

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н. П. ОГАРЁВА»

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЕТОТЕХНИКИ  
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОНИКИ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой, к.т.н.

 Н. Н. Беспалов

«24» 06 2019г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

**Разработка системы светодиодного освещения для тепличных хозяйств.**

Автор бакалаврской работы  14.06.19 С. А. Медведев

Обозначение бакалаврской работы БР – 02069964 – 12.03.01 – 12 – 19

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Руководитель работы

доцент

 — 14.06.19

С. С. Капитонов

Нормоконтролер



14.06.2019

А. А. Шестеркина

Саранск

2019

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н. П. ОГАРЁВА»

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЕТОТЕХНИКИ  
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОНИКИ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой, к.т.н.



Н. Н. Беспалов

« 1 » 11 2018 г.

**ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Студент Медведев Сергей Антонович

1 Тема: Разработка системы светодиодного освещения для тепличных хозяйств.

Утверждена приказом по МордГУ № 9266-с от 01.11.2018 г.

2 Срок представления работы к защите: 14 июня 2019 г.

3 Исходные данные для выпускной квалификационной работы.

3.1 Разработать и исследовать систему светодиодного освещения для тепличных хозяйств.

3.2 Система светодиодного освещения для теплиц должна работать в двух режимах и должна достигать необходимых параметров:

- два режима работы разной длительности;
- выходной ток драйверов до 700 мА;
- ток пульсации не более 5%;

- диапазон датчика освещенности 0...+10 В;
- мощность до 200 Вт (будет регулироваться);
- параметры синих светодиодов: длина волны 440 нм;
- параметры красных светодиодов: длина волны 660 нм;
- габариты корпуса от 1 м до 2 м;
- система управления: управление будет осуществляться с помощью контроллера, по аналоговому интерфейсу;

Светильник должен осуществлять работу в двух режимах: первый режим работы длительностью четверть всего цикла развития растения, работает светодиодная линейка №1; второй режим работы, занимающий оставшееся время цикла развития растения, работают светодиодные линейки №1 и №2.

Разработать систему управления освещением по аналоговому интерфейсу контроллера, с помощью датчика освещенности с диапазоном напряжения 0...+10 В.

#### 4 Содержание выпускной квалификационной работы.

Реферат

Список сокращений и обозначений

Введение

1 Обзор фитосветильников представленных на Российском рынке.

2 Разработка макетного образца светодиодного фитосветильника.

2.1 Предлагаемый подход к реализации фитосветильника

2.2 Разработка структурной схемы системы освещения для теплиц.

2.3 Разработка функциональной схемы фитосветильника

2.4 Разработка конструкции светодиодного фитосветильника

3 Разработка программного обеспечения

3.1 Выбор программируемого логического контроллера

3.2 Конфигурация ПЛК

3.3 Описание программы

3.4 Выбор и конфигурация операторной панели

4 Испытания макетного образца фитосветильника

Заключение.

Список использованных источников

Приложение 1 Перечень графического материала

1 Структурная схема системы освещения для теплиц.

2 Функциональная схема фитосветильника

Приложение 2

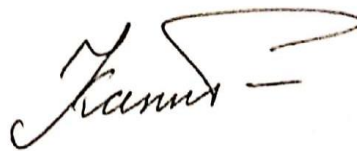
Сборочный чертеж корпуса.

Приложение 2

1 Программа для системы управления светодиодным освещением

теплиц.

Руководитель работы



С. С. Капитонов

Задание принял к исполнению



С. А. Медведев

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит: 46 страниц, 44 рисунка, 3 таблицы, 13 использованных источников.

**ФИТООБЛУЧАТЕЛЬ, СВЕТОДИОД, РАСТЕНИЯ, ТЕПЛИЧНОЕ ХОЗЯЙСТВО, СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ, ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ, РЕГУЛИРОВАНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.**

Объект исследования: система светодиодного освещения для тепличных хозяйств

Цель исследования: разработка системы светодиодного освещения для тепличных хозяйств.

Методы разработки: математическое моделирование, конструкторский расчет, испытания.

Полученные результаты: в результате работы были разработаны структурная схема системы светодиодного освещения, функциональная схема фитооблучателя, конструкция фитосветильника и макетный образец.

<b>БР-02069964-12.03.01-12-19</b>				
<b>Изм.</b>	<b>Лист</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Разраб.		Медведев С. А.	<i>[Подпись]</i>	14.06.19
Провер.		Капитонов С. С.	<i>[Подпись]</i>	14.06.19
Реценз				
И. Контр.		Шестеркина А.	<i>[Подпись]</i>	14.06.19
утверд.		Беспалов Н. Н.	<i>[Подпись]</i>	24.06.19

Разработка системы светодиодного освещения для тепличных хозяйств	Лит.	Лист	Листов
	4	47	

МГУ ИЭС ЭНЭ 451

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Обзор фитосветильников представленных на российском рынке	8
2 Разработка макетного образца светодиодного фитосветильника	13
2.1 Предлагаемый подход к реализации фитосветильника	14
2.2 Разработка структурной схемы системы освещения для теплиц	16
2.3 Разработка функциональной схемы фитосветильника	18
2.4 Разработка конструкции светодиодного фитосветильника	19
3 Разработка программного обеспечения	27
3.1 Выбор программируемого логического контроллера	27
3.2 Конфигурация ПЛК	29
3.3 Описание программы	30
3.4 Выбор и конфигурация операторной панели	38
4 Испытания макетного образца фитосветильника	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	47
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	48
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Функциональная схема фитосветильника, структурная схема системы управления	49
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Чертеж корпуса фитосветильника	50
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) Код программы	51

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из наиболее актуальных задач современной светотехники и электроники является внедрение светодиодных технологий в процесс освещения тепличных хозяйств. Известно, что светодиодные фитооблучатели превосходят применяемые в настоящее время в теплицах натриевые лампы высокого давления по энергоэффективности и по возможности оптимизации спектральных характеристик для выращивания определённых видов растений. Основной причиной, замедляющей появление в тепличных хозяйствах светодиодных облучателей, является их высокая стоимость и, соответственно, большой срок окупаемости. Над снижением стоимости конечной продукции активно работают ведущие мировые и отечественные компании. Однако, срок окупаемости светодиодных систем освещения можно снизить путём повышения их энергоэффективности и снижения затрат на электроэнергию.

Для решения поставленной задачи необходимо учитывать особенности влияния освещения на процессы, протекающие в растениях, и стадию их онтогенеза. С целью полноценного роста и развития растения обязательно должны облучаться светом со строго заданным спектром излучения, имеющим ярко выраженные пики спектральной плотности интенсивности излучения в синей и красной области спектра. Пик спектральной плотности интенсивности излучения в синей области спектра приходится на длину волны 450 нм, в красной области — на 670 нм. Выпускаемые сейчас светодиодные фитооблучатели рассчитаны и спроектированы таким образом, что спектр их излучения не может регулироваться и корректироваться в процессе эксплуатации, и все их фитосветодиоды всегда работают в номинальном режиме. Однако, данный подход является не совсем рациональным применительно к тепличному освещению. Очевидно, что освещённость и спектральный состав света внутри теплицы формируется на основе естественного и искусственного освещения.

Интенсивность излучения в определённой области спектра естественного излучения постоянно изменяется в зависимости от времени суток, времени года,

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

погодных условий. На каждой стадии развития растения ему также требуется освещение, имеющее определённый спектральный состав и интенсивность излучения в разных областях спектра. Производители светодиодных фитооблучателей задают некий универсальный спектр излучения, условно подходящий для различных условий внешнего освещения и разных стадий онтогенеза растений. Применение подобных режимов приводит к завышенному потреблению электроэнергии. Таким образом, регулирование спектрального состава и спектральной плотности излучения в определённых областях спектра позволит экономить электроэнергию и увеличить ресурс фитооблучателя, замедлить процессы деградации светодиодов и смещения спектра излучения в область коротких длин волн.

Применение современных цифровых информационных технологий для реализации системы освещения позволит сделать её более многофункциональной, универсальной и ориентированной на пользователя. На основе подобного оборудования и программного обеспечения возможно реализовать самые сложные алгоритмы управления освещением, учитывающие все основные факторы световой среды, влияющие на процессы жизнедеятельности растений на каждой стадии их онтогенеза.

Таким образом, разработка энергоэффективных систем светодиодного освещения тепличных хозяйств, является актуальной задачей для агропромышленного комплекса России и современной светотехники.

