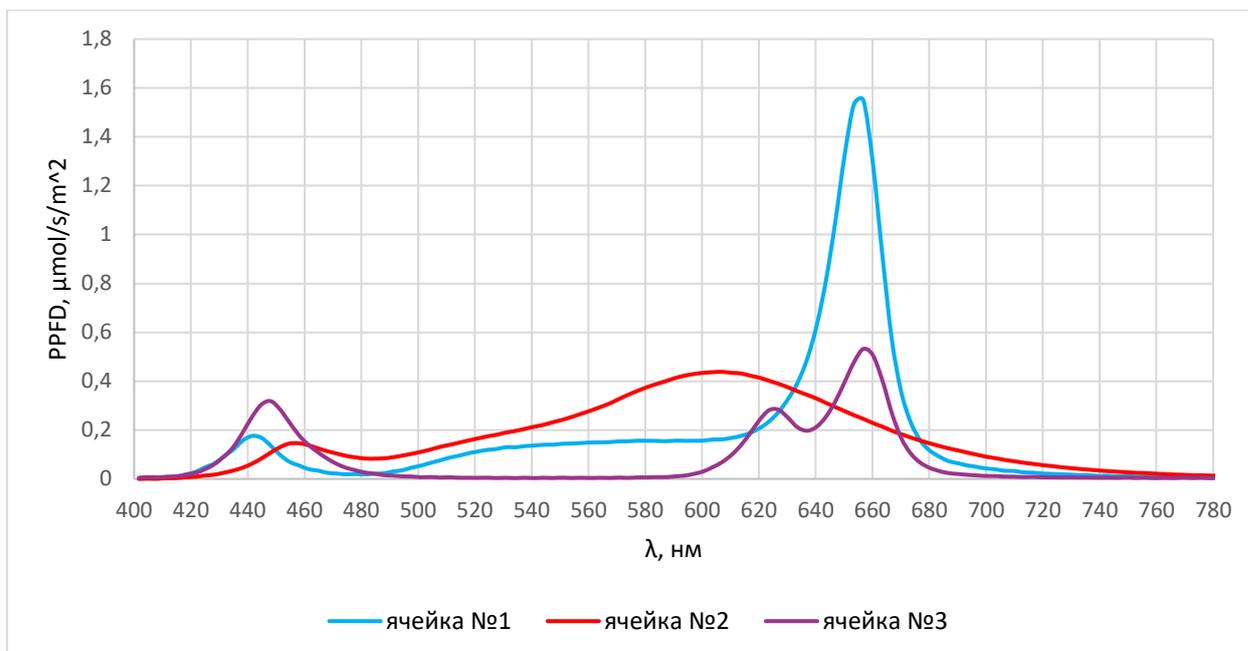


Рисунок 2.4 – Спектр излучения в мкмоль/с * м²

Спектр излучения в ячейке №2 аналогичен спектру излучения бытовых светодиодных ламп с коррелированной температурой 3000-3500 К.

Во всех ячейках имеется максимум полос излучения в синей области в диапазоне от 440 до 450 нм и в красной области 600-680 нм. Данные максимумы расположены в спектральной области близь максимумов полос поглощения пигментов, принимающих активное участие в процессе фотосинтеза – хлорофиллы *a* и *б*.

Как можно видеть из графиков выше, спектральный состав 1 и 3 ячейки наиболее лучше соответствуют спектру ФАР.

Далее помощью люксметра ТКА-люкс были измерены показатели освещенности в контрольных точках и занесены в таблицу 2.3. Замеры освещенности так же проводились в точках, которые представлены на рисунке 2.1б, на уровне начального роста растений.

Таблица 2.3 – Значения освещенности в ячейках

№к.т.	1 ячейка	2 ячейка	3 ячейка
	E_v , лк		
1	3050	4820	1080
2	3940	6670	1030
3	2900	5350	571
4	4330	5320	1366
5	5310	6940	1300
6	2920	5280	790
7	3530	5110	1623
8	4350	6490	1174
9	2510	5870	795
ср.зн.	3648	5761	1081

В программе Surfer15 [17], с учётом выполненных измерений (E_v), было смоделировано поверхностное распределение освещенности в каждой из ячеек на высоте, соответствующей уровню потенциальной микрозелени, распределение изолиний облученности можно видеть на рис.2.5-2.7.

Средние значения облученности, уровня PPFД и освещенности каждой ячейки сведены в одну общую таблицу 2.4 для наглядности.

В ячейке №3 где используется один линейный маджентовый светодиодный светильник с мощностью 30 Вт показатели освещенности значительно ниже, чем в ячейках №1-2. Следует, что нельзя оперировать освещенностью для оценки процесса вегетации.

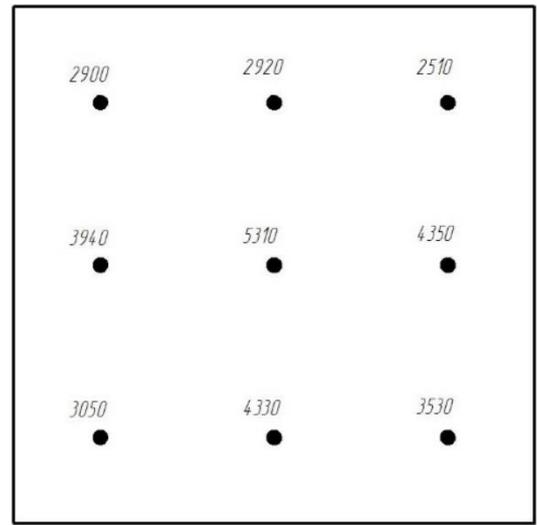
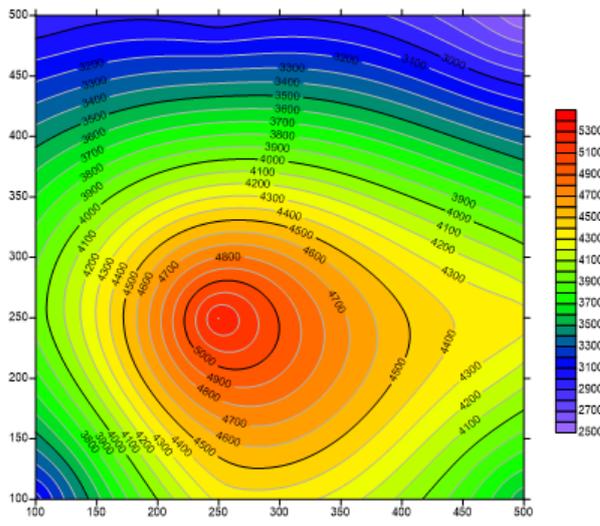


Рисунок 2.5 – ячейка №1 (изолинии облученности в люксах)

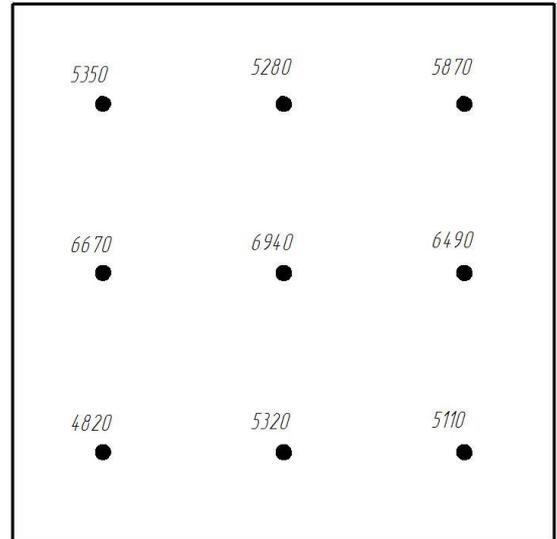
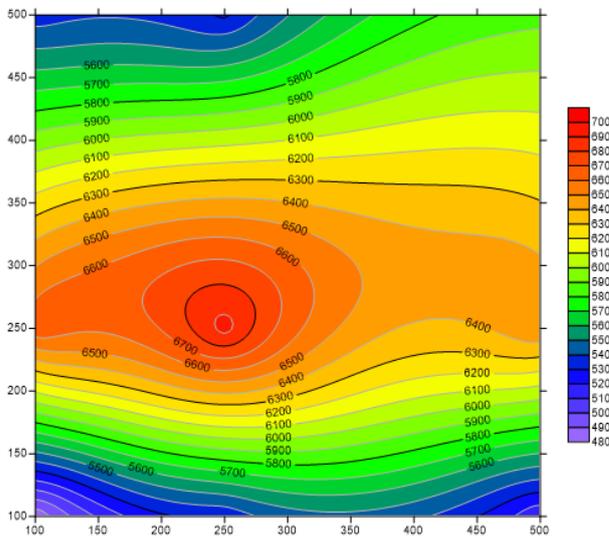


Рисунок 2.6 – ячейка №2 (изолинии облученности в люксах)

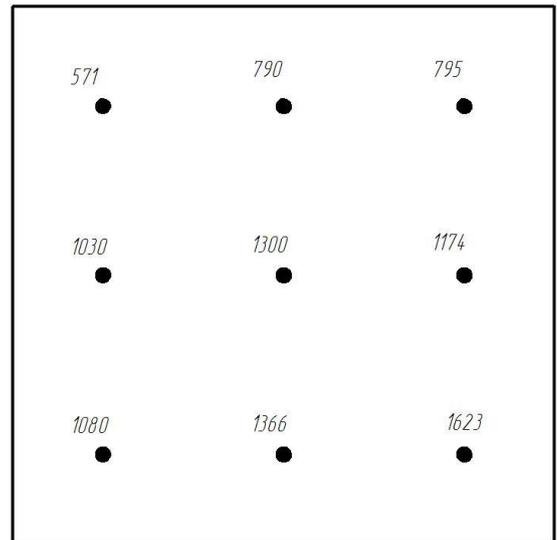
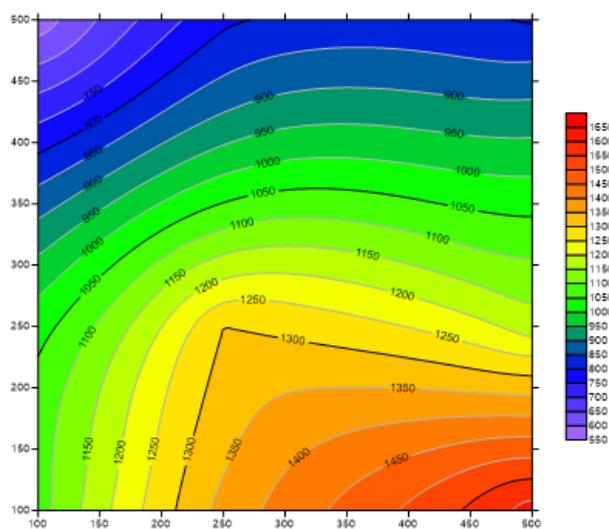


Рисунок 2.7 – ячейка №3 (изолинии облученности в люксах)

Таблица 2.4 – Средние значения облученности, уровня PPFD и освещенности

№ ячейки	E_e , Вт/м ²	PPFD, $\mu\text{mol/s/m}^2$	E_v , лк
1	12,6	64	3648
2	12,8	61,7	5761
3	12,02	62,5	1081

Далее был проведен эксперимент, для оценки влияния различного света на одни и те же виды культур.

2.2 Алгоритм подготовки к эксперименту «Выращивание микрозелени»

Для проведения эксперимента по выращиванию микрозелени под разным спектром необходимо правильно подготовить образцы. Так как эксперимент проводился в стеллажной конструкции с ячейками, модель которой представлена на рисунке 2.1а, необходимо было выработать определенный алгоритм подготовки образцов для эксперимента.

№1. Подготовка ёмкости

Для эксперимента понадобятся плоские пластиковые лотки размером 22×15×2 см. На дне лотка необходимо предварительно сделать маленькие прорезы, для обеспечения полива микрозелени. Материал, используемый для подложки — это синтепон. Он хорошо удерживает проницаем для корневой системы молодых ростков, экологически чистый и относительно дешёвый. Необходимо обрезать синтепон по размерам пластиковой упаковки в нужном количестве.

№2. Подготовка семян.

Предварительно нужно чтоб семена проросли, для этого сначала промыть под проточной водой и оставить на полчаса в воде с марганцовкой или перекисью водорода для дезинфекции, чтобы не развивались патогенные

бактерии и плесень. После семена следует промыть, замочить на ночь в фильтрованной воде. На следующий день снова промыть, и аккуратно распределить по одинаковому количеству в один слой в пластмассовый лоток с дырочками. Главное, чтобы семена не были в воде, а были просто влажными.

Далее ёмкость с семенами следует накрыть крышкой (или поместить в полиэтиленовый пакет), чтобы влага не испарялась быстро, поставить в темное место и накрыть лоток с семенами темной тканью. Темнота стимулирует росток быстрее тянуться к свету. Как появился зелёный росток – переместить в каждую ячейку установки.

Прозрачную крышку или пленку надо оставить, чтобы оставался парниковый эффект и защищал нежные ростки от пересушивания как можно дольше, пока побеги не станут упираться в неё. Семена, а затем и ростки регулярно следует увлажнять из пульверизатора по необходимости.

Собирать микрозелень можно с момента полного распрямления и вытягивания ростка и раскрытия семядольных листочков. Это 7-14 дней в зависимости от культуры.

№3. Оценка микрозелени.

В процессе роста микрозелени, через каждые 2 дня измерять линейкой длину и ширину листа, а также среднюю длину микрозелени. В конечном итоге необходимо взвесить микрозелень с корневой системой в подложке, которую надо предварительно высушить.

