

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»



На правах рукописи

**Туранов Сергей Борисович**

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ АДАПТИВНАЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ  
СИСТЕМА ОБЛУЧЕНИЯ**

Специальность 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и  
комплексы

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
к.ф.-м.н Яковлев А.Н.

Томск  
2019

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СИСТЕМ ОБЛУЧЕНИЯ.....	11
1.1 Сравнительный анализ источников излучения .....	12
1.2 Системы интеллектуального управления освещением.....	16
1.3 Анализ результатов патентных исследований.....	17
1.4 Анализ результатов маркетинговых исследований .....	18
1.4.1 Современные светодиодные системы облучения растений .....	20
1.4.2 Светодиоды для облучения растений .....	25
1.5. Выводы по главе 1 .....	28
2 МЕТОДИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
.....	30
2.1 Конструкция исследовательской установки .....	30
2.2 Обоснование выбора модельного объекта для экспериментов .....	34
2.3 Методика расчета спектрально - энергетических характеристик	
исследовательской установки «Фитотрон».....	37
2.4 Анализ и выбор спектральных режимов для экспериментов .....	42
2.5 Обсуждение результатов экспериментов .....	48
2.6 Выводы по главе 2 .....	53
3 НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ	
АДАПТИВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ .....	54
3.1 Обоснование и выбор параметров и характеристик системы облучения.....	55
3.1.1 Выбор оптимального состава и номинала светодиодов для	
разрабатываемой адаптивной системы.....	56
3.1.2 Выбор конструкции оптического прибора.....	58
3.1.3 Расчет распределения силы излучения.....	61
3.1.4 Расчет оптической системы .....	62

3.1.5 Разработка оптимального корпуса .....	64
3.1.6 Уменьшение потерь света через стенки теплицы за счет предотвращения отражения излучения от поверхности листьев растений .....	66
3.2 Обоснование и выбор параметров и характеристик системы управления и мониторинга .....	70
3.2.1 Исследование зависимости параметров естественной облученности как функции времени .....	70
3.2.2 Разработка системы управления, мониторинга и обратной связи.....	75
3.2.2.1 Обзор существующих решений. DMX512 .....	75
3.2.2.2 0-10 В.....	77
3.2.2.3 ШИМ (PWM).....	77
3.2.2.4 DALI .....	79
3.2.2.5 Моделирование системы управления ШИМ (PWM) сигналом. ....	80
3.2.2.6 Моделирование системы освещения диммируемой интерфейсом DALI .....	85
3.2.2.7 Моделирование комбинированной системы освещения с преобразователем DALI – ШИМ.....	89
3.2.2.8 Расчет экономической эффективности системы мониторинга и обратной связи.....	92
3.2.2.9 Методы построения обратной связи с облучаемым объектом.....	97
3.2.2.10 Методика измерения спектров комбинационного рассеяния .....	99
3.3 Обоснование и выбор параметров и характеристик базы данных эффективных режимов облучения .....	104
3.4 Методика оценки эффективности облучательных установок для закрытого грунта в области ФАР.....	105
3.4.1 Методика расчета спектральных, энергетических и квантовых характеристик облучательных установок для теплиц .....	107

3.5 Выводы по главе 3 .....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИИ.....	110
Список использованных источников .....	112

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность работы.** В настоящее время, одной из самых перспективных задач современной науки и техники, является разработка и внедрение ресурсоэффективных технологий (согласно майских указов 2018 года Президента РФ Путина В.В.), уменьшающих потребление электроэнергии и повышающих производительность промышленных предприятий. С этой точки зрения разработка энергоэффективных, безопасных и универсальных оптических и оптико-электронных приборов и систем облучения является особенно актуальной задачей, так как на освещение затрачивается около 20% всей потребляемой электроэнергии в мире (по данным Международного энергетического агентства). Актуальность данных вопросов подтверждается решениями Правительства Российской Федерации, а также технологическими платформами и приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники:

- Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;

- Национальная технологическая инициатива;

- Приоритетное направление развития науки, технологий и техники Российской Федерации («Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика»);

- Перечень критических технологий Российской Федерации («Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств»);

- Технологическая платформа «Развитие российских светодиодных технологий»;

Одним из возможных направлений для решения задач энергосбережения является создание приборов, которые позволяли бы осуществлять облучение объектов только тем количеством излучения и с тем заданным качеством (спектром), которые необходимы в данный момент и наиболее эффективны. При этом важно учитывать уровень солнечной радиации и облученность, создаваемую

другими оптическими приборами и адаптировать (т.е. подстраивать) параметры облучательной установки в каждый момент времени, согласно полученным данным. С этой точки зрения, на сегодняшний день, для снижения энергозатрат рекомендуется применение полупроводниковых технологий, которые позволяют достаточно просто создавать оптимальный спектральный состав и интенсивность излучения и гибко управлять указанными параметрами. Но, не смотря на активное развитие полупроводниковых технологий, до сих пор не сформированы научно-технические подходы к созданию эффективных оптических и оптико-электронных систем облучения на основе светодиодов.