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## 1 Обзор фитосветильников представленных на Российском рынке.

Системы освещения применяют в теплицах для круглогодичного или зимнего использования при выращивании светолюбивых овощей, ягод, рассады и цветов, поскольку без подсветки эти культуры не дадут хорошего урожая. Современные системы освещения теплиц все чаще реализуют на основе светодиодов, так как они экономичны, долговечны и позволяют регулировать спектр излучения и освещенность в широком диапазоне [1].

Рассмотрим основные модели светодиодных фитосветильников, выпускаемых светотехническими предприятиями Республики Мордовия и России. Отличительной особенностью данных светильников является строго заданный спектр их излучения с уклоном в синюю и красную области.

Специалистами ООО «ЛЮМЕН» (г. Саранск) разработана концепция облучателя Lumeon Agro для межрядковой досветки тепличных растений. Решение Lumeon Agro открывает новые возможности для энергоэффективной досветки тепличных культур (рисунок 1).

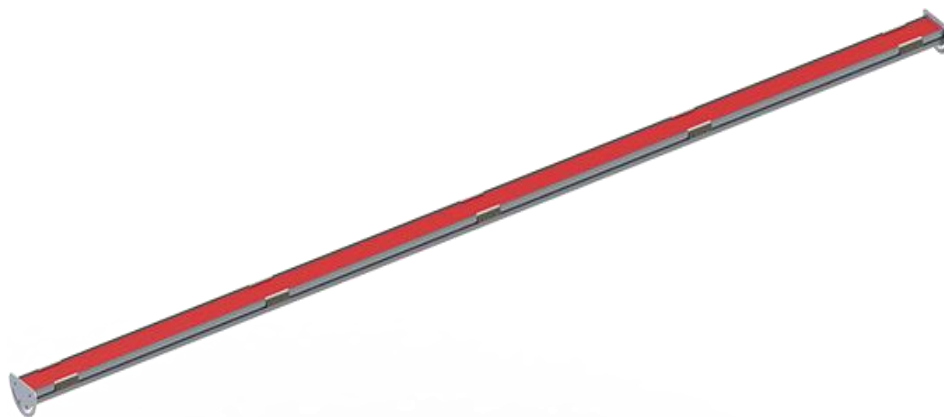


Рисунок 1 – Облучатель Lumeon Agro

Облучатели обладают уникальными спектральными и эксплуатационными характеристиками. Специалисты компании разработали уникальную люминофорную композицию с использованием квантовых точек, спектр излучения которых полностью соответствует спектру поглощения растений. Основное влияние на рост растения оказывает процесс фотосинтеза. Пигмент

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

хлорофилл, отвечающий за фотосинтез, имеет две основные области поглощения - синяя (400–500 нм) и красная (600–700 нм). В зеленой же области (500–600 нм) хлорофилл поглощает слабо. Облучатели Lumeon Agro основаны на синих светодиодах с пиком излучения около 460 нм, т.е. как раз в центре синей области поглощения хлорофилла. В облучателях Lumeon Agro применяется люминофор на основе квантовых точек, позволяющий достигать длин волн до 720 нм [2].

Также среди аналогов предлагаемого фитосветильника можно выделить продукцию компании «Эколайт» (г. Москва), которая выпускает профессиональные светодиодные фитолампы FITOLED (рисунок 2). В линейке продукции завода можно встретить лампы различной мощности от 20 Вт до 210 Вт, которые можно применять как в бытовых условиях, так и в различных теплицах [10].



Рисунок 2 – Светодиодная фитолампа FITOLED

Преимущества данных фитоламп, обозначенные производителем, характерны для любых светодиодных светильников: низкое энергопотребление, продолжительный срок службы до 30 лет (что вызывает огромные сомнения), экологичность. Соотношение фитодиодов во всех фитолампах 1/4: один синий и четыре красных. Данное соотношение, по заверениям производителя, даёт универсальный спектр излучения для цветов, зелени и овощей.

Компания ООО «Диод Систем» (г. Саранск) производит различные светодиодные светильники DS-Fitos, в том числе и фитосветильники мощностью от 20 Вт до 100 Вт (рисунок 3).



энергопотребление по причине отсутствия возможности регулирования спектра излучения на разных стадиях роста растений.

Еще одним аналогом является светильник компании Green LP модели RD-R. Светодиодный светильник модели RD-R предназначен для освещения растений в период высадки рассады в грунт до плодоношения. Используется для увеличения урожайности и скорости созревания плодов. Светильник располагается между рядами растений, досвечивает зону выращивания, в которой недостаточно света от верхнего освещения. Цвет свечения розовый. Применяется для досвечивания высокорослых растений (рисунок 5)



Рисунок 5 – Фитосветильник компании Green LP

В техническом описании светильников есть необходимая информация о соотношении синих и красных светодиодов. Технические характеристики представлены далее:

- Количество красных/синих/белых светодиодов составляет 70/23/7 в процентном соотношении
- Напряжение питания от 100-280 Вт
- Диапазон рабочих температур 0...+ 45 С
- Степень защиты IP 65
- Фотосинтетически активная радиация 320 мкмоль/м<sup>2</sup>
- Выходная мощность

Компания «RDM-Led» поставляет на рынок оборудования для теплиц ресурсосберегающие светодиодные фитооблучатели RDM-ПОБЕДА H200

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

ГИБРИД (рисунок 7) для искусственного освещения растений, а так же и другие фитосветильники.



Рисунок 6 – Фитосветильник RDM-ПОБЕДА H200 ГИБРИД компании RDM-Led

Данный светильник, как утверждает производитель, позволяет достичь экономии потребляемой электроэнергии на 25%. Но опять же, данный светильник сравнивается только с, уже устаревшими на сегодняшний день, лампами ДНаТ и ДРЛ, не учитывая продукцию других производителей светодиодных фитосветильников. При этом данный светильник имеет мощность 200 Вт.

Проведённый анализ показал, что на рынке существует достаточно большое количество фитосветильников. Основным их недостатком является отсутствие возможности регулирования спектра излучения. Таким образом, на протяжении всего периода жизнедеятельности растения световая среда и спектр излучения светильника остаются неизменными. В процессе роста растений им необходимо приблизительно одинаковое количество красного и синего света, а в процессе созревания плодов ему требуется гораздо больше красного света (соотношение может достигать от 4/1 до 8/1) [1].

Производители фитосветильников, зная данные соотношения, выпускают

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

источники света, в которых изначально количество красных светодиодов в несколько раз больше, чем синих. Делается это для того, чтобы не усложнять устройство светильника [5]. При этом в фазе роста растения энергия, которая затрачивается на формирование излишнего красного света, фактически расходуется впустую [6]. Так при мощности фитосветильника 100 Вт, потери мощности могут достигать до 30 Вт.

## 2 Разработка макетного образца светодиодного фитосветильника.

Система светодиодного освещения для теплиц должна отвечать следующим требованиям:

- два режима работы разной длительности;
- выходной ток драйверов до 700 мА;
- ток пульсации не более 5%;
- диапазон датчика освещенности 0...+10 В;
- мощность до 400 Вт;
- длина волны синих светодиодов 440 нм;
- длина волны красных светодиодов 660 нм;
- габариты корпуса от 1 м до 2 м;
- система управления: управление будет осуществляться с помощью контроллера, по аналоговому интерфейсу;

В данной работе ведется разработка фитосветильника для огурцов. Период набора зеленой массы для огурцов составляет 1 месяц, а период плодоношения 3 месяца. Весь цикл развития растения занимает 4 месяца.

Светильник должен осуществлять работу в два этапа. Первый этап работы длительностью 1/4 всего цикла развития растения, работают светодиодные линейки с красными и синими светодиодами соотношением 1 к 1; второй этап работы, занимающий 3/4 цикла развития растения, к линейкам с красными и синими светодиодами включаются линейки только с красными светодиодами.

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

## 2.1 Предлагаемый подход к созданию фитосветильника

Системы освещения применяют в теплицах для круглогодичного или зимнего использования при выращивании светолюбивых овощей, ягод, рассады и цветов, поскольку без подсветки эти культуры не дадут хорошего урожая. Растения наиболее восприимчивы к синему, оранжевому и красному диапазонам светового спектра, поскольку при воздействии волн этой длины процессы жизнедеятельности происходят наиболее интенсивно (рисунок 8). Пики восприятия — 445 нм и 660 нм. Зелёную и желтую части спектра растения практически не поглощают [4].