2.2.1 Наблюдение и сбор экспериментальных данных

Для изучения процесса выращивания микрозелени были выбраны семена растений пшеница, рожь, нут и кресс-афилла (горох). В настоящее время существуют производители, которые специализируются на семенах для микрозелени [18]. Главное отличие семян из специализированных

магазинов здорового питания - они экологичны и абсолютно чисты. Растения из этих семян сохраняют максимум пользы, не загрязняют и не отравляют человеческий организм. [19]

- Ростки пшеницы – способствуют очищению организма, выведению токсинов и шлаков, нормализуют работу всей пищеварительной системы.
- Проростки ржи – выводят шлаки и токсины, нормализуют количество антител и гормонов, способствуют поддержанию правильной микрофлоры, стимулируют перистальтику кишечника, улучшают состояние волос, ногтей и кожи.
- Ростки нута – являются здоровой альтернативой мясу, служат профилактикой заболеваний сердца и сосудов, улучшает пищеварение, регулирует уровень сахара в крови.
- Микрозелень гороха афилла – помогает нормализовать обменные процессы в организме, улучшить работу сердечно-сосудистой системы, память и мозговую деятельность, снижает уровень сахара в крови.

Таблица 2.5 – Вес выбранных семян культур

Позиция	Вес, гр.
Пшеница	40
Рожь	40
Нут	70
Кресс-афилла (горох)	70

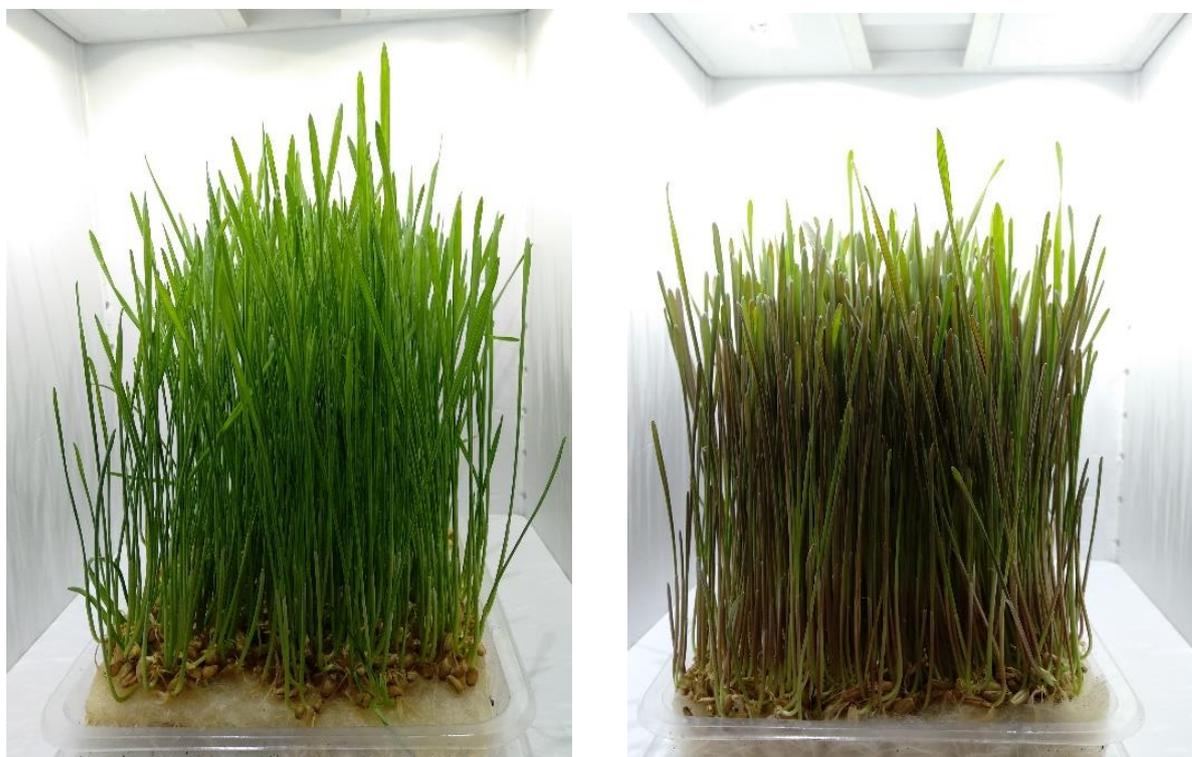
Так же из ростков пшеницы можно получить сок, который имеет название – витграсс. В нём огромное количество витаминов С и В, кальция, кератина, железа, антиоксидантов и ферментов. Элементы, которые необходимы человеку в витграссе содержится в количестве 92 из 115. Почти

на треть состоит из хлорофилла – одного из лучших детокс-веществ, по составу схожим с гемоглобином в крови человека.[18]

Начало эксперимента 10.12.2019 году. В таблице 2.7 представлены культуры в граммах, которые были взвешены на весах.

В ходе эксперимента после замачивания семян гороха и нута, выяснилось, что их было взято слишком много. Поэтому в дальнейшей оценке роста и развития кресс-афилла (горох) и нут не участвовал.

В завершении эксперимента спустя 6 дней наблюдений (16.12.2019 года) за развитием предоставлены фотографии 2.8-2.11.



а)

б)

Рисунок 2.8 – Ячейка №1, где: а) пшеница, б) рожь



а)



б)

Рисунок 2.9 – Ячейка №2, где: а) пшеница, б) рожь



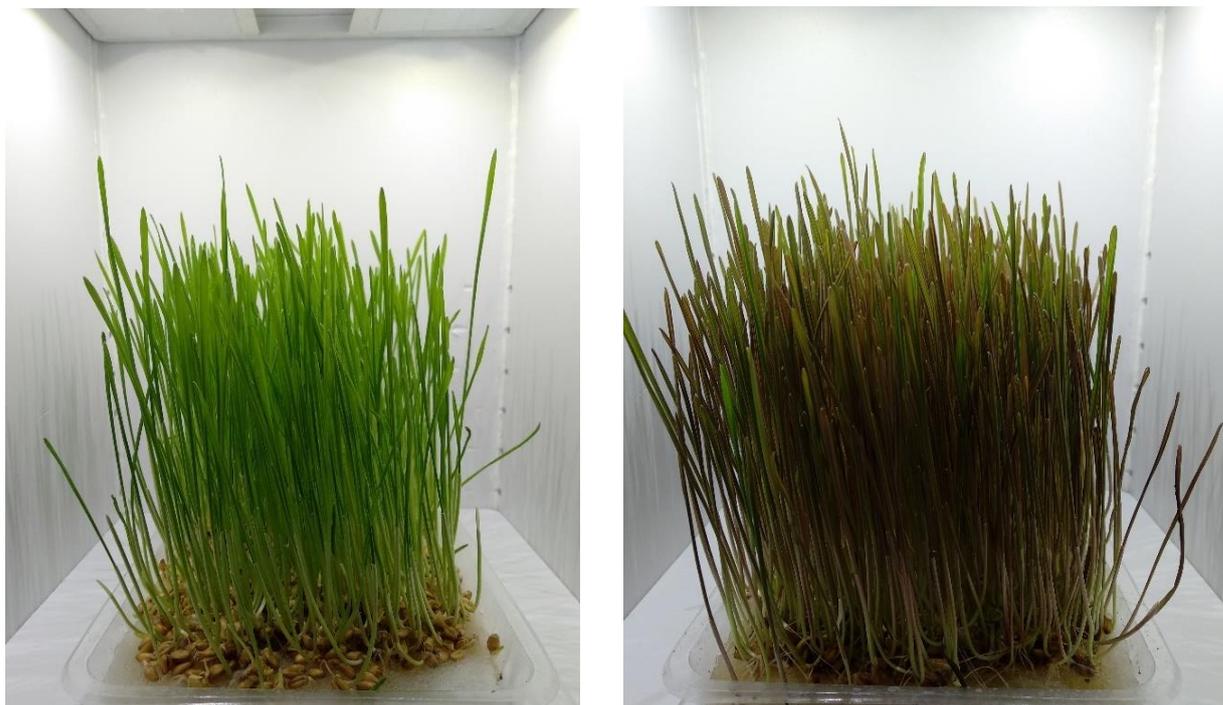
а)



б)

Рисунок 2.10 – Ячейка №3, где: а) пшеница, б) рожь

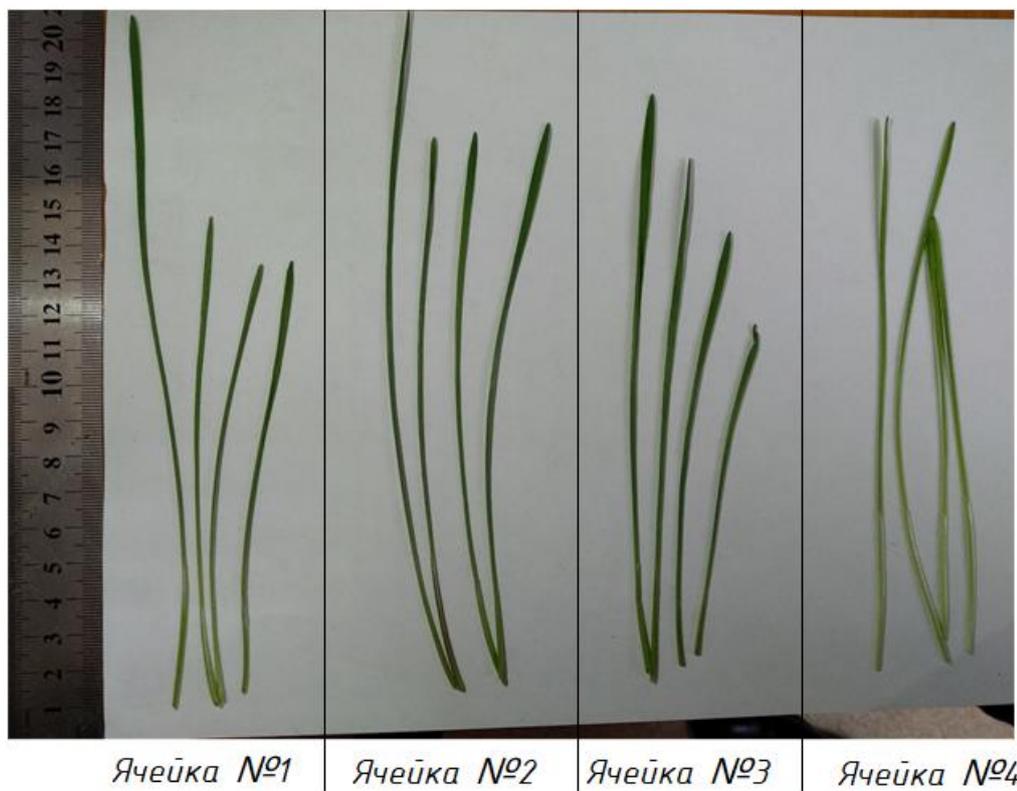
В ячейке № 4 культуры пшеница и рожь находились без освещения, т.е. в темноте.



а)

б)

Рисунок 2.11 – Ячейка №4 (в темноте), где: а) пшеница, б) рожь



Ячейка №1

Ячейка №2

Ячейка №3

Ячейка №4

Рисунок 2.12 – Ростки пшеницы с каждой ячейки

Таблица 2.6 – Оценка длины ростка пшеницы в каждой ячейке

№	Длина листа, мм			
	1 ячейка	2 ячейка	3 ячейка	4 ячейка
1	19,6	19,8	17,1	16,5
2	13,8	16,1	15,4	16,7
3	12,5	16,2	12,7	12,5
4	12,3	16,4	9,8	13,1
ср.	14,6	17,125	13,75	14,7



Рисунок 2.13 – Ростки ржи с каждой ячейки

Таблица 2.7 – Оценка длины ростка ржи в каждой ячейке

№	Длина листа, мм			
	1 ячейка	2 ячейка	3 ячейка	4 ячейка
1	15,8	16,6	16	15,5
2	12,3	16	14,8	12,8
3	11	12,4	10	10,5
4	9,7	7,8	6,5	8,4
ср.	12,2	13,2	11,8	11,8

Все проросшие ростки пшеницы и ржи в каждой ячейке были срезаны под корень и взвешены на весах. Результаты представлены в таблице 2.8 ниже.

Таблица 2.8 – Оценка срезанной ботвы

Ботва	1	2	3	4
	вес, гр.			
Пшеница	44,7	39,4	38,8	43,1
Рожь	67,6	68,1	57,5	70

Далее была оценена корневая система и ее вес. Вес пустого синтепона, который использовался в каждой ячейке, составляет 3,6 гр.

Таблица 2.9 – Оценка корневой системы

Корневая система	1	2	3	4
	вес, гр.			
Пшеница	299,6	173,6	261,2	300,8
Рожь	266,9	170,2	268,8	318,2

Данная оценка корневой системы не является достоверной, т.к. не до конца была высушена.

Заключение по Главе 2

За период созревания шести дней микрозелень растительных культур пшеницы и ржи обладают следующими характеристикам: наиболее длинные ростки пшеницы и ржи наблюдались во 2 ячейке – 17,1мм и 13,2мм соответственно; по общей полученной массе срезанной ботвы пшеницы оказалось больше в 1 ячейке – 44,7гр., а ржи во 2 – 68,1гр. По цвету культуры выращенные во 2 ячейке, визуально наиболее яркие чем в трех остальных.

В завершении эксперимента можно сделать вывод, что во второй ячейке выросла наиболее высокая по всем показателям культура – пшеница и рожь. В этой ячейке использовались четыре светодиодные лампы белого света мощностью 15 Вт каждая. Следовательно, для выращивания

микрорелени культур пшеницы и ржи необходим полный спектр излучения, который приведен на рисунках 2.2-2.4 во 2 ячейке. Если смотреть на среднюю освещенность во 2 ячейке, то она составляла 5761 лк, что больше, чем в первой и в третьей ячейке на 2023 лк и 4680лк соответственно. Стоит отметить, что именно во второй ячейке пшеница и рожь по вкусовым качествам была намного слаще и сочнее, нежели в первой и третьей, где применялись маджентовые фитосветильники.

Глава 3 Моделирование осветительной системы

Моделирование систем многоярусного использования светильников и конструкций по выращиванию в них растений послужило выяснению ряда расчетных задач, с которыми пришлось столкнуться: многоярусная стеллажная конструкция, оптимальное расположение светильника в установке, соответствующая КСС, эффективный фитосветильник.

Принято решение разработать осветительную систему для исследовательской установки (см. рисунок 2.1а) на основе проведения эксперимента. С учетом расположения светильника в ярусной установке, кривой силы света для исследовательской установки разработан фитосветильник и проведен его тепловой расчет в SolidWorks.