**Цель работы** - разработка универсальной энергоэффективной адаптивной оптико-электронной системы облучения.

**Задачи** диссертационного исследования:

- разработать методику построения адаптивной оптико – электронной системы облучения;
- изучить возможные способы управления параметрами облучения и на основе полученных данных разработать систему мониторинга, обратной связи и управления адаптивной оптико – электронной системой облучения;
- обосновать выбор параметров и характеристик адаптивной оптико – электронной системы облучения и разработать технические требования к ней;
- проанализировать эффективность применения адаптивности облучения.
- разработать исследовательский комплекс, позволяющий моделировать необходимые спектрально-энергетические параметры облучения;

**Научная новизна.**

1) Разработаны научно-технические основы проектирования энергоэффективных адаптивных оптико-электронных систем облучения обеспечивающих оптимальное по спектру и достаточное по потоку излучение с учетом следующих параметров: тип облучаемого объекта, время года, время суток, температура, влажность, координаты местоположения облучаемого объекта, спектральный состав и уровень естественной облученности.

2) Разработан оптический прибор, состоящий из симметричных светодиодных модулей, с использованием двух цилиндрических зеркальных отражателей в каждом модуле, позволяющий создавать равномерное облучение в перпендикулярном к оси оптического прибора направлении и обеспечивающий эффективный теплоотвод.

3) Разработана распределенная автоматическая масштабируемая система управления параметрами оптических приборов на основе использования интерфейса DALI и широтно-импульсной модуляции, позволяющая в 2,4 раза уменьшить потребление электрической энергии облучательными установками за счет управления, адаптации и оптимизации параметров облучения по сравнению с традиционными неуправляемыми системами облучения.

4) Предложен способ равномерного облучения вертикально расположенных объектов, позволяющий на 15-20% снизить потребление электрической энергии облучательными установками за счет оптимизации распределения облученности и снижения потерь на отражение от облучаемых объектов.

#### **Теоретическая значимость.**

1. Предложены научно-технические основы проектирования модульных энергоэффективных адаптивных систем облучения.

2. Предложен алгоритм расчета фотосинтетического фотонного потока, создаваемого оптическими приборами на заданной поверхности.

3. Показана возможность неинвазивного изучения биологических объектов и получения данных по их возрасту и составу на основе Рамановской спектроскопии.

#### **Практическая значимость и внедрение результатов.**

1. Научные и практические результаты работы использованы в АО «НИИПП» для организации сборочной линии и выпуска адаптивных оптико-электронных систем облучения, что подтверждено соответствующим актом.

2. Разработано программное обеспечение для расчета спектральных, энергетических и фито-характеристик облучательных установок. Данное

программное обеспечение используется предприятием ООО «ФоТом», что подтверждено соответствующим актом.

3. Разработано техническое предложение на разработку энергоэффективных адаптивных светодиодных облучательных систем для закрытого грунта, которое используется предприятием ООО «Технологии Сибири» для изготовления тепличных облучательных установок, что подтверждено соответствующим актом.

4. Предложена методика оценки эффективности облучательных установок для закрытого грунта, которая используется предприятием ООО «Том Тэкс» для проведения энергоаудита своих тепличных комплексов, что подтверждено соответствующим актом.

5. Результаты диссертационного исследования использованы в образовательном процессе Отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий ТПУ (курсы «Основы светотехники», «Проектирование оптических приборов», программа повышения квалификации «Конструирование энергоэффективных световых приборов на основе светодиодов») направления «Оптотехника».

**Достоверность полученных результатов,** приведенных в диссертационной работе определяется использованием сертифицированного оборудования, согласованностью теоретических результатов, полученных в ходе исследований с результатами других авторов, опубликованных в отечественной и зарубежной литературе, проведением натурных испытаний, результаты которых согласуются с результатами, полученными на этапе моделирования и теоретических расчетов. Все результаты работы докладывались на международных и всероссийских конференциях, опубликованы в зарубежных журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science и в рецензируемых отечественных журналах, рекомендованных ВАК.

**Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1) Разработанный светодиодный оптический прибор, состоящий из симметричных модулей, разделенных зазором от 10 до 20 мм, с использованием

двух цилиндрических отражателей в каждом модуле, обеспечивает эффективный теплоотвод, позволяет создавать равномерное облучение в перпендикулярном оси оптического прибора направлении и уменьшает потребление электрической энергии облучательными установками на 15-20%, по сравнению с традиционными газоразрядными и светодиодными оптическими приборами.

2) Предложенный способ построения масштабируемой системы управления параметрами адаптивной оптико-электронной системы облучения на основе интерфейса DALI и широтно-импульсной модуляции, позволяет в автоматическом режиме управлять спектрально-энергетическими характеристиками оптических приборов и в любой момент времени корректировать их до оптимальных при изменении параметров естественной облучённости или изменении соотношения сигналов в спектре комбинационного рассеяния облучаемого объекта, что снижает энергозатраты систем облучения за счет управления, адаптации и оптимизации параметров излучения.

3) Разработанная энергоэффективная адаптивная оптико-электронная система облучения позволяет обеспечивать необходимое и достаточное по спектру и потоку самостоятельное или дополнительное к солнечной радиации и существующему искусственному освещению излучение с учетом внешних параметров и уменьшает энергозатраты на облучение не менее чем в 2,5 раза по сравнению с традиционными системами облучения.

**Личный вклад автора** в диссертационную работу заключается в постановке задач исследования, планировании и проведении экспериментов, обработке и интерпретации полученных результатов. Обсуждение поставленных задач, методов решений и результатов исследований проводилось с научным руководителем и соавторами, указанными в опубликованных работах.

#### **Апробация работы.**

Основные материалы диссертации докладывались и обсуждались на конференциях международного и всероссийского уровня: XX юбилейная Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (г. Томск, 2014 г.) - за доклад получен

диплом 2 степени; IV Международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике» (г. Томск, 2015) – за доклад получен диплом 2 степени; XI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» (Саранск, 2015); XIII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» (Саранск, 2017); V Всероссийская конференция студентов элитного технического образования (г. Томск, 2014 г.); 13 Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (г. Томск, 2017) – за доклад получен диплом 2 степени; VII Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике» (г. Томск, 2018).

Экспонат автора «Энергоэффективная адаптивная оптико-электронная система облучения» представлялся на Всероссийские выставки «Молодежь и промышленность» г. Томск, 2017 г. (получен диплом 3 степени); Всероссийском конкурсе разработок молодых ученых «U-novus» (2017 г.); экспозиции Минобрнауки России на форуме "Открытые инновации-2018".

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России: государственное задание в сфере научной деятельности № 13.3647.2017/ПЧ (Проектная часть).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 26 печатных работ, из них 2 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, 6 статей в научных журналах, индексируемых международными базами данных Scopus и Web of Science, 18 работ опубликованы в материалах всероссийских и международных конференций, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, 3 глав, заключения и списка использованной литературы, включающего 101 наименование. Работа изложена на 144 страницах, содержит 13 таблиц, 65 рисунков и 3 приложения.

## 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СИСТЕМ ОБЛУЧЕНИЯ

Экономия электрической энергии становится одной из самых важных задач современной науки, в условиях, когда запасы энергетических ресурсов планеты ограничены, а их расходы увеличиваются каждый день. Одним из самых приоритетных направлений модернизации и поиска потенциала экономии электроэнергии является освещение, т.к. расходы на него достигают 20% от всей потребляемой электроэнергии в мире [1]. При этом в промышленно развитых странах эта цифра составляет 5 -15%, а в развивающихся - может достигать 86% [2]. Особенно актуально этот вопрос стоит на промышленных предприятиях, таких как: склады, ангары, заводы, тепличные комплексы и др. В качестве модельного объекта для проектирования, в рамках данного диссертационного исследования, были выбраны тепличные комплексы, т.к. тепличное растениеводство является одним из самых активно развивающихся отраслей промышленности, а облучательные установки, используемые в теплицах, требуют модернизации [3-10].

Модернизация облучательных установок и создание новых высокоэффективных источников освещения является определяющим условием развития современного тепличного растениеводства [11-14]. Эффективная система облучения должна обеспечивать необходимую интенсивность и оптимальное соотношение отдельных участков спектра ФАР и соответствовать эксплуатационным и технико-экономическим условиям современного производства [7,15,16]. К осветительным устройствам нового поколения следует отнести полупроводниковые источники света, которые по целому ряду параметров могут оказаться наиболее перспективными для применения в растениеводстве защищенного грунта [11-26].