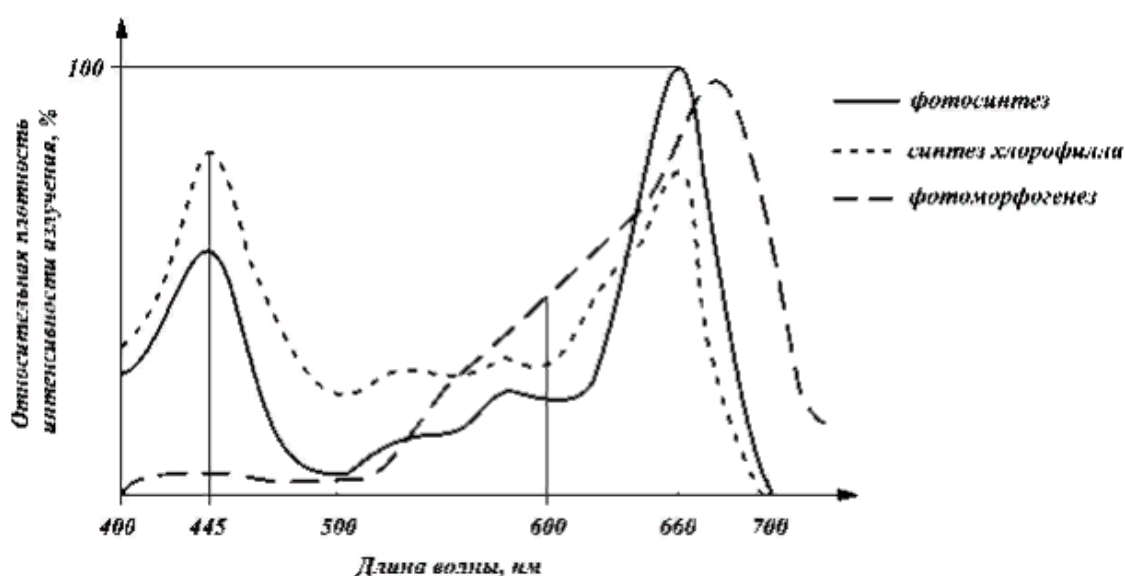


Рисунок 7 – Спектры поглощения света растениями при протекании различных процессов их жизнедеятельности

Из рисунка 7 видно, что спектры излучения, необходимые растению для протекания основных процессов его жизнедеятельности существенно различаются. Для осуществления процесса фотосинтеза интенсивность излучения в красной области спектра должна в два раза превышать интенсивность излучения в синей области. Синтез хлорофилла протекает при одинаковом соотношении интенсивностей излучения в синей и красной областях. Для оптимального протекания фотоморфогенеза требуется, главным образом, красный свет. Данные особенности растений следует учитывать при

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-02069964-12.03.01-12-19

Лист

14

разработке алгоритмов освещения теплиц, с целью обеспечения оптимального светового режима и минимального энергопотребления. Чтобы подсветка растений была эффективной, необходимо создать спектр света, близкий к дневному, а еще лучше — усилить интенсивность излучения в красной и синей частях спектра и для экономии исключить бесполезную желто-зелёную составляющую. Разрабатываемый фитооблучатель должен формировать спектр оптического излучения с ярко выраженными максимумами в области длин волн 450 нм (синяя область) и 660 нм (красная область).

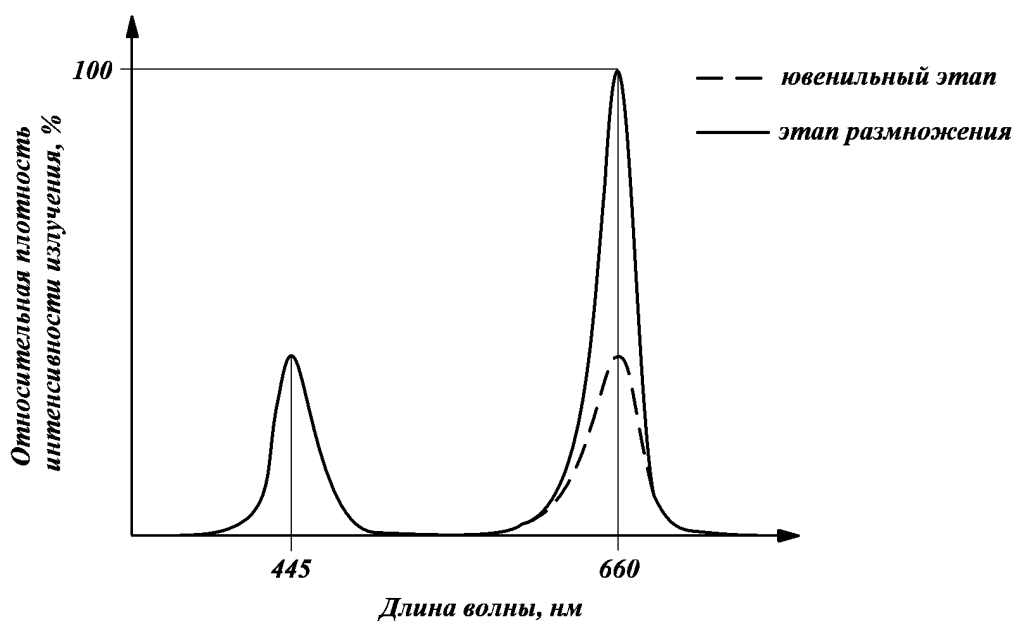


Рисунок 8 – Предлагаемый подход к созданию фитосветильника

Для разработки подобного облучателя с регулируемым спектром излучения в синей и красной областях было принято решение разделить синие и красные фитосветодиоды на две группы, каждую из которых запитать от отдельного драйвера, реализованного на основе регулируемого источника тока. Соотношение красных и синих светодиодов фитооблучателя в номинальном режиме работы выбрано 3:1. Таким образом, в первой группе содержатся одинаковое количество синих и красных светодиодов, а во второй группе находятся только красные светодиоды. Регулирование каждой группы осуществляется по аналоговому интерфейсу, что позволяет добиться любого



соотношения интенсивностей излучения в красной и синей областях спектра.

## 2.2 Разработка структурной схемы системы освещения для теплиц

На рисунке 9 представлена структурная схема предлагаемой системы освещения для теплиц. Для простоты понимания принцип работы системы описан на примере работы с одним фитооблучателем.

Система освещения для теплиц, представленная на рисунке 9, состоит из светодиодного фитооблучателя с регулируемым спектром излучения (СФ) и системы управления интенсивностью и спектральным составом излучения (СУ). Светодиодный фитооблучатель содержит две группы светодиодов (ГР1, ГР2), в одной из которых (ГР1) присутствуют красные, и синие светодиоды, в другой (ГР2) — только красные светодиоды. Каждая группа светодиодов фитооблучателя питается от отдельного регулируемого драйвера (ДР1, ДР2), реализованного на базе управляемого источника тока.

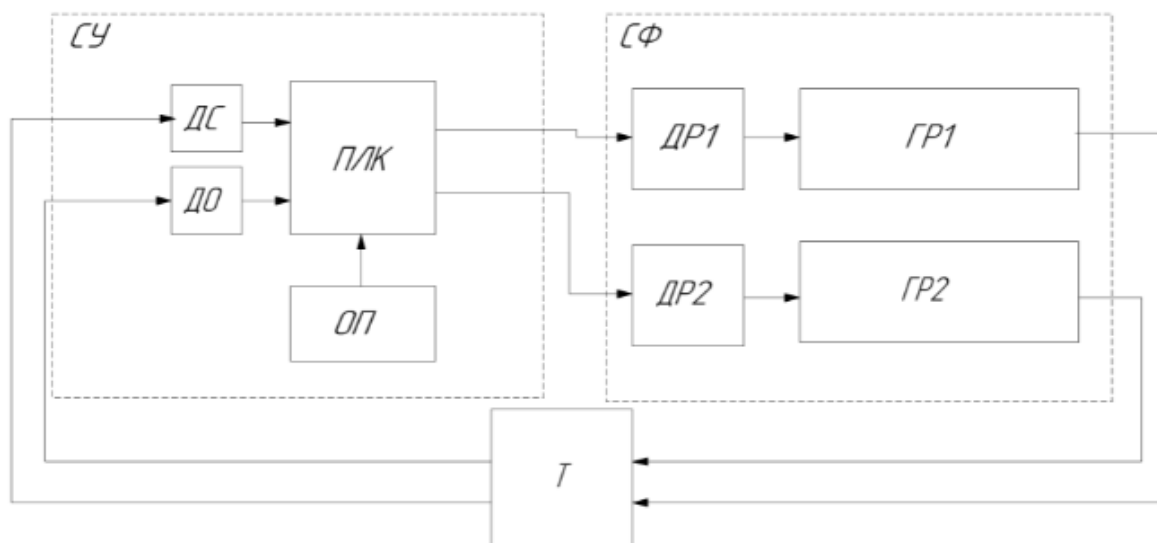


Рисунок 9 – Структурная схема системы освещения для теплиц

Система управления интенсивностью и спектральным составом излучения (СУ) состоит из программируемого логического контроллера (ПЛК), операторной панели (ОП), датчика спектра (ДС) и датчика освещенности (ДО).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-02069964-12.03.01-12-19