Вначале в программе DIALux evo проработаны несколько вариантов расположения и высота подвеса светильника.

3.1 Подбор расположения светильника в ярусной установке

В программе DIALux evo были построены установки три экспериментальные установки: №1-открытая, №2-с тремя бортами, №3-закрытая полностью со всех сторон. В каждой установке два варианта расположения световых приборов – горизонтально и вертикально (рисунок 3.1).

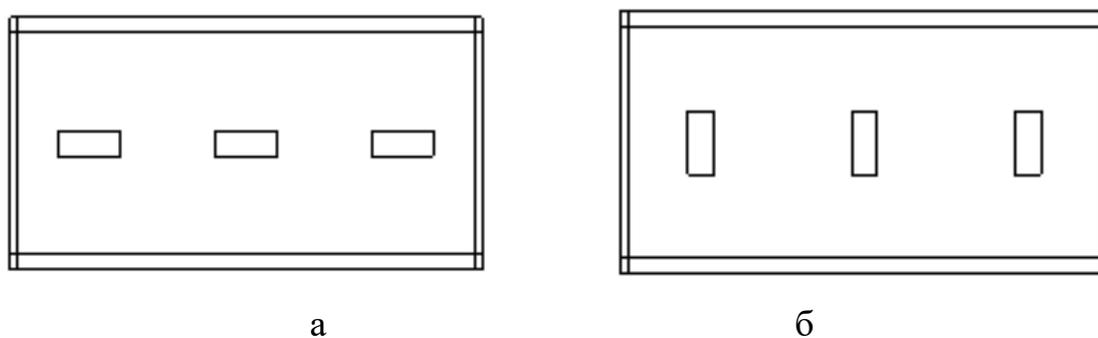


Рисунок 3.1 – Расположение СП: а) 1 вариант горизонтально; б) 2 вариант вертикально

Равномерность освещенности U_0 определяется как отношение значения максимальной освещенности к значению средней на заданной поверхности.

Расчетные поверхности №1, на расстоянии 50см от светового прибора, для трех установок, где №1-открытая, №2-с тремя бортами, №3-закрытая полностью со всех сторон; для 1 варианта расположения светового прибора – вертикально.

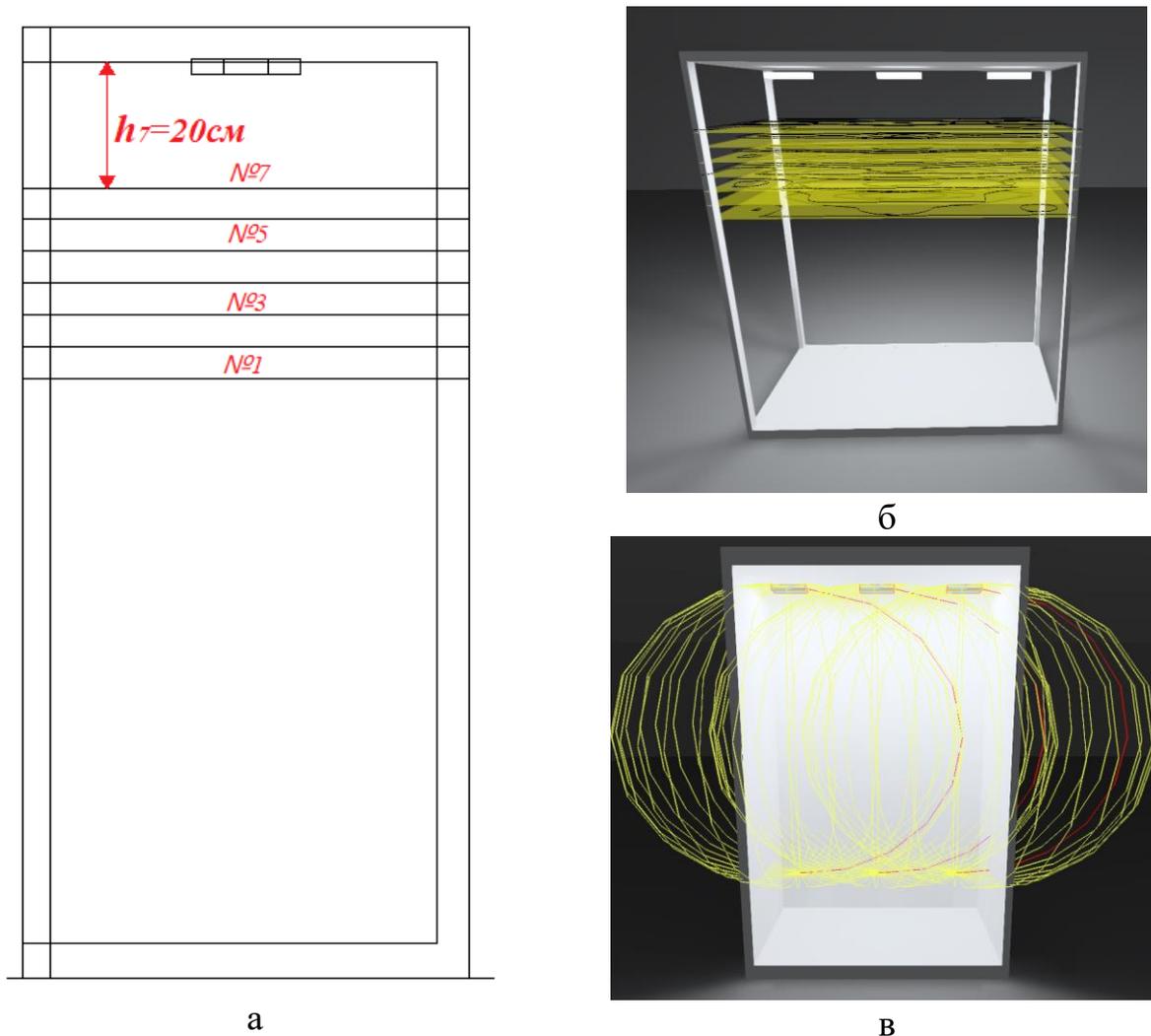


Рисунок 3.2 – Модель установки в DIALux evo:

- а) схема расположения расчетных поверхностей (вид сбоку);
- б) в открытой установке №1; в) установке №2 с тремя бортами

Значения средней освещенности и равномерности с всех расчетных поверхностей снесены в общую таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Значения средней освещенности и равномерности на расчетных поверхностях

№РП		E_{cp} (лк)			U_0		
		Установка №1	Установка №2	Установка №3	Установка №1	Установка №3	Установка №3
1(h=50см)	а	985	1361	1855	0,74	0,77	0,84
	б	984	1374	1857	0,75	0,88	0,85
2(h=45см)	а	1091	1498	1967	0,73	0,76	0,83
	б	1090	1491	1970	0,73	0,77	0,85
3(h=40см)	а	1212	1627	2091	0,70	0,74	0,82
	б	1210	1619	2093	0,71	0,76	0,84
4(h=35см)	а	1349	1768	2222	0,68	0,72	0,80
	б	1347	1759	2222	0,69	0,74	0,83
5(h=30см)	а	1505	1922	2356	0,63	0,69	0,78
	б	1502	1911	2355	0,65	0,72	0,80
6(h=25см)	а	1684	2086	2496	0,57	0,64	0,72
	б	1675	2069	2492	0,60	0,66	0,75
7(h=20см)	а	1899	2276	2659	0,47	0,53	0,64
	б	1869	2234	2629	0,51	0,55	0,66

Для расчета в программе DIALux был использован IES-файл уже готового светового прибора, который был расположен в ячейке №1 исследовательской установки (таблица 2.1). Фитосветильник был собран из алюминиевого радиатора и светодиодного модуля, с использованием термопасты и проводов.



Рисунок 3.3 – Световой прибор в ячейке №1

К светодиодной плате припаиваются два провода, служащие для соединения с источником питания. Перед закреплением светодиодного модуля к радиатору на заднюю сторону платы наносится термопаста, тем самым обеспечивается улучшенная передача генерируемой светодиодами тепловой энергии от кристаллов через плату к радиатору и далее окружающему пространству. Светодиодная плата состоит из четырех белых светодиодов и восьми красных светодиодов. Используемые светодиоды представлены в таблице 3.2, которые подключаются последовательно в данном случае.

Таблица 3.2 – Характеристики светодиодов

Модель светодиода	ХРЕЕPR-L1-0000-00901	ХТЕАWT-E0-0000-00000ВКЕЗ
Цвет	красный	Белый
Световой поток	350 лм	156 лм
Прямой ток	350 мА	350 мА
Номинальное напряжение	2.1В	2.77В
Размер корпуса	3,45×3,45	

Наиболее оптимальным по показателем с таблицы 3.1 расположением светового прибора является горизонтальное положение. В приложении А представлены изолинии на каждой расчетной поверхности для варианта *a* – горизонтальное расположение светового прибора.

3.2. Стеллажная конструкция в SMART-теплице ТПУ

На площадке за учебным корпусом ТПУ № 10 (пр. Ленина, 2) установлена SMART-теплица для отработки различных технологий. Теплица состоит из стального каркаса, обшитого со всех сторон двойным слоем антикоррозионной пленки с достаточно высоким уровнем прозрачности для обеспечения естественного освещения. Общая площадь исследовательского комплекса — порядка 300 квадратных метров.

Полигон теплицы разделён условно на три секции. Большую часть (1) будут занимать посадки, затем исследовательский блок (2), где будут отработаны режимы излучения в многоярусных стеллажах. Третий блок отдан под хозяйственную часть (3).

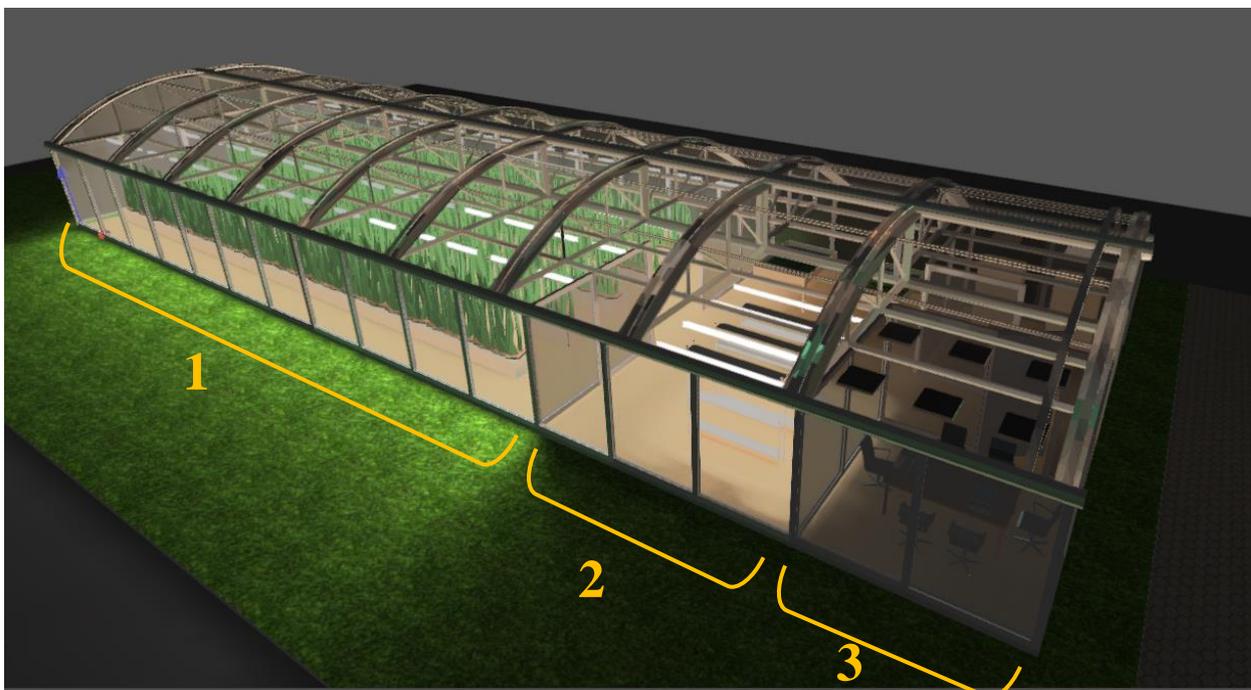
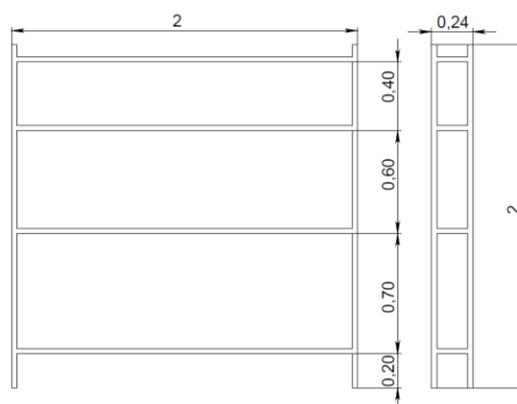


Рисунок 3.4 – 3D модель SMART-теплицы, демонстрация секций



а



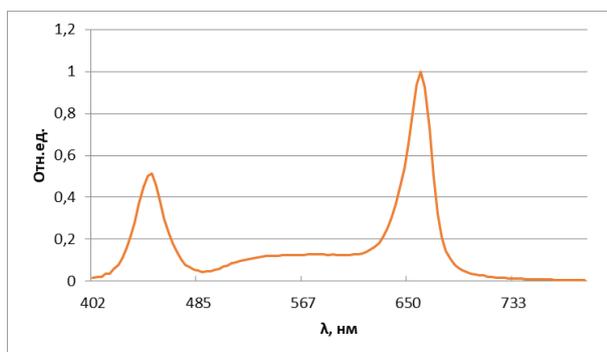
б

Рисунок 3.5 – а) 3D модель исследовательской установки; б) Габаритные размеры установки

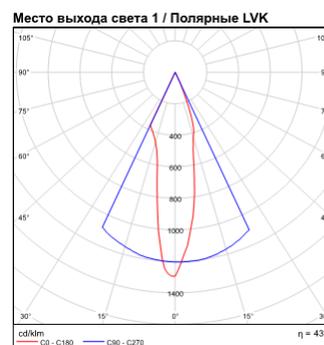
Световой прибор состоит из двух частей, половина которого представлена на рисунке 3.6 а. Кривая силы света (КСС) данного светильника имеет концентрированную форму, и должна освещать обе стороны многоярусной установки. Для этого половинки светильника должны быть под определенным наклоном по направлению к ярусам.