В последние годы интерес исследователей к данной научной области значительно вырос. В многочисленных обзорах и оригинальных статьях приводится большой массив данных о разнообразных светодиодных источниках, их спектральных характеристиках, интенсивностях светового потока, режимах

освещения с учетом видовых, сортовых и возрастных особенностей растений, а также их энергоэффективности, продолжительности срока службы, высокой технологичности и рентабельности. Обсуждается влияние света на структурные и функциональные параметры растений в зависимости от их стадии развития. Отмечается, что различными условиями освещения можно регулировать химический состав, питательную ценность, производство регенерационного материала в культуре *in vitro*, приживаемость при пересадке, сроки и продолжительность цветения, урожайность, а также послеуборочное хранение плодов и вывод семян из состояния покоя [11,17, 27-32]. Несмотря на большое количество данных по применению светодиодного освещения в растениеводстве, много вопросов остается еще не выясненными. Это затрудняет разработку единой концепции и создания общей модели его применения. Сложность в сравнении и обсуждении полученных результатов усугубляется различными экспериментальными условиями светового воздействия [33,34]. Так, результаты исследований, оптимальные для выращивания растений в замкнутых системах жизнеобеспечения при полном искусственном освещении (в фитотронах, на орбитальных станциях) отличаются от условий досвечивания тех же растений на фоне естественного освещения, которое, в свою очередь, подвержено как климатическим, так и сезонным изменениям [21]. При регуляции условий освещения необходимо учитывать и характер хозяйственной деятельности, спектр которой в условиях светокультуры существенно расширяется. Активно развивается идея вертикального земледелия, где наряду с традиционными зелеными культурами осуществляется выращивание ягодных, эфиромасличных, лекарственных и других нетрадиционных культур.

### **1.1 Сравнительный анализ источников излучения**

Обзор рынка светотехнической продукции, а также прогнозы его развития до 2020 г. представлен на рисунке 1.1 (данные компаний-производителей).

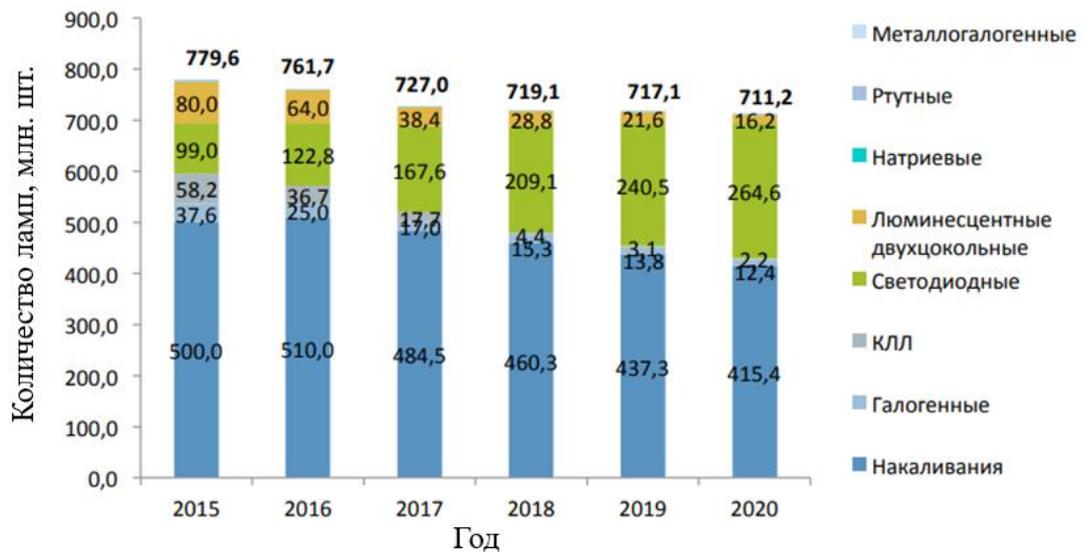


Рисунок 1.1 - Диаграмма прогноза развития рынка ламп в РФ без учета влияния регулирования рынка, млн. шт.

Как видно из данной диаграммы, основным источником света, используемым на сегодняшний день все, еще остается лампа накаливания, но стоит отметить снижение ее использования к 2020 г., даже без регулирования рынка, и в свою очередь значительному увеличению использования светодиодов. Количество используемых газоразрядных ламп также будет уменьшаться к 2020 г.