Лист

16

Логический контроллер задает алгоритм управления, а подключенная к нему операторная панель, обеспечивает процесс взаимодействия с пользователем, а так же для отображения и задания данных. Аналоговый сигнал с датчиков освещенности и спектра, содержащий информацию о величине освещенности в теплице (Т), интенсивности и спектральном составе излучения поступает на аналоговые входы программируемого логического контроллера. Контроллер в соответствии с рабочей программой, реализующей заданный алгоритм управления, принимает решение о формировании управляющих воздействий для каждой группы светодиодов, с целью поддержания заданных значений освещенности в теплице, интенсивности и спектрального состава излучения. Управляющие воздействия с аналоговых выходов контроллер передаются на управляющие входы регулируемых драйверов, которые изменяют значения тока, протекающего через светодиоды данной группы, что приводит к корректировке величин освещенности в теплице, интенсивности и спектрального состава излучения.

В фитооблучателе применяются красные и синие светодиоды, поскольку растения наиболее восприимчивы к синему, оранжевому и красному диапазонам светового спектра, так как при воздействии волн этой длины процессы фотосинтеза, синтеза хлорофилла и фотоморфогенеза происходят наиболее интенсивно. Подобные облучатели получили название «double peak», поскольку в спектре их излучения наблюдается два ярко выраженных пика спектральной плотности интенсивности излучения [3].

Применение управляемых драйверов для питания групп светодиодов обеспечивает плавное регулирование спектрального состава и интенсивности излучения фитооблучателя в пределах от 0 до 100 %. Управление работой драйвера осуществляется с помощью аналогового сигнала, поступающего из системы управления.

Разделение светодиодов на две группы с отдельным питанием введено с целью, формирования оптимальной световой среды для тепличных растений с учётом их видовых особенностей, фазы онтогенеза и условий естественного освещения, повышения энергоэффективности и надёжности системы освещения.

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

## 2.3 Разработка функциональной схемы фитосветильника

Для формирования оптимальной световой среды для тепличных растений было принято решение разделить светодиоды на две группы с отдельным питанием. Поэтому функциональная схема макетного образца фитооблучателя имеет следующий вид (рисунок 10).

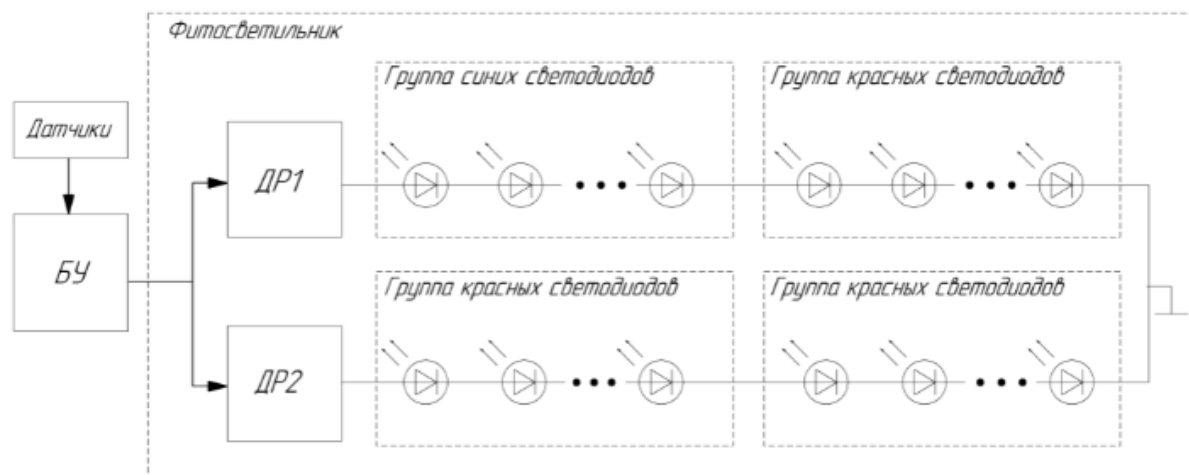


Рисунок 10 – Функциональная схема макетного образца фитооблучателя

На рисунке 10 введены следующие обозначения: БУ — блок управления; ДР1 — драйвер №1, ДР2 — драйвер №2. Принцип действия фитооблучателя с регулируемым спектром излучения заключается в следующем. Каждая группа светодиодов управляется от отдельного драйвера, задающего ток, протекающий через светодиоды и, соответственно, интенсивность их излучения. В блоке управления (БУ) содержится информация об оптимальном спектре излучения облучателя на определённой стадии онтогенеза, поступает информация с датчиков об условиях внешнего освещения. На основе совокупности полученной информации БУ регулирует выходной ток драйверов таким образом, чтобы сформировать оптимальный спектр излучения и поддерживать его во времени с учётом условий внешнего освещения. Количество фитосветодиодов определённой длины волны в каждой группе будет определяться величиной интенсивности излучения в данной спектральной области облучателя, которая будет зависеть от

его мощности.

Максимальная мощность разрабатываемого макетного образца фитооблучателя составит 400 Вт, что позволит подобрать в процессе проведения эксперимента по выращиванию растений оптимальные значения интенсивности излучения на каждой длине волны и сделать выводы по поводу его оптимального пространственного расположения.

## 2.4 Разработка конструкции светодиодного фитосветильника

Предполагаемая длина разрабатываемого фитооблучателя составляет 1,5 метра. Для крепления фитосветодиодов выбраны линейки на алюминиевой основе (для лучшего охлаждения) длиной 45 см, на каждую из которых возможно закрепить до 18 светодиодов (рисунок 11).



Рисунок 11 – Светодиодная линейка

Исходя из данной информации и результатов расчёта принято решение запаивать на одну линейку по 12 светодиодов, делая пропуск через каждые два светодиода, что позволит наиболее равномерно распределить светодиоды по длине облучателя. Таким образом, драйвер способен запитать 6 подобных линеек с общим количеством красных фитосветодиодов, равным 72 шт. Предполагается, что светодиодные линейки будут расположены с боковых сторон фитооблучателя по 3 шт. с каждой.

В процессе разработки фитооблучателя были выбраны фитосветодиоды KRTLLED, т. к. их параметры наиболее подходят под поставленную задачу. Эти светодиоды имеют ярко выраженные пики на длинах волн 450 нм для синих светодиодов и 660 нм для красных светодиодов. На рисунке 12 представлены

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19





солнечному свету). Датчик предназначен для регулирования освещения с учетом дневного света для управления осветительными установками. Ниже в таблице 3 приведены параметры датчика.

Таблица 3 — Параметры датчика ДНКФ U.

Напряжение питания	15...36 В для варианта U
Потребляемая мощность	< 1 Вт при 24 В
Тип выходного сигнала	0...10 В
Диапазон рабочих температур	-30...70 °С
Погрешность измерения	< 5% верхнего предельного значения
Размеры корпуса	72x64x37,8 мм
Степень защиты корпуса	IP65

На рисунке 15 представлена характеристическая кривая, которая показывает чувствительность датчика (SENSOR) в зависимости от длины волны светового излучения. Штриховой линией на рисунке 15 показана светочувствительность человеческого глаза.