а



б



в

Рисунок 3.6 – а) Внешний вид светодиодного светильника в SMART-теплице;

б) Спектр излучения; в) КСС светильника в программе DIALux

Таблица 3.3 – Характеристики светильника

Параметры светильника	Измеренные значения параметра
Напряжение	220,0 В
Ток	0,7 А
Электрическая мощность	73 Вт
Световой поток	3262,5 лм
Световая отдача светильника	44,7 лм/Вт

В скором времени планируются продолжение использования теплицы как научный полигон для испытания новых технологий и выращивания растений в закрытом грунте.

3.3 Разработка светильника для исследовательской установки

Учитывая данные эксперимента и результаты моделирования был разработан светодиодный светильник для освещения ярусной исследовательской установки с обеспечением равномерности распределения потока.

Расчет оптики осуществлялся при помощи демоверсии программного обеспечения «TracePro 73». Светильник представляет собой продолговатую структуру, обрамляемую с двух противоположных сторон отражающими элементами. Разработанная оптическая система (см. рисунок 3.7) содержит два зеркальных отражателя (4) с коэффициентом диффузного отражения не более 12%. Внутренние боковые стенки корпуса (5) самого светильника удерживают отражатели с двух сторон, и для надежной фиксации вставляются в специальные направляющие. Длина светильника составляет 20 см, что обусловлено размерами исследовательской установки.

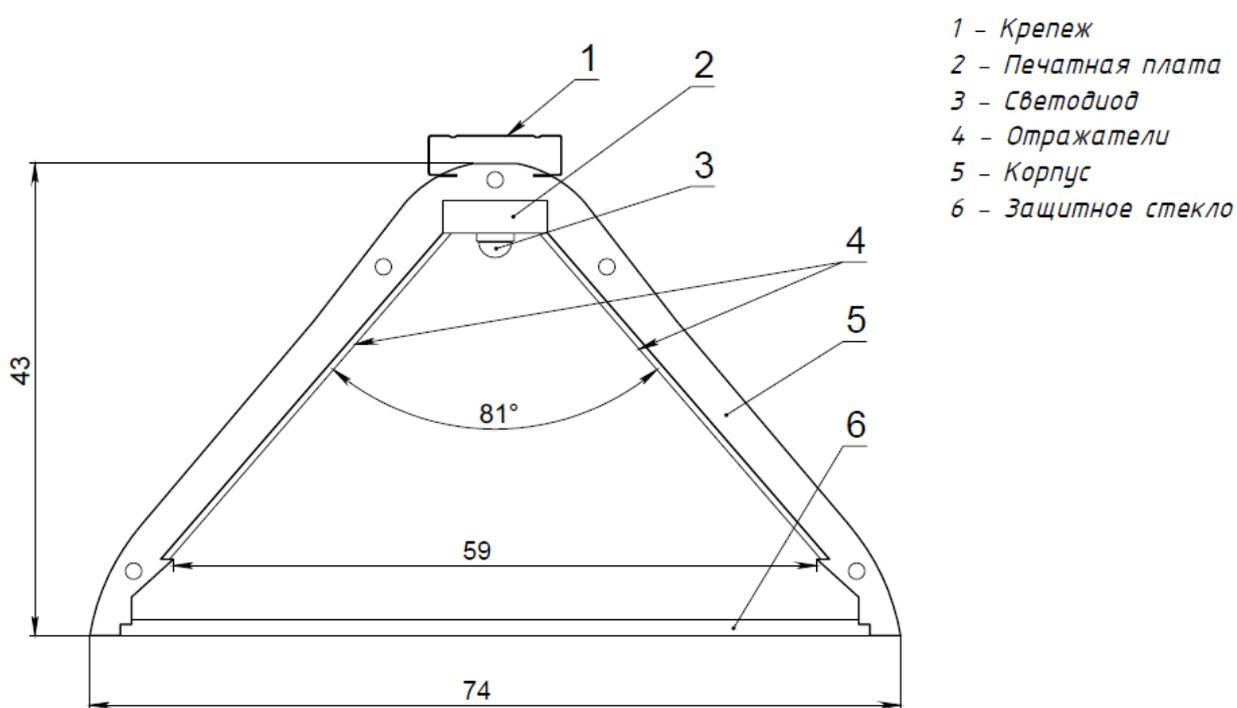


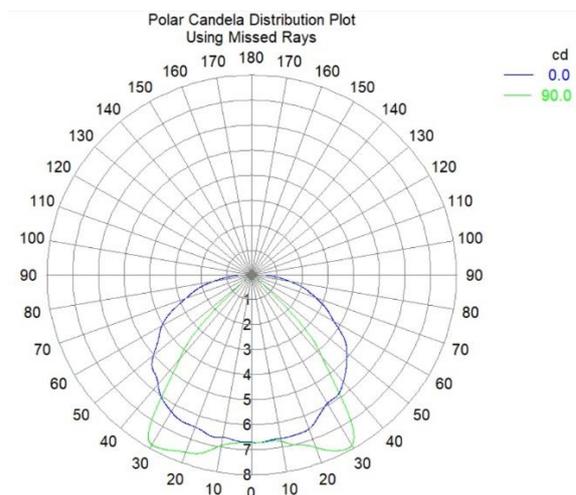
Рисунок 3.7 – Оптическая система разработанного светового прибора

В качестве источника света (3) используются светодиоды CREE серии «хр-е» [20]. Основные характеристики светодиода представлены в таблице. Было выбрано 10 светодиодов по 1 Вт, следовательно общая мощность светильника 10 Вт.

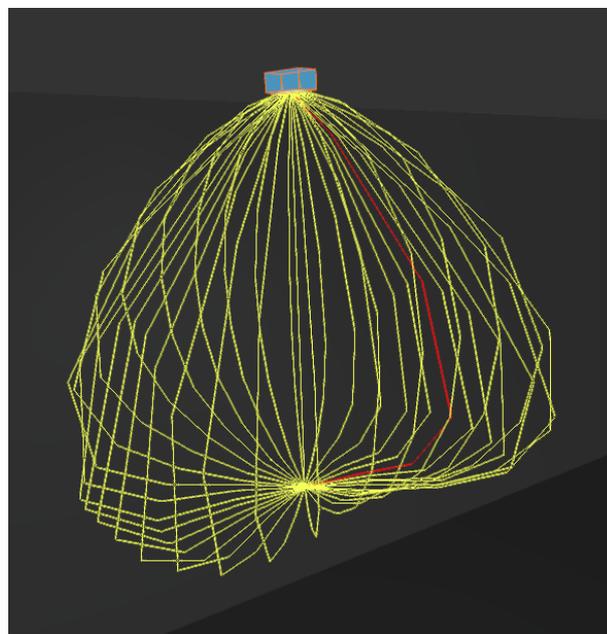
Таблица 3.4 – Характеристики светодиода марки CREE «хр-е» [20]

Параметры	Значения
Габариты, мм	3,5 × 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

При разработке КСС использовались размеры исследовательской установки, в частности одной ячейки, был создан IES-файл светильника в программе «TracePro 73» (рисунок 3.8а).



а



б

Рисунок 3.8 – а) Расчетная кривая силы света;

б) Визуализация в программе «DIALux evo»

3.3.1 Тепловой расчет

С помощью программного обеспечения «SolidWorks» и добавления «flow simulation» провели расчет тепловых режимов работы светильника.

Данные, которые понадобились для расчета:

- КПД используемых светодиодов: не менее 40%
- Полная электрическая мощность светового прибора: 10 Вт
- Рассеиваемая тепловая мощность: 6 Вт
- Температура окружающей среды 25 °С
- Используемые материалы: Сплав алюминия 1060 (корпус, отражатель, печатная плата, СД, боковые крышки, крепление), ПММА прозрачный пластик (защитное стекло).

Результаты расчета представлены на рисунках ниже.

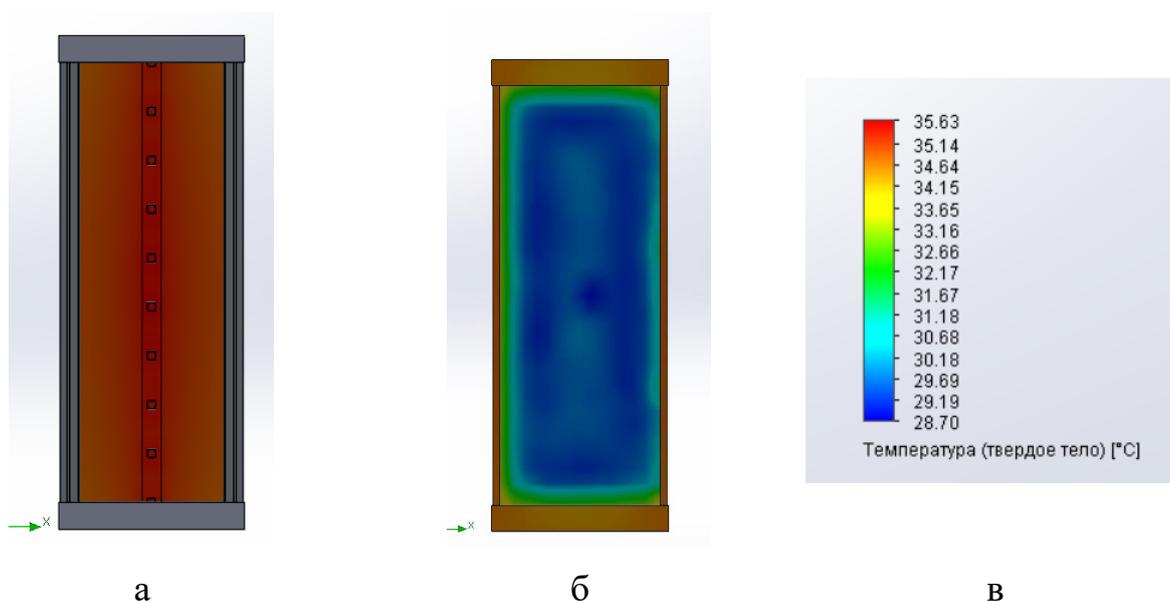


Рисунок 3.9 – Температура твердого тела, где: а) выделены отражатели, плата, светодиоды; б) выделено защитное стекло; в) шкала температуры

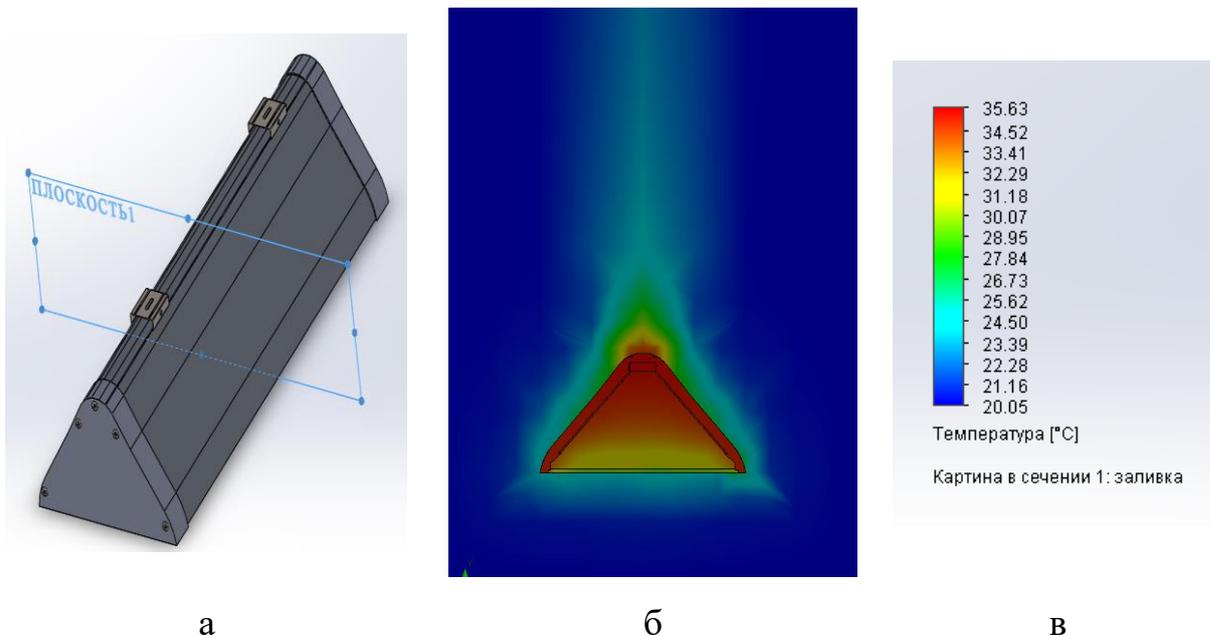


Рисунок 3.10 – а) Схема расположение плоскости; б) распределение температуры в сечении, проходящем через плоскость 1; в) шкала температуры

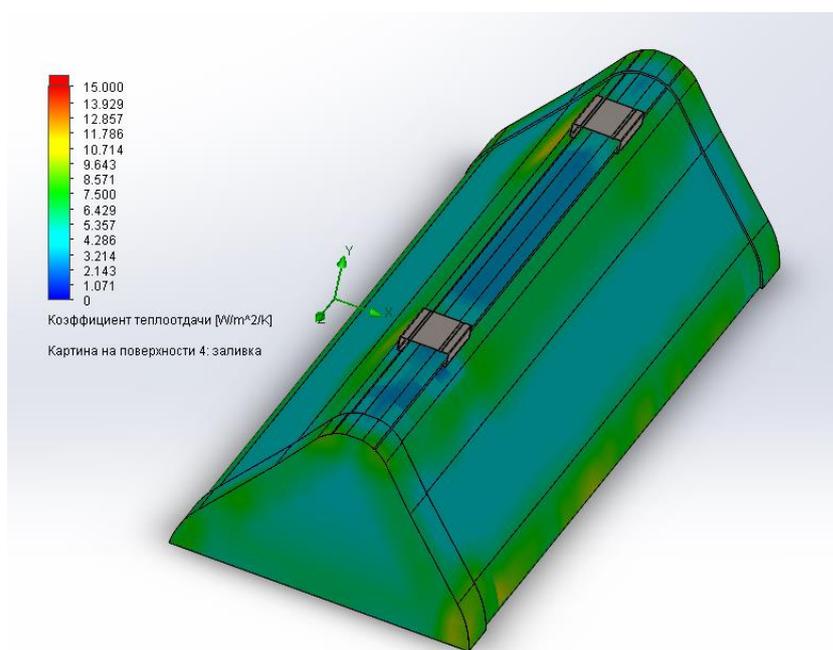


Рисунок 3.11 – Распределение коэффициента теплоотдачи

По результату теплового расчета температура светодиодов составляет 35.6°C, что соответствует требованиям в ГОСТ Р 57671-2017[6].