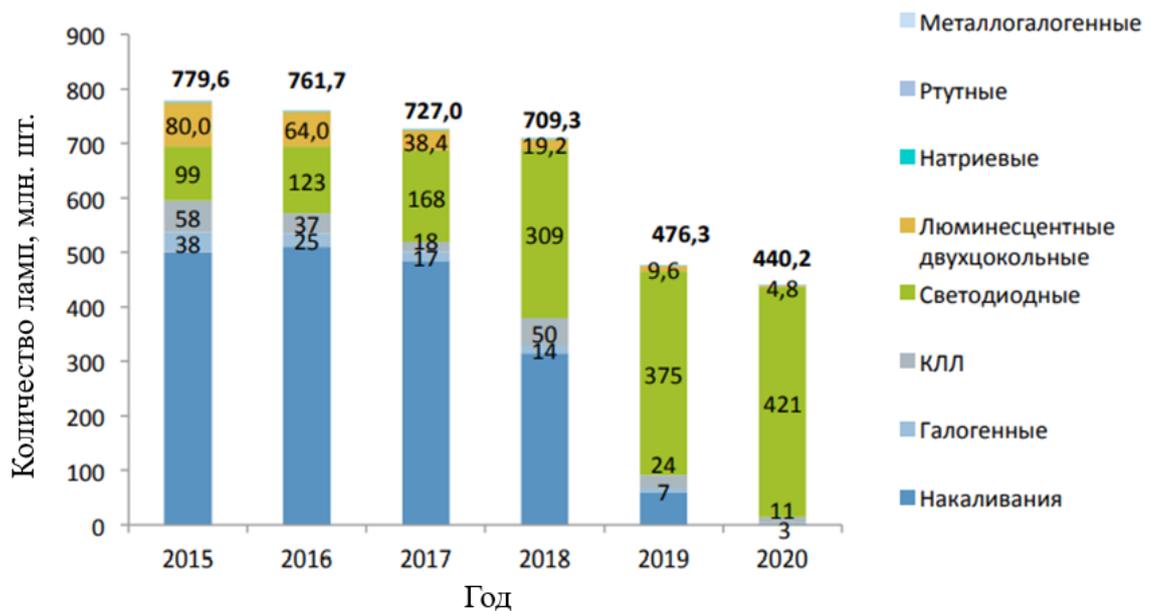


Рисунок 1.2 - Диаграмма прогноза развития рынка ламп в РФ с учетом влияния регулирования рынка, млн. шт.

При регулировании рынка (рисунок 1.2) и введении новых законов, норм и правил, структура рынка будет кардинально отличаться. В этом случае практически полное доминирование получают светодиоды, что вполне логично.

Проанализировав полученные данные можно сделать вывод, что на сегодняшний день для исследований и прикладных задач используются следующие типы источников света: дуговые ртутно-люминесцентные лампы, металлогалогенные лампы, натриевые лампы высокого давления и светодиодные облучатели. Лампы накаливания в основном используются в бытовом освещении и имеют низкую эффективность.

*Газоразрядные лампы высокого давления.* Это лампы, в которых свет продуцируется в результате электрического разряда в газе или парах металла. Плюсами данных ламп можно считать высокую светоотдачу, долгий срок службы и большое количество форм и размеров.

К недостаткам можно отнести наличие пульсаций светового потока, которые видны человеческим глазом, взрывоопасность, сложность установки и подключения, неэкологичность. Также существенным минусом является медленное повторное включение лампы, вызванное тем, что лампа выходит на рабочий режим в течение 5-15 минут, что исключает возможность гибкой подстройки и управления параметрами облучения.

*Металлогалогенные лампы.* Излучение в этих лампах также продуцируется в результате электрического разряда в газе или парах металла, но в отличие от других ГРЛ возможна коррекция спектральной характеристики дугового разряда в парах ртути посредством добавления в горелку специальных излучающих добавок, представляющих собой галогениды некоторых металлов.

Недостатки полностью повторяют недостатки газоразрядных ламп. Также исключена возможность гибкой подстройки и управления параметрами облучения.

К преимуществам можно отнести высокую светоотдачу, долгий срок службы, высокий индекс цветопередачи, компактность.

*Натриевые лампы высокого давления.* Один из самых эффективных источников света, что связано с резонансным излучением натрия с длинами волн

589 и 589,6 нм. На рисунке 1.3 приведена зависимость световой отдачи натриевого разряда от давления паров натрия. Кривая на рисунке 1.3 имеет два явно выраженных максимума: в областях низкого и высокого давления.

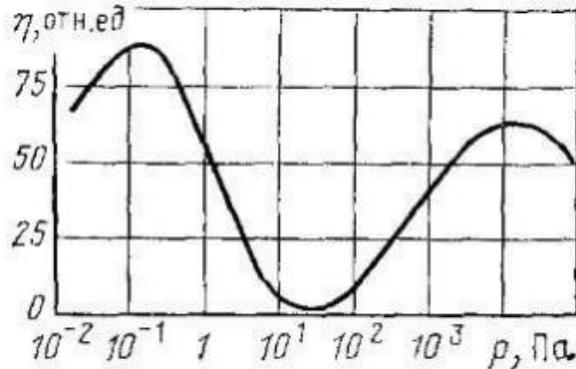


Рисунок 1.3 - Зависимость световой отдачи натриевого разряда от давления паров натрия

К достоинствам таких ламп можно отнести высокую светоотдачу, долгий срок службы.