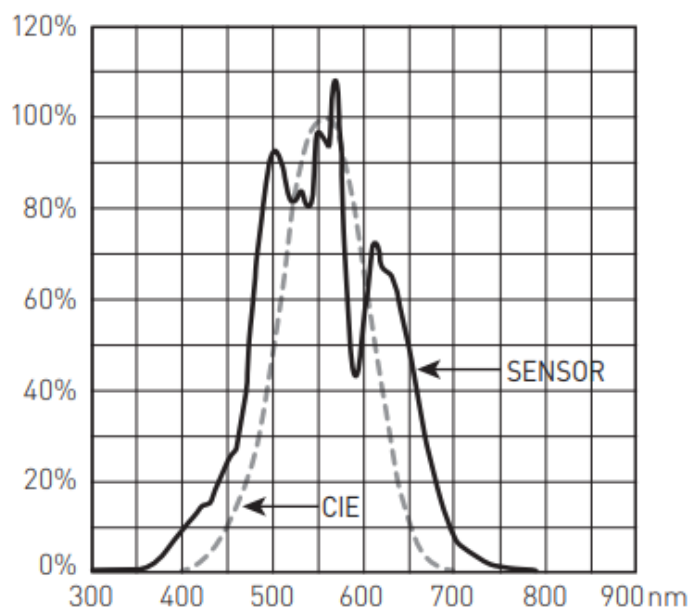


Рисунок 15 - Зависимость чувствительности датчика от длины волны светового излучения

Охлаждение светодиодов осуществляется с помощью металлического корпуса-радиатора, что позволяет поддерживать наиболее благоприятный тепловой режим их работы. Применение металлической конструкции позволяет существенно повысить надёжность и прочность фитооблучателя [6, 7].

Облучатель располагается горизонтально относительно поверхности грунта, поскольку в данном случае удастся добиться оптимального количества осветительных приборов на единицу площади теплицы с учетом возможного межрядного расстояния и расстояния между растениями в одном ряду. Высота подвеса фитооблучателя относительно грунта не регулируется в процессе эксплуатации, однако, может изменяться на стадии проектирования или монтажа системы освещения теплицы с целью формирования наиболее благоприятной световой среды для растений и оптимизации работы технического оборудования.

Наиболее оптимальной конструкцией фитооблучателя является решение, представленное на рисунке, когда светодиодные линейки располагаются по боковым сторонам алюминиевого корпуса. В результате проведённого 3D-моделирования была разработана конструкция макетного образца фитооблучателя. Она представлена на рисунке 16.

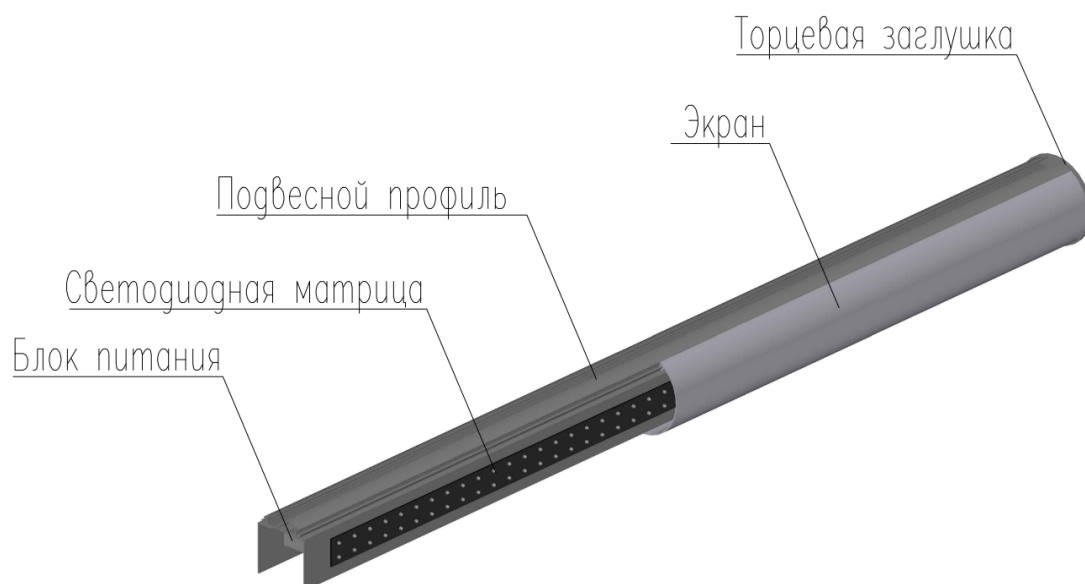


Рисунок 16 — 3D-модель макетного образца фитооблучателя



Конструкция макетного образца фитооблучателя состоит из следующих элементов: подвесной профиль, экран, торцевая заглушка, светодиодная матрица, блок питания. Проведённое 3D-моделирование позволило определить оптимальное сочетание размеров и элементов конструкции, представленной на рисунке 16. Кроме того, на основе результатов моделирования было принято решение использовать круглый рассеиватель для защиты светодиодной матрицы от различных внешних воздействий и равномерного распределения в пространстве оптического излучения от макетного образца фитооблучателя.

Для реализации концепции, полученной в результате 3D-моделирования, был изготовлен алюминиевый корпус с круглым рассеивателем. Внешний вид корпуса макетного образца фитооблучателя без рассеивателя с различных ракурсов представлен на рисунке 18.



а)



б)

Рисунок 18 – Внешний вид корпуса макетного образца фитооблучателя без рассеивателя





3 аналоговые вход AI — dat — сигнал с датчика освещённости;

4 аналоговые выходы:

4.1 AO1 — lin1 — светодиодная линейка с красными и синими светодиодами;

4.2 AO2 — lin2 — светодиодная линейка с красными светодиодами.

Для выполнения технического задания не требуется высокого быстродействия ПЛК, так как процесс управления светодиодным фитосветильником является медленно протекающим процессом. Оптимальный выбор контроллера для конкретной задачи основан на соответствии функциональных характеристик контроллера решаемой задаче и его минимальной стоимости. Исходя из финансовых соображений, внимание было обращено на продукцию компании ОВЕН. Эта российская компания имеет широкий модельный ряд выпускаемых контроллеров. Из представленных в каталоге на сайте фирмы ОВЕН устройств выбрали программируемый логический контроллер ПЛК150 [11], который с минимальной избыточностью покрывает необходимый нам функционал. Внешний вид ОВЕН ПЛК150 представлен на рисунке 22.



Рисунок 22 – Внешний вид ОВЕН ПЛК150

### 3.2 Описание программы

Прежде чем реализовать программу опишем её принцип работы. При разработке алгоритма учитывалось, что программа ПЛК должна выполняться циклически.

При нажатии кнопки «Пуск» (переменная *pusk*) начинается работа светодиодного фитооблучателя. Для фиксирования нажатия для продолжения работы введем локальную переменную *start*, которая устанавливается в 1 при нажатии кнопки «Пуск» и сбрасывается, когда отсчитанное количество дней будет равно времени рабочего цикла или когда будет нажата кнопка «Стоп» (переменная *stop*).

Если было произведено нажатие кнопки «Пуск», то начинается отсчет часов с момента начала включения. Введем еще одну локальную энергонезависимую переменную *vrema*, в которую записывается количество проработанных суток, то есть, когда количество отсчитанных часов с момента начала работы достигает 24, количество проработанных суток увеличивается на единицу.

Работа системы управления осуществляется в два этапа. Для того чтобы реализовать данный принцип работы системы управления введем локальную переменную *chast*, равную четвертой части рабочего цикла. Пока количество пройденных дней (локальная переменная *vrema*) менее четверти рабочего цикла (локальная переменная *chast*), то реализуется первый этап, если больше то второй этап.

На первом этапе рабочего цикла, включена только первая светодиодная линейка красно-синего цвета. Для регулирования светового потока линейки используется напряжение, формируемое на первом аналоговом выходе контроллера.

На втором этапе, который занимает оставшуюся часть рабочего цикла, включены обе светодиодные линейки. Для регулирования светового потока

первой линейки красно-синего цвета используется аналоговый выход 1 контроллера, второй линейки красного цвета — аналоговый выход 2.

Если время рабочего цикла фитооблучателя равно отсчитанному времени (энергонезависимая переменная *vrmtuа*), то работа фитооблучателя приостанавливается (ни одна светодиодная линейка не работает) обнуляется счетчик количества пройденных дней, происходит сброс локальной переменной *start*.

### 3.3 Конфигурация ПЛК

Проект создавался в среде программирования CoDeSys.

В данной среде программирования сначала соотносятся названия переменных и входы и выходы контроллера. Соответствие всех аналоговых и цифровых входов и выходов с именами переменных ПЛК представлено во второй главе. На рисунке 23 представлена конфигурация контроллера.