Заключение по Главе 3

Была решена инженерная задача по моделированию энергоэффективной осветительной установки для многоярусной исследовательской установки, которая облучает обеспечивает равномерное излучение на ячейку установки. Полученный в результате разработки светильник может применяться в многоярусных установках. Достаточно легкая конструкция, позволяющая закрепить горизонтально в ячейке с длиной 20см, шириной 7,4см и высотой 4,3см. Кривая силы света круглосимметричная, полуширокая. Максимальная температура нагрева корпуса 35.6°C что не превышает прописанные 60°C в ГОСТ Р 57671-2017[6].

Произведен расчет финансовые затрат на материалы и комплектующие изделия составило 10165,17 рублей (раздел 5.2.2.). Таким образом, затраты сравнительно небольшие для исследования и дальнейшего влияния на развитие микрорезелени в многоярусной установке.

Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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 разработки модели фитосветильника предназначенного для исследовательской установки при выращивании микрозелени, оценки рисков и затрат.

Поставим задачи для данного раздела:

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

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Данный проект является инициативным. Проект выполнен в рамках научно-исследовательской работы для ОМ ИШНПТ ТПУ. Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

К целевым рынкам фитосветильника предназначенного для гидропонной установки являются: промышленные тепличные комплексы, которые занимают огромные территории и использующие энергозатратные газоразрядные лампы для облучения тепличных культур, светотехнические

компаний, нацеленные на конструировании новых моделей светильников для тепличного хозяйства, стартапы связанные с инновационными теплицами, которые основаны на многоярусных 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 4.1 для фитосветильника предназначенного для многоярусной установки по выращиванию низкорослых растений.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка для фитосветильника

		Выпускаемая продукция	
		Осветительные установки	Низкорослые растения
Размер компании	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		

- Светотехнические компании
- Тепличные хозяйства

Исходя из таблицы 4.1, наиболее перспективным сегментом в отраслях по внедрению фитосветильников для многоярусной установки являются средние и мелкие светотехнические компании, а также 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.

4.1.2 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 определенными недостатками. 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. Разработанная модель фитосветильника для конкретной исследовательской установки выделяет его среди множества светильников применяемых и разрабатываемых для тепличных хозяйств. В таблице 4.2 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства светильников для тепличного хозяйства.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентноспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{ф1}
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
6. Уровень шума	0.2	5	2	1	0.4
7. 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: Б _ф – фитосветильник, разрабатываемый в ходе исследовательской работы Б _{к1} – натриевые светильники, используемые в действующих тепличных комплексах					

На основании таблицы 4.2 можно сделать следующий вывод, что разработанный фитосветильник, может составить серьезную конкуренцию распространенным натриевым светильникам используемых в настоящее время в тепличных комплексах. Главным преимуществом разработанной модели является энергетическая экономичность.

4.1.3 SWOT-анализ

На основе работы, проведенной в предыдущих разделах магистерской диссертации, был составлен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта. Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Долговечность. С2. Удобство в эксплуатации. С3. Заявленная энергоэффективность технологии. С4. Наличие квалифицированного персонала.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Сложности финансирования в дальнейшем для реализации проекта. Сл2. Отсутствие рекомендации и литературы для точного подбора параметров режима облучения. Сл3. Большой срок поставок материалов, используемых в проводимом исследовании.</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Организационная поддержка проекта со стороны биологов В3. Получение оптимального режима обучения низкорослых растений. В4. Обеспечение большинства людей полезной микрозеленью</p>	<p>Высокая производительность технологии, удобство в эксплуатации и энергоэффективность позволит привлечь инновационную инфраструктуру ТПУ в дальнейших исследованиях, а также организационную поддержку со стороны институтов биологии 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: У1. Появление новых технологий. У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования.</p>	<p>Появление новых технологий 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.

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

4.2.1 План проекта

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

В таблице 4.4 составлены перечни работ в рамках проведения научного исследования и распределены исполнители по видам работ.

Таблица 4.4 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Исполнители
1	Составление и утверждение технического задания	3	10.02	12.02.2020	Руководитель
2	Изучение отечественной и зарубежной литературы по теме	10	13.02	22.02.2020	Дипломник
3	Изучение светотехнического оборудования для многоярусных конструкций	10	24.02	04.03.2020	Дипломник
4	Технологические принципы выращивания растений для конструкций ярусного типа	4	05.03	09.03.2020	Дипломник
5	Проведение экспериментов по выращиванию микрозелени	8	10.03	18.03.2020	Дипломник
6	Архивация полученных выводов	15	19.03	02.04.2020	Руководитель Дипломник
7	Календарное планирование работ	2	03.04	05.04.2020	Руководитель Дипломник
8	Моделирование осветительной системы в программах DIALux evo/4.13, SolidWorks	15	06.04	20.04.2020	Руководитель Дипломник
9	Рассмотрение вопросов по конструированию светового пробора	15	21.04	05.05.2020	Руководитель Дипломник
10	Написание выводов по работе	14	6.05	20.05.2020	Руководитель Дипломник
11	Сдача отчета по НТИ	2	21.05	22.05.2020	Дипломник
Итого:		98			

Таблица 4.5 – Диаграмма Ганта

Этапы	Вид работы	Исполнители	T_k	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3	█				
2	Изучение отечественной и зарубежной литературы по теме	Дипломник	10	█				
3	Изучение светотехнического оборудования для многоярусных конструкций	Дипломник	10		█			
4	Технологические принципы выращивания растений для конструкций ярусного типа	Дипломник	4		█			
5	Проведение экспериментов по выращиванию микрозелени	Дипломник	8		█			
6	Архивация полученных выводов	Руководитель Дипломник	15		█	█		
7	Календарное планирование работ	Руководитель Дипломник	2			█	█	
8	Моделирование осветительной системы в программах DIALux evo/4.13, SolidWorks	Руководитель Дипломник	15			█	█	
9	Рассмотрение вопросов по конструированию светового пробора	Руководитель Дипломник	15				█	█
10	Написание выводов по работе	Руководитель Дипломник	14				█	█
11	Сдача отчета по НТИ	Дипломник	2					█

█ – Дипломник, █ – Руководитель.

По анализу диаграммы Ганта общее число работ составило 11. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 64 чел/дней, для дипломника-исполнителя составила 95 чел/дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 98 календарных дней. При этом стоит учитывать вероятностную составляющую оценки трудоемкости, то есть продолжительность работ по этапам может увеличиваться или сокращаться.

4.2.2 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 4.6.

Таблица 4.6 – Расчет стоимости материальных затрат при конструировании фитосветильника

№	Наименование	Марка, размер	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования,
1	Светодиод	Cree «хр-е»	10	95	950
2	Блок питания	ЕCХе 100.12	1	1510,2	1510,2
3	Печатная плата	под заказ	1	2105	2105
4	Отражатель	под заказ	2	800	1600
5	Корпус	под заказ	1	2800	2800
6	Защитное стекло	под заказ	1	809	809
7	Крепежные элементы	под заказ	-	-	-
Итого:					9774,2
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%):					390,968
Итого:					10165,168

4.2.3 Расчет основной заработной платы исполнителей

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:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (15% от $Z_{осн}$).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней: - выходные дни/праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	200	224

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Данные для расчета:

Оклад у научного руководителя доцента – 35120 руб., оклад у исполнителя (дипломника) – 12130 руб. Действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (руководитель – 200 дн., инженер – 224 дн.). Коэффициент дополнительной заработной платы 0,15.

Определим основную заработную плату для исполнителя дипломника:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{12130 \cdot 11,2}{224} = 606,5 \text{ руб./день}$$

$$Z_{\text{осн}} = 606,5 \cdot 95 = 57617,5 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 57617,5 = 8642,62 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{зп}} = 57617,5 + 8642,62 = 66260,12 \text{ руб.}$$

Общая сумма заработной платы исполнителя с учетом районного коэффициента (1,3 для Томска):

$$Z_{\text{зп}} = 66260,12 \cdot 1,3 = 86138,16 \text{ руб.}$$

Теперь рассчитаем основную заработную плату для научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{35120 \cdot 10,4}{200} = 1826,24 \text{ руб./день}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1826,24 \cdot 64 = 116879,36 \text{ руб}$$

Дополнительная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 116879,36 = 17531,9 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{зп}} = 116879,36 + 17531,9 = 134411,26 \text{ руб.}$$

Общая сумма заработной платы руководителя с учетом районного коэффициента:

$$Z_{\text{зп}} = 134411,26 \cdot 1,3 = 174734,64 \text{ руб.}$$

Следовательно общая сумма затрат на заработную плату составляет:

$$Z_{\text{всего}} = 86138,16 + 174734,64 = 260872,8 \text{ руб.}$$

Расчет затраты на основную заработную плату сведен в таблицу 5.8.

Таблица 4.8 – Затраты на основную заработную плату

№	Исполнители	Оклад	Среднедневная заработная плата, руб./день	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Заработная плата с учетом районного коэффициента, руб
1	Руководитель (Доцент, к.ф.-м.н)	35120	1826,24	116879,36	17531,9	174734,64
2	Дипломник	12130	606,5	57617,5	8642,62	86138,16
Итого:						260872,8

4.2.4 Отчисления на социальные нужды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{всего}}$$

где $k_{\text{внеб}} = 30,2\%$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

$$C_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 260872,8 = 78783,58 \text{ руб}$$

4.2.5 Расчет накладных затрат

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 70%.

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot Z_{\text{всего}}$$

$$C_{\text{накл}} = 0,7 \cdot 260872,8 = 182610,96 \text{ руб.}$$

4.2.6 Расчет общей себестоимости проекта

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ, приведенной в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Группировка затрат по статьям

Наименование статьи	Сумма, руб.	Порядок расчета
Расчет стоимости материальных затрат при конструировании фитосветильника	10165,17	Таблица 5.6
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	174496,86	Таблица 5.8
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	26174,52	Таблица 5.8
Отчисления во внебюджетные фонды	78783,58	Пункт 5.2.4
Накладные расходы	182610,96	Пункт 5.2.5
Бюджет затрат НТИ:		472231,09

Суммарный бюджет затрат научного исследования составил – 472231,09 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.

4.3 Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности

4.3.1 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 4.10.

Таблица 4.10 – Экономические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
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 4.11 – Технологические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
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 4.12 – Научно-технические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
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 4.13 – Общая оценка риска проекта

Виды рисков в группе	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
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.

4.3.2 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:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \Pi_i$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Π_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 4.14 – Весовые коэффициенты НТУ

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

Таблица 4.15 – Шкала оценки новизны

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

Таблица 4.16 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
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 4.17 – Возможность реализации по времени и масштабам

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

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

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

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

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет высокую значимость теоретического и практического уровня. Таким образом, анализируя результаты оценки, можно заключить, что проектная работа имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, а также приемлемый уровень рисков.

4.3.3 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 ниже в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – 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 по разделу «Финансовый менеджмент»

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

Оценка коммерческого потенциала и перспективности. Потенциальными потребителями данного научно-технического исследования являются инновационные тепличное хозяйства, а также 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 11. Определена трудоемкость проведения работ. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 64 чел./дней, для магистранта составила 95 чел./дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 98 календарных дней.
3. Финансовые затраты на материалы и комплектующие изделия составило 10165,168 рублей. Суммарный бюджет затрат НИИ составил – 472231,09 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.
4. 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.
 5. 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.

Глава 5 Социальная ответственность

В период, когда люди все больше внимания уделяют своему питанию и стараются употреблять в пищу исключительно полезные вещества, интерес к микрозелени очень сильно вырос. Именно первые листы растений содержат наибольшую концентрацию полезных веществ, входящих в состав зеленой массы, усваиваются организмом легче и в более полном объеме. По некоторым показателям большинство микрозелени имеет в 30 раз большее содержание полезных для организма человека веществ чем уже сформировавшиеся растения. Микрозелень можно найти в магазинах здоровой пищи, веганских и дорогих ресторанах.

Все исследования по выращиванию микрозелени 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.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В лабораторию, чтобы делать эксперименты допускаются только те люди, которые ознакомлены с инструкциями по работе лабораторных установок и методическими указаниями.

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.

Расположение многоярусной исследовательской 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.

При длительной работе за компьютером необходимо соблюдать режим труда и отдыха. Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определённой длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учётом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности.

Для предупреждения преждевременной утомляемости оператора рекомендуется организовать рабочую смену путём чередования работ с использованием ПК и без неё. При постоянном взаимодействии с ПК с напряжением внимания и сосредоточенности рекомендуется организация перерывов на 10-15 мин через каждые 45-60 мин работы. Продолжительность непрерывной работы на ПК без перерыва не должна превышать 1 ч.