К недостаткам - взрывоопасность, сложность установки и подключения, неэкологичность, желтый цвет излучения, что ограничивает область применения данных ламп. Исключена возможность гибкой подстройки и управления параметрами облучения.

*Светодиоды.* Один из самых перспективных источников излучения на сегодняшний день. Светодиоды позволяют получать практически любой спектральный состав интенсивность излучения: за счет комбинации светодиодов разных цветов, или за счет управления светоцветовыми параметрами отдельных групп светодиодов.

Преимущества светодиодов, обусловленные их свойствами, делают их перспективными ИИ для проектирования облучателей самого широкого применения [35-40].

Также стоит отметить, что получение необходимых параметров облучения возможно не только при использовании многоцветных светодиодных систем, но и при использовании специализированных светодиодов с люминофором. При использовании данной технологии можно добиться практически любого

спектрального состава, что позволит снизить цену на светодиодные облучатели, так как данный подход исключает необходимость разработки сложных схем питания и управления многоцветными светодиодами. Минус данной технологии заключается в потере части энергии из-за стоксова сдвига, а значит в снижении общей эффективности облучательной системы.

Если проанализировать существующие системы автоматического управления освещением на основе светодиодных технологий, то можно отметить, что большинство из них решают только одну задачу - обеспечение заданного уровня освещенности. При этом изменение спектрального состава такие системы обеспечить не могут. Системы же, которые позволяют контролировать и спектральный состав являются однозадачными, направленными на определённое действие.

Таким образом, для полной реализации возможностей светодиодного облучения наметились три основные тенденции его совершенствования:

- Разработка облучателей с оптимальными параметрами излучения;
- Разработка способов, методов и конкретных систем управления количеством и качеством излучения.
- Разработка специализированных люминофоров, обеспечивающих необходимый спектральный состав излучения.

Решение этих проблем – основной путь снижения энергозатрат на освещение.

## **1.2 Системы интеллектуального управления освещением**

Системы интеллектуального управления освещением (СИУО) - это устройства, которые позволяют обеспечить нужное количество света, где и когда это необходимо. Данные системы можно использовать в самых разных областях деятельности: освещение квартир, домов, улиц, дорог, теплиц, производственных помещений и т.д.

СИУО используют для повышения энергоэффективности облучательных установок и включают в себя световые приборы, датчики и контроллеры, объединенные в единую управляющую сеть, которая может работать в

автоматическом и ручном режимах. При этом СИУО могут взаимодействовать с существующими приборами и устройствами (например, система пожарного оповещения, датчики влажности и т.д.) [41].

Главным преимуществом СИУО является возможность контроля отдельных световых приборов или групп приборов из единого устройства (пульт, телефон, планшет и т.д.). Это дает возможность создавать нужные параметры освещения, в зависимости от целей и задач в любой момент времени.

Можно выделить несколько наиболее изученных и распространённых СИУО на сегодняшний день. Первой из них является система «умный дом». Основой данной системы является взаимосвязь всех выключателей в доме между собой одной шиной. Система «умный дом» имеет большое количество возможностей, она может изменять освещение по времени, по заданной программе, может менять световые параметры освещения и т.д.

Также можно выделить СИУО для дорог. В основном принцип работы таких систем заключается в изменении мощности световых приборов вечером и ночью. Вечером световые приборы работают на максимальной мощности, а ночью, мощность снижается. Существуют также системы интеллектуального управления наружным освещением. Принцип их работ очень похож на принцип работы СИУО дорог.

### **1.3 Анализ результатов патентных исследований**

Задачей патентно-информационных исследований являлось определение перспектив коммерциализации на российском рынке новых оптических и оптико-электронных приборов и систем облучения на основе использования светодиодов и предназначенных для эксплуатации, прежде всего, в теплицах.

Для решения поставленной задачи по данной тематике был проведен отбор патентов с ретроспективой 15 лет по Российской Федерации и проанализирована динамика изобретательской активности и определены фирмы, наиболее активно ведущие работу по разработке новых средств подсветки растений (и способов, и источников освещения). Был проведен с такой же ретроспективой отбор патентов

по ведущим в данном направлении странам. В качестве таких стран были определены США и Япония, а также был проведен отбор патентов по Европейскому (ЕПВ) и международному (WIPO) патентным ведомствам. По этим отобранным патентам была определена изобретательская активность по данной тематике по ведущим странам.