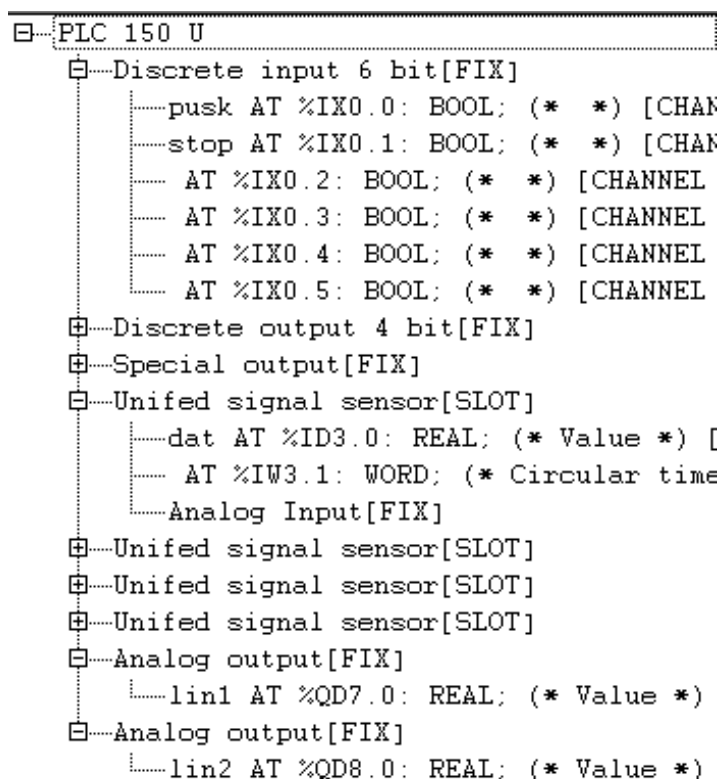


Рисунок 23 – Конфигурация ПЛК

На рисунке 24 представлены сетевые переменные, определенные в соответствии с функциональной схемой, где:

- *chas* — количество часов реального времени;
- *minuta* — количество минут реального времени;
- *ostdni* — оставшееся время работы;
- *vremyacicle* — длительность цикла;
- *odna4ya* — длительность первой части цикла;
- *tri4yh* — длительность второй части цикла;
- *dni* — время, прошедшее с начала работы;
- *predpls* — верхний предел для входного напряжения;
- *predmin* — нижний предел для входного напряжения;
- *prirash* — шаг приращения напряжения.

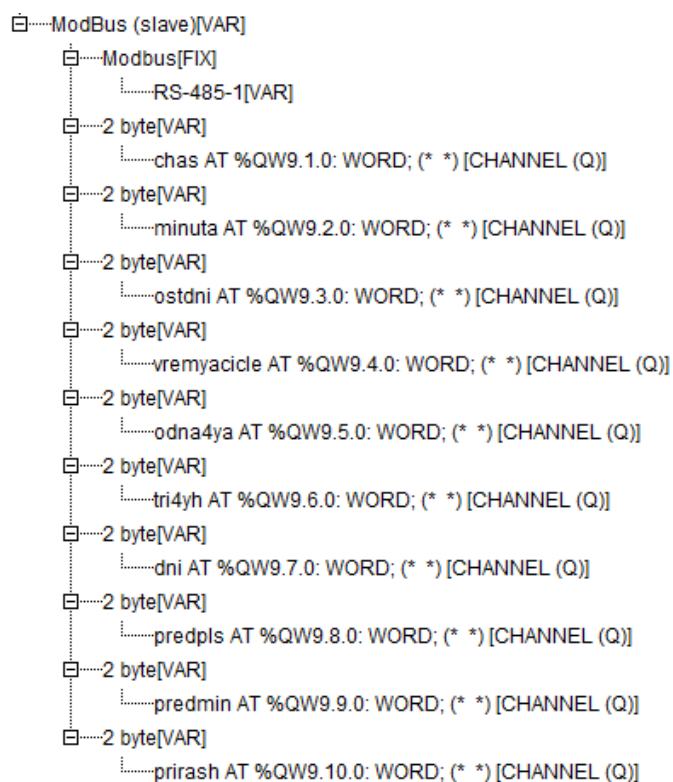


Рисунок 24 – Конфигурация ПЛК с сетевыми переменными

Для информационного обмена ПЛК с панелью необходимо настроить параметры сети. ПЛК и операторная панель подключаются к сети по интерфейсу

















Исходя из эскиза, изображенного на рисунке 36, выберем операторную панель с дисплеем, способным разместить 3 строки. Так же ОП должна поддерживать работу в сети по протоколу Modbus RTU с интерфейсом RS-485. Исходя из требований к операторной панели, была выбрана панель с минимальной функциональной избыточностью ОВЕН ИП320. Графическая панель оператора ОВЕН ИП320 [12] отлично подходит, по соотношению цены и функциональных возможностей, для данного проекта. Она выпускается в щитовом корпусе 172x94x30 мм, имеет монохромный графический ЖК-дисплей с подсветкой и разрешением 192x64 пикселей.

Отладка и настройка операторной панели была произведена в программе «Конфигуратор ИП320».

Структура экрана операторной панели определена согласно эскизу, который изображен на рисунке 36.

На главном экране отображаются: время работы, оставшееся время работы и часы и минуты реального времени.

С помощью программы «Конфигуратор ИП320» проведем настройку параметров соединения панели для подключения к контроллеру. Окно настроек представлено на рисунке 37.

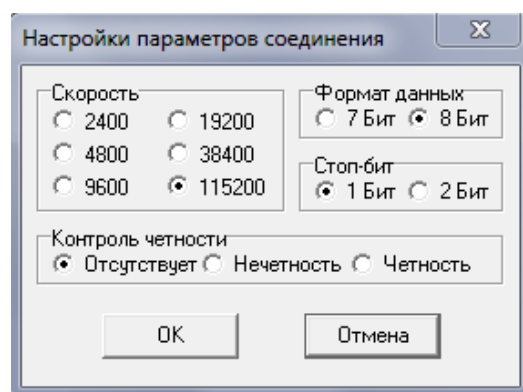


Рисунок 37 – Окно настроек параметров соединения

Выполним настройки, в соответствии с теми параметрами сети, которые мы определили через конфигурацию ПЛК для интерфейса RS-485 (рисунок 23). Далее создадим экран. На главном экране (рисунок 38) будут размещены время







#### 4 Испытания макетного образца фитосветильника

С целью проверки правильности работы макетного образца светодиодного облучателя было проведено его испытание.

Результаты измерения параметров макетного образца совпали с результатами расчётов. Мощность, выделяющаяся на светодиодах первой группы составила 126 Вт, второй группы — 151,2 Вт, полная мощность, потребляемая фитосветодиодами, равна 277,2 Вт. Испытание образца в номинальном режиме в течение 1 часа работы показало стабильность тепловых режимов драйверов и светодиодов.

Для измерения спектра излучения светодиодных фитосветильников будет применяться установка фотокolorиметрическая измерительная (свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.E.37.003.A NG 64752). Установка предназначена для измерения светового потока; коррелированной цветовой температуры; координат цветности в системах XYZ (1931), uv (1960), u'v' (1976). Принцип действия установки основан на определении значений энергетических, фотометрических и колориметрических величин посредством измерения абсолютной спектральной плотности излучения в диапазоне от 360 нм до 1100 нм с последующим вычислением. Определение коррелированной цветовой температуры осуществляется автоматически с помощью программного обеспечения поставляемого с установкой. Установка состоит из интегрирующей сферы OL IS-7600, многоканального спектрорадиометра OL 770 VIS/NIR, вспомогательной лампы aux lamp A180 с источником питания OL410-200. Интегрирующая сфера OL IS-7600 представляет собой алюминиевую сферу диаметром 1950 мм, состоящую из двух отдельных полушарий, двух портов выхода, дополнительного порта лампы, и внутреннего крепления патрона лампы. Оба полушария легко разъединяются для облегчения установки и замены лампы или частей крепежа. Диаметр сферы позволяет измерять светильники до 1800 мм в длину с максимальной мощностью 200000 люмен. Один из портов выхода с помощью оптоволоконного кабеля соединён с входной щелью многоканального спектрорадиометра OL 770 VIS/NIR. Свет падающий на внутреннюю стенку

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

шара по оптоволоконному кабелю попадает на входную щель спектрорадиометра. Далее свет падает на вогнутую дифракционную решётку, выполняющую две функции: разложить свет на монохроматические составляющие и сфокусировать его на ПЗС — матрицу. После отражения света от решётки каждая монохроматическая составляющая падает на определенный для неё участок ПЗС — матрицы. Перед выходным отверстием сферы, а также перед вспомогательной лампой внутри сферы установлены защитные экраны, позволяющие исключить попадание любого прямого излучения. В сфере предусмотрена система охлаждения для фотометрирования мощных источников света и светильников, выделяющих много тепла. Внутренняя поверхность и перегородки каждого полушария покрыты высококачественным отражающим материалом.