В исследовательской многоярусной установке установлены светодиодные фитосветильники со спектром непривычным для человеческого глаза. Излучение с таким спектром все же сказывается на состоянии здоровья, в частности на органах зрения: появляется напряжение в глазах, утомляемость, ухудшается концентрация. Однако светодиодные световые приборы относят к группам с низким и умеренным риском заболевания. Для предотвращения негативного влияния на зрительный аппарат в установке имеются специальные задвижки, которые позволяют

полностью закрывать свет в установке, когда нет необходимости наблюдать за экспериментом.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Работа инженера-оптотехника связана в основном с умственной деятельностью, нежели с физической, поэтому основная нагрузка падает на центральную нервную систему.

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 микрозелени.

Результаты проведенного анализа представлены в таблице 5.1 с учетом, что эксперименты проводились в учебной лаборатории.

Таблица 5.1. Опасные и вредные факторы при выращивании микрозелени

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Подготовка установки (многоярусная гидропонная установка) и к образцов эксперименту. Процесс выращивания; Измерение с помощью оптических методов (спектрофотометр ТКА – ФАР, люксметр)	1.Отклонение показателей микроклимата в помещении 2.Недостаточная освещенность в рабочей зоне 3.Зрительное напряжение 4. Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте	1.Поражение электрическим током 2.Статическое электричество 3.Пожаробезопасность	<ul style="list-style-type: none"> ✓ СанПиН 2.2.4.548-96 ✓ СН 2.2.4/2.1.8.562-96 ✓ СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 ✓ СП 52.13330.2016 ✓ ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ ✓ ГОСТ 12.4.124-83

5.2.2 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 [28], 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 5.2 и 5.3 [28].

Таблица 5.2. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категорий Ia [28]

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 5.3. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категорий Ia [29]

Период года	Температура воздуха, °С		Отн-ая влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон выше оптимальных величин	Диапазон ниже 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

5.2.3 Шум

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается работающим оборудованием, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами искусственного света, а также проникает извне. При повышенном действии шума и вибрации ухудшаются условия труда, оказывает вредное воздействие на организм человека. Основным источником шума в лаборатории являются вентиляторы блоков питания ЭВМ и вентиляторы на исследовательской ярусной установке. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[32] при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50 дБА.

5.2.4 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.

Общая освещенность в помещении с персональными компьютерами должна составлять 300 лк.

В качестве источников искусственного освещения на рабочем месте используются офисные светодиодные светильники в количестве 2 штук, расположение которых изображено на рисунке 5.1.

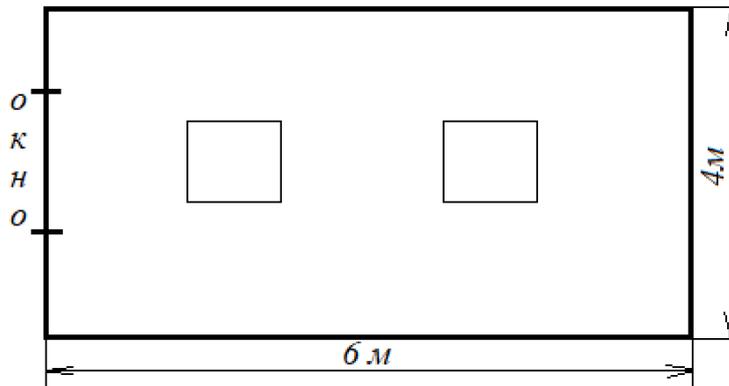


Рисунок 5.1 – План расположения световых приборов в лаборатории «Биофотоника»

Произведем расчет искусственного освещения помещения методом коэффициента использования. Характеристики светодиодного светильника, которые используются в офисных помещениях следующие:

- Мощность 48 Вт;
- Световой поток 5700 лм;
- IP 54.

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

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

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 4}{2 \cdot (6 + 4)} = 1.2$$

В нашем случае коэффициент отражения стен $\rho_{ст} = 50\%$.

Согласно СП 52.13330.2016, минимальная освещенность в помещениях с компьютерами на рабочей поверхности $E_{min} = 300$ лк. Учитываем, что в помещении установлено 2 светильника $N = 2$; коэффициент запаса

светодиодных светильников $k = 1.1$; числовое соотношение неравномерности освещения $z = 1$; коэффициент использования светового потока, зависящий от индекса помещения, $\eta = 0,51$. Тогда световой поток лампы равен:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1.1 \cdot 24 \cdot 1}{2 \cdot 0,51} = 7765 \text{ лм}$$

Сравниваем полученную величину светового потока с серийной, которая составляет 5700 лм.

$$\begin{aligned} -10 &\leq \frac{\Phi_{\text{станд.}} - \Phi_{\text{расч.}}}{\Phi_{\text{станд.}}} \cdot 100\% \leq 20 \\ -10 &\leq \frac{5700 - 7765}{5700} \cdot 100\% \leq 20 \\ -10 &\leq -0,36 \leq 20 \end{aligned}$$

Отсюда следует, что соответствует стандартным нормам освещения помещений, где установлены компьютеры, с освещенностью в 300 лк.

Повышенной нагрузкой на зрительную систему и процессы внимания характеризуются многие виды производственной и научной деятельности. В сочетании с гиподинамией, нервно - эмоциональным напряжением, длительным сохранением неоптимальной основной рабочей позы приводит к развитию зрительного и общего утомления и понижению работоспособности.

В профилактике общего и зрительного утомления у представителей ряда профессий важная роль принадлежит обеспечению зрительного комфорта. Сюда относятся общая освещённость, окраска помещений, распределение световых проёмов и т.д. Оптимальное расположение объектов трудового процесса на расстоянии 30-100 см от глаз.

При проведении длительных экспериментов должны быть учтены регламентированные перерывы, во время которых производится производственная гимнастика. Она состоит из общеукрепляющих и специальных упражнений для глаз. В основу последних должны быть

положены принципы тренировки и релаксации аккомодации, а также манипуляции, улучшающих кровоснабжение глаз.

Так же правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, снижает нагрузку на органы зрения, оказывает положительное психологическое воздействие на работников, содействует повышению производительности труда.

5.2.5 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока [30]. 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 [29]. 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.

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 исследовательской установке только при повреждении (пробое) первичной обмотки, когда вторичный виток оказываются под напряжением питающей сети (220, 380 В).

Согласно ПУЭ (7-е изд.) [30] 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, электрозащитные средства, уравнивание потенциалов, двойная изоляция, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

5.2.6 Статическое электричество

Все проводящие элементы технологического оборудования и другие объекты, которые генерируют или накапливают статическое электричество, должны быть заземлены независимо от того, используются ли другие устройства электростатической защиты. Заземляющее устройство, предназначенное для защиты от статического электричества, должно иметь сопротивление не более 100 Ом. Согласно ГОСТ 12.4.124-83 средствами

коллективной защиты от статического электричества являются: антиэлектростатические вещества, увлажняющие устройства, нейтрализаторы, экранирующие вещества. В качестве индивидуальных средств защиты следует применять антистатическую обувь, халаты, антиэлектростатические средства для защиты рук.

5.3 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, микрозелень имеет свойство потреблять большое количество углекислого газа и перерабатывать его в кислород, следовательно, установка не вызывает загрязнения природы.

5.3.1 Утилизация

При разработке автоматизированных систем возникает необходимость утилизировать производственные отходы, в качестве которых в данном

случае выступают бумажные отходы (макулатура), неисправные детали компьютерной техники и ярусной установки, неподдающиеся ремонту. Бумажные отходы должны передаваться в соответствующие организации для дальнейшей переработки во вторичные бумажные изделия. Неисправные комплектующие компьютерной и ярусной установки должны передаваться либо государственным организациям, осуществляющим вывоз и уничтожение бытовых и производственных отходов, либо организациям, занимающимся переработкой отходов.

Электронные платы присутствующие в исследовательской установке и ПК со временем выходят из строя, и возникает необходимость их утилизации. Выбрасывать микросхему нельзя, так как должен пройти определенный технологический процесс с соблюдением техники безопасности. После извлечения, с помощью пунктов скупки отправляют на вторичную переработку. Этим занимаются предприятия, которые изготавливают изделия из драгоценных металлов. Из отходов электроники можно получить: золото; серебро; платину; медь; алюминий; различные сплавы. Процесс переработки микросхем описывается в двух технологичных маршрутах:

- демонтаж компонентов и повторное их использование;
- восстановление сырья механической обработки, гидрометаллургией или пирометаллургией.

Ответственное отношение к отходам электроники пойдет на пользу экологии и промышленности.

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.

Стоит отметить, что сейчас существует возможность сдавать отработавшие люминесцентные лампы в специализированные центры по их утилизации, что также способствует уменьшению отходов производственной деятельности.

Образующиеся в промышленных тепличных хозяйствах (комбинатах) производственные и хозяйственно-бытовые стоки, отработанный грунт, минераловатный субстрат и растительные остатки подлежат обязательному обезвреживанию во избежание формирования источников загрязнения почвы, водоемов, атмосферного воздуха рабочей зоны. Загрязненные пестицидами растительные остатки сжигают или компостируют. Отходы производства (битая посуда, инвентарь, неподдающийся переработке) подлежат обезвреживанию и захоронению в соответствии с «Санитарными нормами и правилами порядка накопления и транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных, промышленных отходов».

Сегодня переработка отходов является перспективным направлением развития технологии, что позволяет защитить окружающую среду и сберечь природные ресурсы.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 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 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 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.

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.

Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Рабочее место соответствует всем нормативно-техническим документам. В лаборатории «Биофотоника» достаточная освещенность для выполнения экспериментов и анализа результатов за персональным компьютером, имеются средства для огнетушения.

Исследовательская многоярусная установка обеспечивает безопасные условия труда и удобства при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте. Перед началом проведения эксперимента всегда проводится инструктаж по технике безопасности ответственным данной лабораторией.

Заключение

В работе проведено экспериментальное исследование влияния светодиодного облучения с разным спектром на рост и развитие микрозелени пшеницы и ржи в ярусном выращивании. При выращивании микрозелени установлено что с облученностью $E_e = 12,8 \text{ Вт/м}^2$ и уровнем $PPFD = 61.7 \mu\text{mol/s}$ наибольшие показатели роста культур пшеницы и ржи, следовательно необходим для них полный спектр излучения.

На основе эксперимента был разработан и спроектирован светильник для исследовательской установки для выращивания микрозелени. В итоге разработанная система освещения для эффективного выращивания микрозелени включает:

- Полный спектр
- Мощность 10 Вт
- Расположение в установке горизонтально
- Габариты Д×Ш×В: 20см×7,4см×4,3 см
- КСС: круглосимметричная, полуширокая
- Максимальную температуру нагрева 35.6°C

В результате проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического и практического уровня и приемлемый уровень рисков. Финансовые затраты на материалы и комплектующие изделия составило 10165,168 рублей. Суммарный бюджет затрат НИИ составил – 472231,09 рублей.

Список публикаций автора

1. Сценарии освещения тепличного комплекса с учётом климатических и сезонных изменений естественной освещённости для культуры салата и огурца / Е. В. Жидолович [и др.] // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2018) : сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 26–30 ноября 2018 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2018. — [С. 119-120].

Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/51826>

2. Е.В. Жидолович, С.Б. Туранов, А.Н. Яковлев, Т.В. Гречкина. Система светодиодного освещения тепличного комплекса на примере smart-теплицы //XIV Всероссийская с международным участием научно-техническая конференция: проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики, г. Саранск, 26-27 сентября 2019 г. (*Мероприятие было отложено*)

3. Жидолович Е. В. Проектирование системы светодиодного освещения при ярусном выращивании растений / Е. В. Жидолович, Т. В. Гречкина // Современные материалы и технологии новых поколений : сборник научных трудов II Международного молодежного конгресса, г. Томск, 30 сентября - 5 октября 2019 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2019. — [С. 272-273].

Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/56913>

Список использованных источников

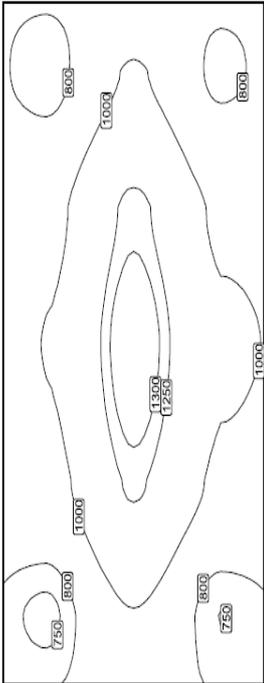
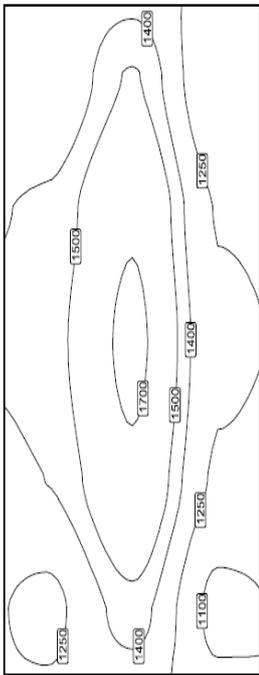
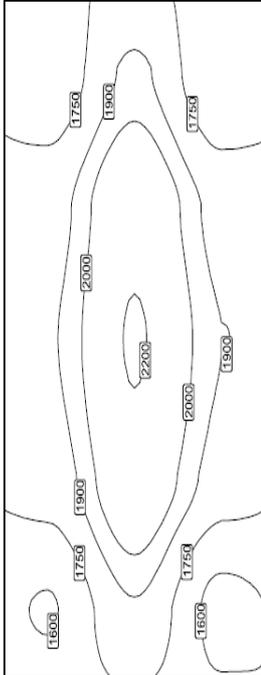
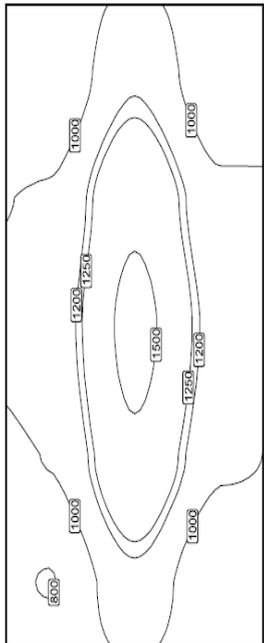
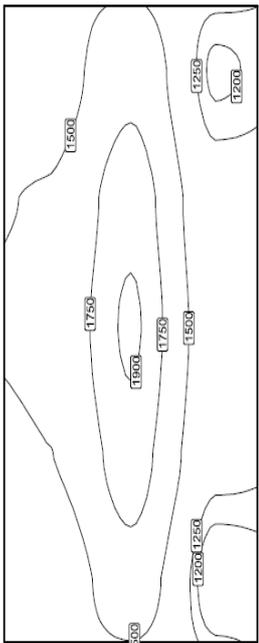
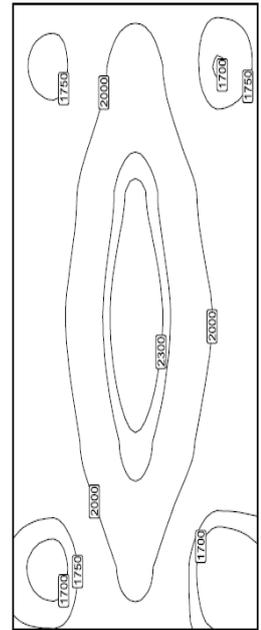
1. Лукичева Е.А. Новые реалии тепличного бизнеса/ Сельскохозяйственные вести.–2019.–№2 [Электронный ресурс] URL: <https://agri-news.ru/zhurnal/2019/zashhishhennyij-grunt/novyie-realii-teplichnogo-biznesa.html> (Дата обращения 26.04.2020)
2. Городские фермы [Электронный ресурс] URL: <https://www.lighting.philips.ru/products/horticulture/city-farming> (Дата обращения 26.04.2020)
3. Philips GreenPower LED production module[Электронный ресурс] URL:<http://www.lighting.philips.com/main/products/horticulture/products/greenpower-led-production-module> (Дата обращения 26.04.2020)
4. Green Sense Farms Holdings___[Электронный ресурс] URL: <https://www.greensensefarms.com/>(дата обращения 30.04.2020)
5. Green Sense Farms, Portage, USA [Электронный ресурс] URL: <https://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/horticulture/green-sense-farms> (дата обращения 30.04.2020)
6. Технологии iFarm [Электронный ресурс] URL: <https://ifarmproject.ru/technologies#rec171728242> (Дата обращения 26.04.2020)
7. Микрозелень по технологии iFarm [Электронный ресурс] URL: <https://ifarmproject.ru/microgreen> (Дата обращения 26.04.2020)
8. Вертикальные агрофермы ИЛИОТЕК [Электронный ресурс] URL: <http://eliotec.ru/>(Дата обращения 26.04.2020)
9. ГОСТ Р 57671-2017 «Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия»
10. Взаимосвязь спектров поглощения пигментов растений и светодиодного освещения с различным спектральным составом. Журнал технической физики, 2018, том 88, вып. 9. [Электронный ресурс] URL: <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/46410> (дата обращения 29.10.2019)

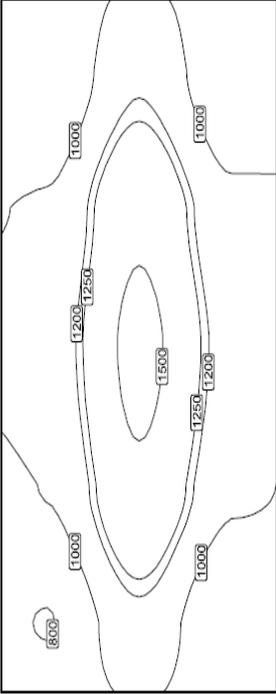
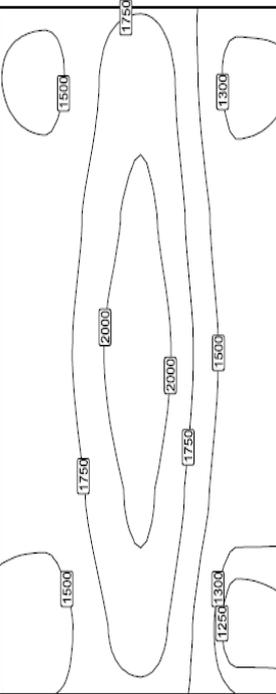
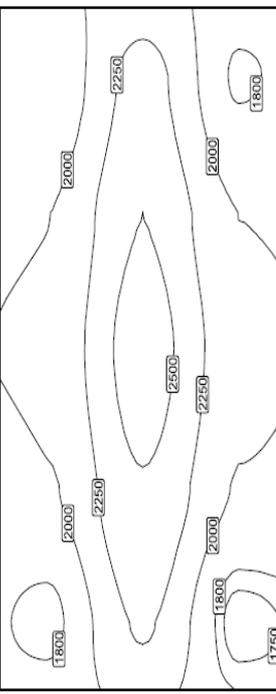
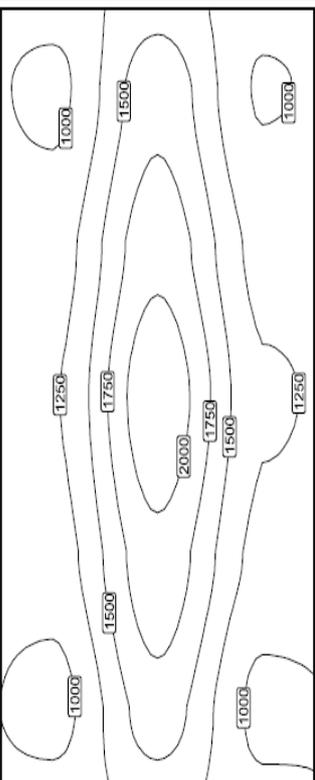
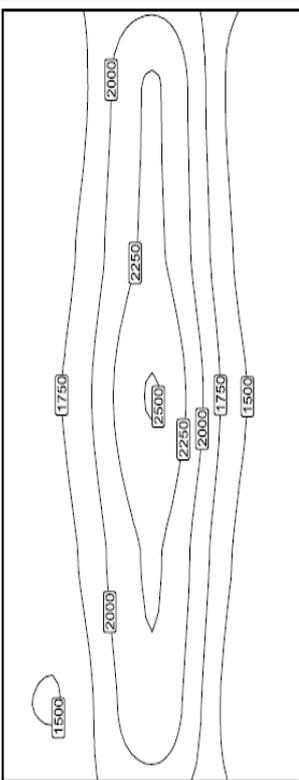
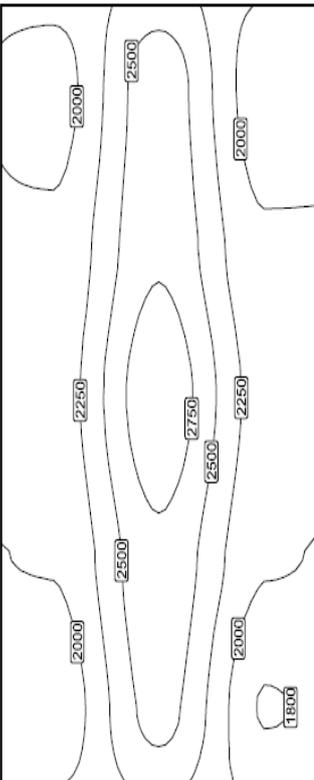
11. Спектрофотометр "ТКА-Спектр"(ФАР) [Электронный ресурс] URL: <http://www.tkaspb.ru/main/index.php?productID=81>. (Дата обращения 13.10.2019)
12. Люксметр «ТКА-люкс» [Электронный ресурс] URL: <http://www.tkaspb.ru/main/index.php?productID=1> (Дата обращения 17.12.2019)
13. Sky Greens Vertical Farming System [Электронный ресурс] URL: <https://www.skygreens.com/> (Дата обращения 26.04.2020)
14. Vertical Farming Plenty [Электронный ресурс] URL: <https://www.plenty.ag/vertical-farming/#benefits>(Дата обращения 30.04.2020)
15. Vertical Farming Market [Электронный ресурс] URL: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-vertical-farming-market> (Дата обращения 10.05.2020)
16. Microgreens[Электронный ресурс] URL: <https://www.healthline.com/nutrition/microgreens>(Дата обращения 10.05.2020)
17. Решение геологических задач с применением программного пакета Surfer: практикум для выполнения учебно-научных работ студентами направления «Прикладная геология» / сост. И.А. Иванова, В.А. Чеканцев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 92 с.
18. Семена для проращивания и микрозелени [Электронный ресурс] URL: https://pro-rostki.ru/catalog/semena_mikrozeleni/ (Дата обращения 10.05.2020)
19. Где купить семена микрозелени [Электронный ресурс] URL: https://pro-rostki.ru/statji/gde_kupit_semena_mikrozeleni/ Дата обращения 10.05.2020)
20. Каталог CREE: Светодиоды и оптоэлектронные компоненты. – 2016 г.
21. ОСТ 16.0.689.027.74. Источники Фотосинтетически эффективного излучения. Термины и определения, величины и единицы.
22. Туранов С.Б., Козырева И., Яковлев А.Н. Методы оценки качественных характеристик светодиодных световых приборов для растений. // Светотехника. 2014. №6.

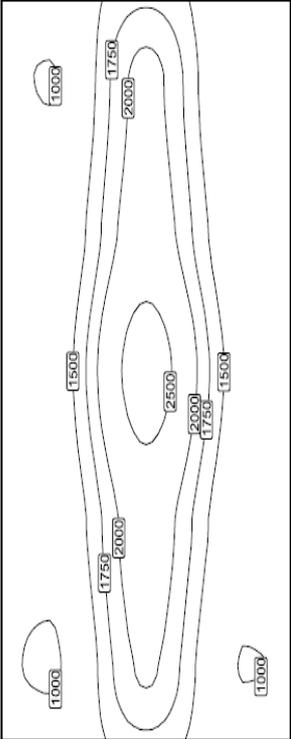
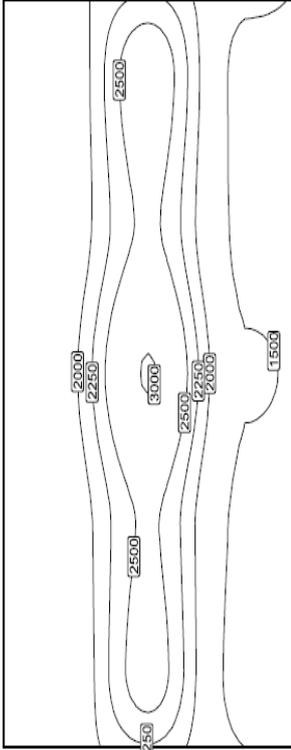
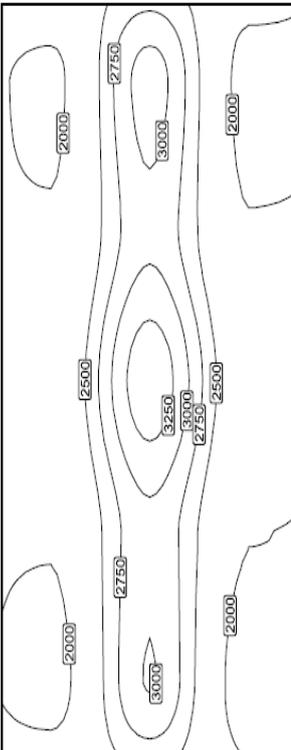
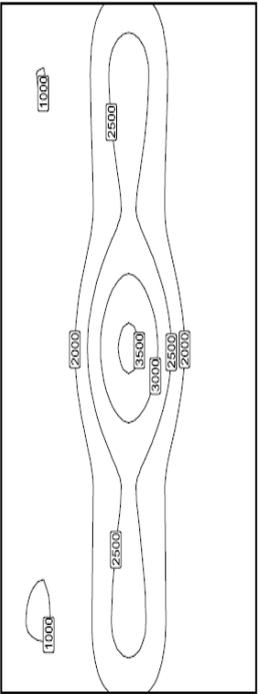
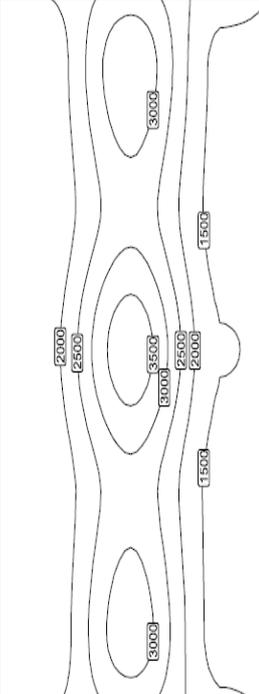
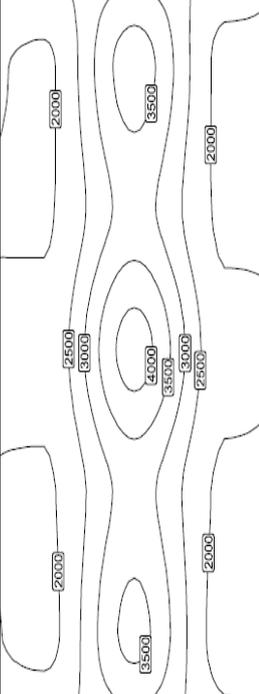
23. Национальный стандарт РФ «Облучение растений светодиодами источниками света»: Стандартинформ. Москва. – 2017.
24. Прикупец Л.Б., Емелин А.А., Тараканов И.Г. Спектральный аспект при использовании облучателей со светодиодами для выращивания салатных растений в условиях светокультуры // Светотехника. – 2015. – №4. – С. 47-52.
25. 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.
26. 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.
27. Регламентирующие документы планово-финансового отдела ТПУ [Электронный ресурс]URL: <http://portal.tpu.ru/departments/otdel/peo/documents> (Дата обращения 12.05.2020)
28. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
29. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
30. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – СПб.: ДЕАН, 2013. – 704с.
31. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
32. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

33. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
34. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
35. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы
36. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах
37. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования

Таблица А1 – Расчетные поверхности при горизонтальном расположении светильника

Расчетные поверхности №1 (50см)		
		
Установка №1 $U_0 = 0,74$	Установка №2 $U_0 = 0,77$	Установка №3 $U_0 = 0,84$
Расчетные поверхности №2 (45см)		
		

Установка №1 $U_0 = 0,74$	Установка №2 $U_0 = 0,76$	Установка №3 $U_0 = 0,83$
Расчетные поверхности №3 (40см)		
		
Установка №1 $U_0 = 0,70$	Установка №2 $U_0 = 0,74$	Установка №3 $U_0 = 0,82$
Расчетные поверхности №4 (35см)		
		

Установка №1 $U_0 = 0,68$	Установка №2 $U_0 = 0,72$	Установка №3 $U_0 = 0,80$
Расчетные поверхности №5(30см)		
		
Установка №1 $U_0 = 0,63$	Установка №2 $U_0 = 0,69$	Установка №3 $U_0 = 0,78$
Расчетные поверхности №6 (25см)		
		

Установка №1 $U_0 = 0,57$	Установка №2 $U_0 = 0,64$	Установка №3 $U_0 = 0,72$
Расчетные поверхности №7 (20см)		
Установка №1 $U_0 = 0,47$	Установка №2 $U_0 = 0,53$	Установка №3 $U_0 = 0,64$

Приложение Б
(справочное)

Actual aspects of the greenhouse growing plants in tiered system

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ81	Е.В. Жидолович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Т.В. Гречкина	к.ф.-м.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	О.В. Сумцова			

Chapter 1 Actual aspects of the greenhouse growing plants in tiered system

New greenhouse complexes are being actively built in many regions of the country. Over 300 hectares of greenhouses are under construction and by 2024 it is planned to provide 1.5 million tons of vegetables per year.[1]

The creation of vertical city greenhouses provides a fully controlled environment that will allow getting a stable crop regardless of the season, and it is possible to place them in rooms with no natural light. Vertical farms present a very promising area of agriculture, which requires large investments and new technological solutions.