Проведенные патентно-информационные исследования показали (приложение А), что в период с 2003 по 2018 г.г. в ведущих индустриально и экономически развитых странах мира активно и ускоренно развиваются средства, предназначенные для подсветки растений, в частности, овощных культур. Причем существенный рост развития этих систем начался с 2012 г. и продолжает активно развиваться в последние годы. При этом ведется активное патентование указанных средств не только отдельно в каждой стране, но и через международные патентные ведомства (ЕПВ, WIPO), что указывает дополнительно на наличие значительного интереса к указанным средствам. В России также, начиная с 2002 г. эти средства начали активно развиваться. При этом патентование вели в подавляющем большинстве отечественные организации и частные лица. Все это говорит о том, что подсветка растений в настоящее время для России обладает большой актуальностью и актуальность подчеркивается активным развитием средств подсветки в высокоразвитых странах.

#### **1.4 Анализ результатов маркетинговых исследований**

Объем мирового рынка светотехнической продукции растет с каждым годом. Темпы роста сегмента светодиодных ламп ежегодно будут увеличиваться, а мировой рынок светодиодов будет наращивать обороты [42]. Так как было определено, что модельным объектом для разработки адаптивной оптико-электронной системы облучения являются тепличные комплексы, необходимо провести маркетинговые исследования в указанной области.

Рынок теплиц традиционно делится на промышленные теплицы и теплицы для дачи. По данным экспертов в 2013 году, в России около 60% населения имеют дачу или приусадебный участок [42].

Конкурентной особенностью российского рынка является наличие значительной территории, которая является идеальным полигоном и в последующем – рынком для применения светодиодной продукции, а именно – северных территорий. Россия огромна, по приблизительным оценкам, суммарный потенциал LED – рынка в России в настоящее время составляет более 54 млрд. руб. [42]. Поэтому ведущие западные компании, заинтересованы в тестировании своих новых LED-продуктов в условиях продолжительной холодной зимы и темного времени суток и в последующем выходе на рынок РФ.

По прогнозам специалистов, отечественный рынок полупроводниковой светотехники будет развиваться поступательно. В ближайшие годы прогнозируется дальнейшее снижение стоимости светодиодов и повышение их эффективности.

Продолжится дальнейшее снижение цен на светодиодные системы, что будет связано, в первую очередь, со снижением цен на светодиоды, а также снижением себестоимости светодиодных систем за счет интегрированных решений.

Объем площадей закрытого грунта в Российской Федерации показан на рисунке 1.4.

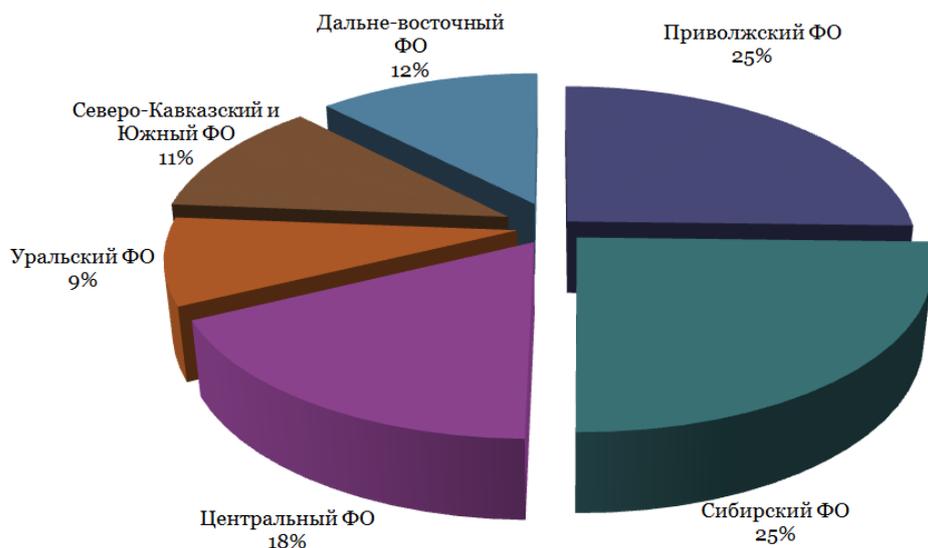


Рисунок 1.4 - Объем площадей закрытого грунта в РФ

Мировые тенденции развития рынка тепличных хозяйств указывают на внедрение технологий, снижающих потребление электрической энергии, и

технологий, повышающих производительность выращивания. Исследования и разработки данного направления поддерживаются государствами и частными компаниями. На рисунке 1.5 представлена информация о площадях защищенного грунта в странах мира, из графика видно, что Россия значительно отстает от развитых стран, а в связи с введенными санкциями, государство будет увеличивать площади защищенного грунта, для снижения зависимости в импорте зарубежных продуктов. В связи с этим будут активно внедряться энергоэффективные технологии для создания теплиц.