Управляется макетный образец фитооблучателя по двум аналоговым каналам, напряжения каждого из которых может регулироваться в диапазоне от 0 В до 10 В. Для регулирования тока соответствующего драйвера и, соответственно, интенсивности излучения группы светодиодов, применяются регулируемые источники постоянного напряжения, позволяющие по значению вольтметра выставлять вручную заданное значение управляющего воздействия. Ручное регулирование применяется с целью упрощения процесса проведения испытания. В дальнейшем для регулирования спектрального состава излучения планируется применять промышленный контроллер, поддерживающий режимы управления как по аналоговому, так и по цифровому интерфейсу..

В процессе испытания фитооблучателя проведено исследование трёх режимов его работы:

- 1) режим, в котором на оба управляющих канала подаётся напряжение 1 В;
- 2) режим, в котором на оба управляющих канала подаётся напряжение 5 В;
- 3) режим, в котором на оба управляющих канала подаётся напряжение 10 В.

Рассмотрим результаты испытания макетного образца фитооблучателя в первом режиме его работы. На рисунке 41 представлен спектр излучения макетного образца облучателя в режиме №1.

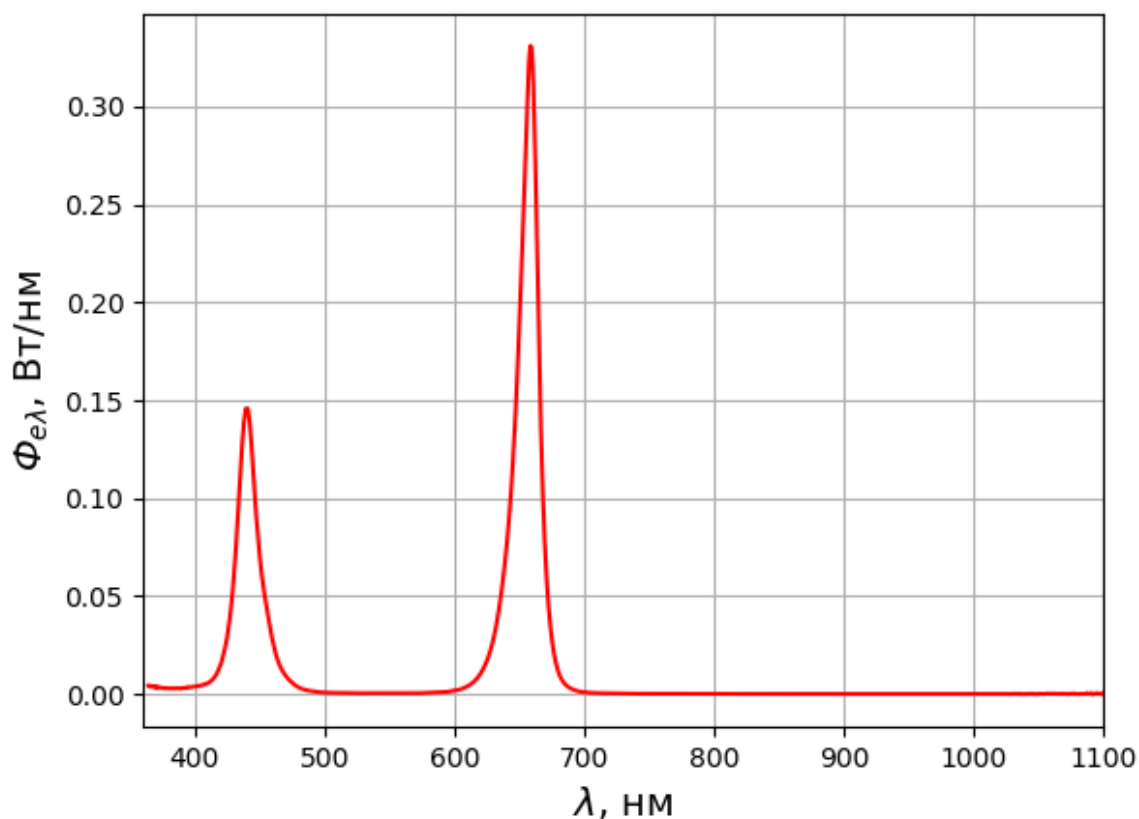


Рисунок 42 – Спектр излучения макетного образца облучателя при управляющем напряжении 1 В

Из рисунка 42 видно, что в спектре излучения макетного образца фитооблучателя присутствуют два явно выраженных пика, соответствующих длинам волн 450 нм и 660 нм. Спектральная плотность энергетического потока на длине волны 450 нм составила 149 мВт/нм, на длине волны 660 нм — 330 мВт/нм. Спектральная плотность энергетического потока на длинах волн от 500 нм до 600 нм и выше 700 нм (инфракрасное излучение) равна нулю. Данный спектр излучения позволяет добиться максимальной энергоэффективности облучателя. В данном режиме работы облучателя соотношение красной и синей составляющих в спектре излучения приближается к 2:1. Подобный режим может применяться на этапе размножения растений, когда для развития и созревания плодов им требуется больше красного света.

На рисунке 43 изображён спектр излучения макетного образца облучателя в режиме №2, когда на оба управляющих канала подаётся напряжение 5 В.

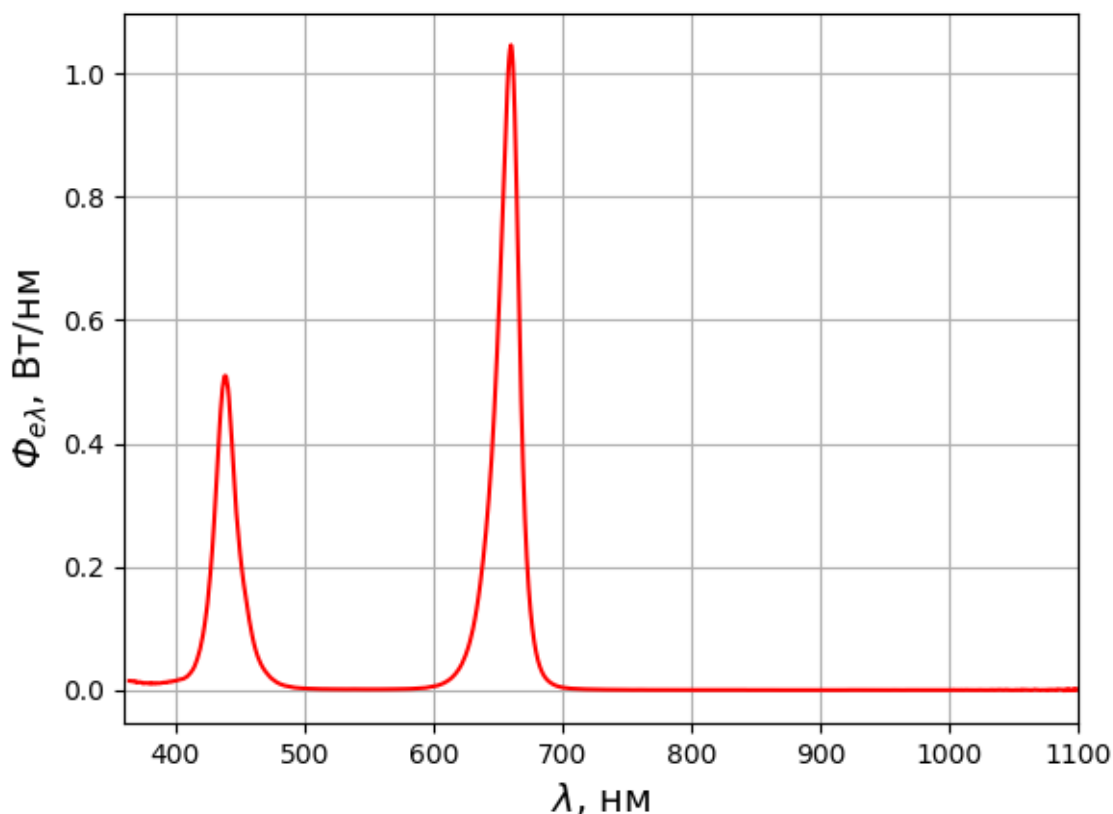


Рисунок 43 – Спектр излучения макетного образца облучателя при управляющем напряжении 5 В

При увеличении управляющего напряжения до 5 В спектральная плотность энергетического потока на длине волны 450 нм увеличилась до 500 мВт/нм, на длине волны 660 нм — до 1040 мВт/нм. Спектральная плотность энергетического потока на длинах волн от 500 нм до 600 нм и выше 700 нм (инфракрасное излучение) остаётся равной нулю для обеспечения максимальной энергоэффективности облучателя. Кроме того, в данном режиме работы облучателя соотношение красной и синей составляющих в спектре излучения сохраняется на уровне 2:1, что свидетельствует о линейности регулировочной характеристики облучателя.