Vertical farms are currently being engineered and built in cities of economically developed countries such as [2]: USA, Germany, Japan, Singapore.

1.1 Illumination engineering equipment for tiered structures

In the field of crop production, a large company Philips Lighting offers efficient and innovative solutions for growing crops in city conditions, as well as the most reliable technologies and LED systems.

Philips has developed the Greenpower LED production module for multi-tiered cultivation in air-conditioned environments with little or no daylight. It is optimized for indoor climate-controlled objects, such as urban and vertical farms, breeding centers and research that use multi-tiered systems for growing crops, such as: leafy vegetables and herbs, microgreens, berry crops, floriculture.

The company guarantees that the deep red spectrum is the most effective for photosynthesis, vegetative propagation and stimulation of shoot development. The blue spectrum has a positive effect on compactness and hardening. The far-red spectrum gives a positive effect on the generative properties, the formation of flowering.



Figure 1.1 - Greenpower LED Production Module [3]

Table 1.1 – Characteristics of the Greenpower LED manufacturing module [3]

Parameters:	Greenpower LED
Input voltage	200 V
Power consumption	22-27 W
Light flow	50 $\mu\text{mol} / \text{s}$
Efficiency	2.1-2.3 $\mu\text{mol} / \text{J}$
Degree of protection	IP66
Duration	25000 hours

The production module is available and comes in four spectral versions:

- | | |
|----------------|---------------|
| 5. DR / B | Deep red (DR) |
| 6. DR / B /FR, | Blue (B) |
| 7. DR / W | White (W) |
| 8. DR / W / FR | Far red (FR) |

Green Sense [4], an urban vertical farm located in Portage, near Chicago (USA), is located in an industrial warehouse building with an area of 12,000 m. They grow lettuce, microgreens, including cabbage, arugula, watercress and culinary herbs. About 80% of products go to grocery stores, and 20% - to companies that serve restaurants and institutions.



a



b

Figure 1.2 - a) Farm Green Sense [5]; b) Salad vertical farm iFarm [7]

In the Green Sense farm, on shelving about 7.5m high, lighting control is automated using Phillips LED modules with blue and red spectrum.

Domestic manufacturers of greenhouse LED devices for longline growing try to keep up with foreign experience and use the developed technologies in their own farms. For example, the creators of iFarm Project [6], in the city of Novosibirsk. Their own development is a full-spectrum LED lamp, which they use for longline cultivation (Figure 1.2b).

Table 1.2 – Specifications of the iFarm LED lamp [6]

Power	29 W
CCT	3000 K
L/W/H	1.8m/15mm/6mm
Weight	200 g
Type and material of housing	Silver coated anodized aluminum Clear plastic lens

Let us consider another Russian company, Agrorus, in the city of Bryansk. The company offers vertical farms under the brand name "Iliotek" [8], which also have their own production of LED lamps. They describe what they produce with independently adjustable intensity of the white and red channels, which allows selecting the optimal ratio of blue and red spectrum (and total intensity).

1.2 Norms and rules of LED lamps for greenhouses

The first document regulating the technical requirements for LED phyto-lighting fixtures is GOST R 57671-2017 “Irradiation devices with LED light sources for greenhouses. General technical conditions” [9].

In this standard, the types of light intensity distribution curve of phyto-lighting fixtures for lighting plants from above, including in tiered systems of the rack type, are regulated - this is L (half-wide) or W (wide) (paragraph 5.2.1.).

The efficiency of devices in the field of PAR (photosynthetic active radiation) should be 2.0 ($\mu\text{mol/s}$) / W for devices designed to illuminate plants from above; for additional illumination of plants (inter-row lighting) - 1.8 ($\mu\text{mol/s}$)/W; and not less than 1.9 ($\mu\text{mol/s}$)/W — for devices designed to illuminate plants in tiered rack-type installations. Case heating must not exceed 60 °C.

The standard [9] summarizes the procedure for determining the effectiveness of devices in the field of PAR (paragraph 7.3):

a) Measurement of the spectral density of radiation of a lighting device in the PAR area (400–700 nm) according to GOST R 55703.

b) Calculation of photosynthetic photon flux according to the formula [9]:

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

where: F_{PAR} — photosynthetic photon flux, $\mu\text{mol/s}$;

φ_{λ} – spectral density of the radiation power distribution of the device (in the PAR area), W/nm;

λ – wavelength, nm;

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ –Planck's constant;

$c = 3 \cdot 10^{17}$ nm/s – is the speed of light;

$N_A = 6,022 \cdot 10^{17}$ mol⁻¹ – is Avogadro number;

$K = 8,36 \cdot 10^{-3}$ μmol⁻¹nm⁻¹J⁻¹ – is the coefficient.

c) Measurement of power consumption - according to GOST R 56231;

d) The efficiency in the field of PAR is calculated by the formula [9]:

$$\eta_{PAR} = F_{PAR} / P \quad (2)$$

where: η_{PAR} – efficiency in the field of PAR, (μmol/s)/W;

F_{PAR} – photosynthetic photon flux, μmol/s;

P – power consumption, W

Currently, many manufacturers offer LED lamps for lighting greenhouses, multi-tiered installations, lighting, it follows that compliance with the standard will be a determining factor for the consumer.

1.3 Technical equipment for measurements

Part of the solar radiation in the range from 400 to 700 nm that is used by plants for photosynthesis is called photosynthetically active radiation (PAR).

Photosynthesis is the process of converting light energy into the energy of chemical bonds of organic substances. For photosynthesis, pigments in plant tissues must absorb the energy of photons of the desired wavelengths and then use this energy to start the chain of chemical photosynthesis reactions. [10]

When radiation interacts with a plant, the energy of incident photons is distributed as follows:

- Reflection ~ 10%
- Transmission ~ 10%
- Heat ~ 35%
- Transpiration ~ 43%
- Photosynthesis ~ 2%

Photosynthetic pigments of higher plants are divided into two groups - chlorophylls and carotenoids. The role of these pigments is to absorb light and turn its energy into chemical energy. [10]



Figure 1.3 - Absorption spectra of chlorophylls *a* and *b*, and carotenoids

Chlorophylls *a* and *b* have two main absorption maxima in the red and blue-violet parts of the spectrum with insignificant differences in their position. As it can be seen in Figure 2.5, in chlorophyll *b*, the absorption maximum in the red part of the spectrum is somewhat shifted toward short-wave rays, and in the blue-violet part, on the contrary, toward longer wavelengths compared to the position of similar maxima in chlorophyll *a* [10].

All plants perceive different wavelengths differently in the PAR spectrum. This is due to the different absorption of different types of pigments in the leaves of each plant.

Estimation of PAR by light values is complicated due to the need for recounting. The lack of a unified approach to the determination of PAR among researchers is evidenced by the variety of quantities found in the scientific literature that characterize optical radiation incident on plants and perceived by them.

The lack of a unified approach to measuring the photon flux is due to the lack of an official unit for measuring the photon flux in the international SI system.

PPF - photosynthetic photon flux. This is the absolute number of photons in the PAR range that a light source emits every second.

The PPFD parameter is the number of photosynthetically active photons fall on the measured surface of the plant within a given second.

To measure PPFD, a TKA-FAR spectrophotometer was used. The device is intended for measuring the absolute spectral distribution of light sources and light devices in the visible region in the range from 400 to 790 nm, measuring the energy illuminance (irradiation) and the density of the photosynthetic photon flux PPFD in $\frac{\mu\text{mol}}{\text{s}\cdot\text{m}^2}$.



Figure 1.4 - Spectrophotometer "TKA-Spectrum" (PAR) [11]

Table 1.3 – Basic technical data and characteristics of the device Spectrophotometer "TKA-Spectrum" (PAR) [11]

Range of measurement of total exposure (two measurement modes: with attenuator and without attenuator)	100 ÷ 600 000 mW/m ² (Type A source calibration)
Measurement mode	Continuous / Pause
Spectral range, nm	400 ÷ 790
The main relative error of irradiation measurements (no more)	± 8,0 %
Transducer	Polychromator, 128-pixel line of silicon photocells
Scanning step, nm	3,33
The width of the spectral line, nm	9,9
Integration time range (measurement), ms	16 ÷ 4096

To measure the illumination parameter, a TKA-lux luxmeter was used.



Figure 1.5 - Luxmeter TKA-lux [12]

Table 1.4 - The main characteristics of the device "TKA-lux" [12]

Illumination measurement range	1,0 ÷ 200 000 lx
The main relative error of illumination measurements	± 6,0 %
The limits of the additional relative error of the device when measuring optical quantities, due to a change in the sensitivity of the photometric head with a change in air temperature in the measurement zone for every 10 ° C	± 3,0 %
Mesomorphic display	3½ rank
Measuring unit	155×77×40 mm
Instrument weight	0,45 kg
Battery - Krone Battery Size	9 V

1.4 Technological principles of growing plants to constructions longline type

The world's first commercial vertical farm is located in Singapore SkyGreens [13]. Its creator, Jack Ng, began experimenting with growing green in 2010, a year later he announced the results, and the following year 2012 he launched full-fledged production and established supplies to grocery stores in the country.

The patented design of the vertical truss consists of rotating tiers mounted on an aluminum A-frame (see Figure 1.3a). The tier height can reach up to 9 meters with 38 tiers.

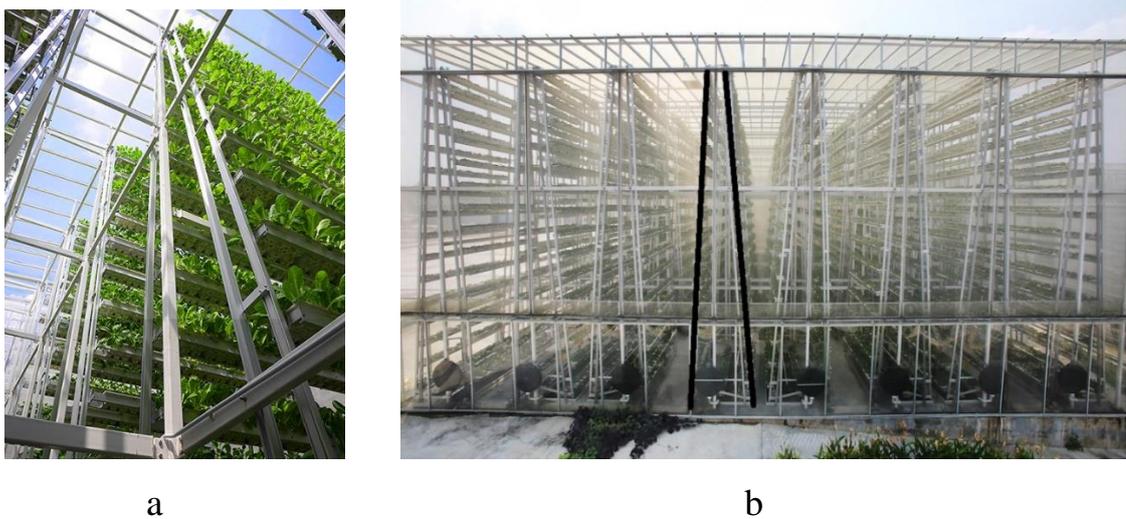


Figure 1.6 - SkyGreens Vertical Farm [13]

San Francisco-based Plenty Farm [14] literally grows plants vertically. Rows of pallets with plants are set at a height of six meters. Almost every stage of the production process is automated (see Figure 1.7).



Figure 1.7 - Vertical farm Plenty [14]

As you can see, there are quite a lot of variations of longline designs. The standard equipment of universal multi-tiered plants, offered by most manufacturers, includes:

- frame made of durable long-lived materials;
- led phytolamps;

- pallets, cups, cassettes, trays for growing various crops;
- powerful pumping equipment;
- equipment for ventilation, heating;
- instructions for using, growing crops, a set of tools for assembling the structure.

Conclusion for Chapter 1

Examples of multi-tiered structures and development trends of such greenhouse technologies are associated with the rational use of space and the volume of finished products. In addition, this is one of the methods of optimal cultivation of undersized and fast-growing plant products, so vital for the human diet.

In the conditions of modern innovative technologies of LED lighting and related microelectronic components, the accompanying technological process of the greenhouse allows us to improve the conditions for multi-tier plant growing, including structures from 10 or more tiers.

The experience of foreign countries shows that the interest in longline designs and methods of growing plants on them is only increasing, and according to GrandViewResearch forecasts [15], investments in vertical farms will increase to a very significant \$ 9.9 billion in 2025.