На рисунке 44 показан спектр излучения макетного образца облучателя в режиме №3, когда на оба управляющих канала подаётся напряжение 10 В.

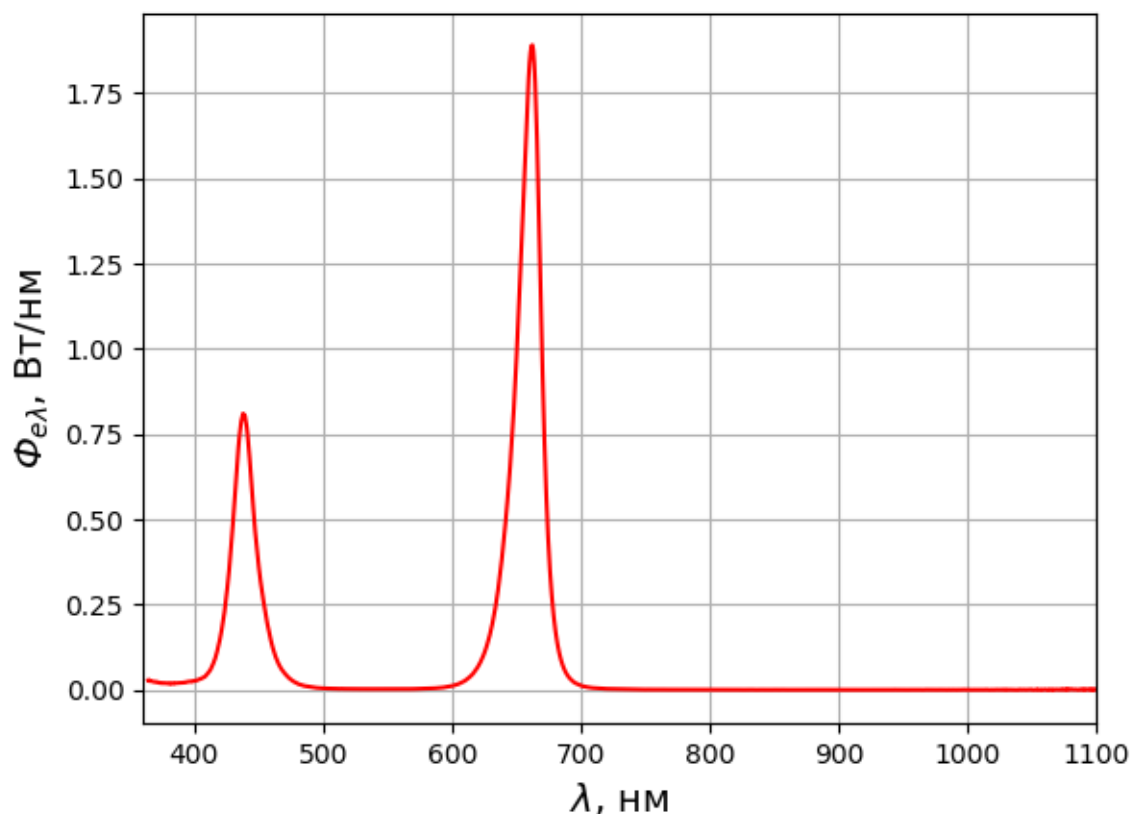


Рисунок 44 – Спектр излучения макетного образца облучателя при управляющем напряжении 10 В

Из рисунков 42–44 видно, что наблюдается практически линейная зависимость между величиной управляющего напряжения и спектральной плотностью энергетического потока облучателя на основных длинах волн, равных 450 нм и 660 нм. Максимальная спектральная плотность энергетического потока на длине волны 450 нм изменяется от 149 мВт/нм до 800 мВт/нм; на длине волны 660 нм — от 330 мВт/нм до 1850 мВт/нм.

Таким образом, результаты испытания подтвердили адекватность применяемых подходов, что позволяет применять их для разработки макетного образца облучателя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы было проведено исследование российского рынка для поиска существующих аналогов разработанного фитооблучателя, который показал что существующие на данный момент фитосветильники имеют существенный недостаток — отсутствие возможности регулирования спектра излучения. Таким образом, на протяжении всего периода жизнедеятельности растения световая среда и спектр излучения светильника остаются неизменными. Однако, в процессе роста растений им необходимо приблизительно одинаковое количество красного и синего света, а в процессе созревания плодов ему требуется гораздо больше красного света. Разработанный фитосветильник позволяет на разных стадиях роста растения задавать необходимый спектральный состав, что в свою очередь приведет к увеличению урожайности растения и экономии электроэнергии не только в сравнении с лампами ДНаТ и ДРЛ, но и существующими на данный момент светодиодными фитосветильниками.

Разработано программное обеспечение для системы управления светодиодным фитооблучателем, которое позволит работать фитосветильнику в два этапа разной длительности, при этом имея операторную панель, подключенную к программируемому логическому контролеру, есть возможность задавать необходимые нам параметры.

Проведенные испытания разработанного макетного образца, показали, что при изменении управляющего напряжения сохраняется практически линейная зависимость между величиной управляющего напряжения и спектральной плотностью энергетического потока облучателя на основных длинах волн, равных 450 нм и 660 нм. Это подтверждает адекватность применяемых методов и подходов в создании светодиодного фитооблучателя.

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Prikupets L.B. LED and HPS luminaires in Russian greenhouses // L. B. Prikupets, V.G. Terehov, I.G. Tarakanov Lux Europa 2017, Ljubljana, Slovenia, 2017, pp. 18–20/

2. Прикупец Л.Б. Использование облучателей на основе светодиодов для светокультуры салата: экономический аспект / Л. Б. Прикупец, А.А. Емелин Теплицы // России. – 2013. – № 3. – С. 66–68.

3. Прикупец Л.Б. Технологическое освещение в агропромышленном комплексе России. / Л.Б. Прикупец // Светотехника. – 2017, № 6. – С. 6–14.

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

5. ПАТЕНТ 2680590 РФ, МПК А01G 9/20 (2006.01). Система светодиодного освещения теплиц / С. С. Капитонов (RU), С. Ю. Григорович (RU), С. А. Медведев (RU). – № 2018119435; заявлено 25.05.2018; опубл. 22.02.2019, Бюл. № 6..

6. Bespalov N.N. Research of processes in the LEDs luminaire in case of the voltage temperature coefficient of separate LEDs variation. // N. N. Bespalov, S.S. Kapitonov, A.V. Kapitonova / Light & Engineering, – 2016; no. 4:pp. 72–75.

7. Bespalov N.N. Testing equipment for LED luminaire control devices and fluorescent lamp electron ballasts. // N. N. Bespalov, M.V. Ilyin, S.S. Kapitonov Light & Engineering, 2017, V. 25, no. 4, pp. 86–91.

8. Фитосветильник DS-FITO 100A [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://diode-system.com/fito/>.

9. Светодиодная фитолампа FITOLED [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fitoled.pro/>.

10. ПЛК150 контроллер для малых систем автоматизации с AI/DI/DO/AO // ОВЕН - регуляторы, измерители, контроллеры, датчики. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.owen.ru/product/plk150>.

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47



11. ИП320 графическая монохромная панель // ОВЕН - регуляторы, измерители, контроллеры, датчики. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.owen.ru/product/ip320>.

12. Шишов О. В. Современные технологии промышленной автоматизации. / О. В. Шишов – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 276 с.

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**(обязательное)**

**Функциональная схема фитосветильника, структурная схема системы  
управления**

					БР-02069964-12.03.01-12-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**(обязательное)**

**Чертеж корпуса фитосветильника**

					<i>БР-02069964-12.03.01-12-19</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>50</i>

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

## Листинг программы