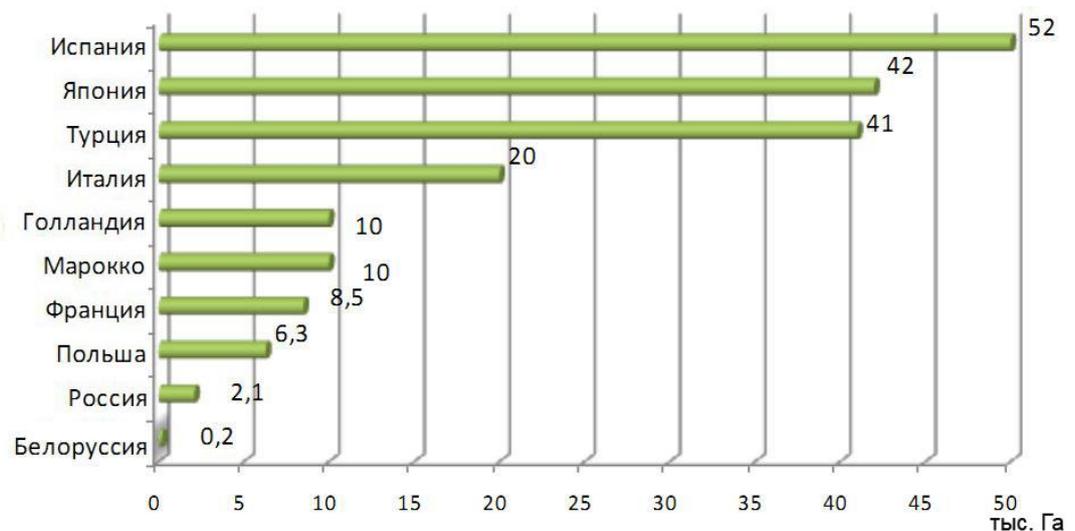


Рисунок 1.5 - Площади защищенного грунта в странах мира

#### 1.4.1 Современные светодиодные системы облучения растений

В настоящее время различными фирмами выпускается большое количество светодиодных фитосветильников различающихся спектрами излучения, назначением, конструкцией, мощностью и т.д. Обычно, в облучателях используются синие (440–470 нм) и красные (630–660 нм) светодиоды. Применение светодиодов, излучающих только в синей и красной областях спектра (в различных соотношениях), как правило, дает удовлетворительный урожай. Однако, ясно, что использование такого узко спектрального облучения, в отличие от солнечного, не позволяет растению использовать весь спектр биохимических реакций, заложенных в генетическом аппарате, что может сказываться на пищевых свойствах (пищевом качестве). Кроме того, только узко спектральное облучение

может повлиять на процессы формирования вегетативных и продуктивных органов. Важным обстоятельством является и тот факт, что для узко спектрального освещения характерно крайне низкий индекс цветопередачи, что негативно сказывается на зрительной работе персонала теплиц. Многие копируют с помощью светодиодов спектр натриевых ламп. И этот путь не является перспективным, так как растению необходимо излучение из разных областей спектра и в определенном соотношении.

Чтобы повысить эффективность облучения, производители пытаются выпускать продукцию перекрывающую область ФАР за счет добавления светодиодов, излучающих в ультрафиолетовой, голубой, оранжевой, красной и инфракрасной области спектра. Иногда просто копируется солнечный спектр. Копирование с помощью светодиодов солнечного спектра излучения экономически не выгодно. Большое количество светодиодов значительно усложняет конструкцию. К тому же СД излучающие в голубой, зеленой и оранжевой областях спектра имеет низкий внешний квантовый выход (10-20% против 40-50% у синих и красных СД). Однако, такой мультиспектральный способ составления необходимой растению цветовой гаммы излучения, хорошо подходит для регулирования фитопотоками в исследовательских устройствах.

Рассмотрим основные примеры облучателей, которые предлагают производители в настоящее время. Например, светодиодные светильники «Фитосвет-Д» (рисунок 1.6- 1.7):

Таблица 1 – Технические характеристики светильников «Фитосвет-Д»

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение, В	220-240
Потребляемая мощность, Вт	24
Режим работы	постоянный
Габаритные размеры, мм	760x100x50
Угол излучения, град	60
Плотность мощности излучения на расстоянии 30 см, Вт/м <sup>2</sup>	21



Рисунок 1.6 - Внешний вид светильника «Фитосвет-Д»

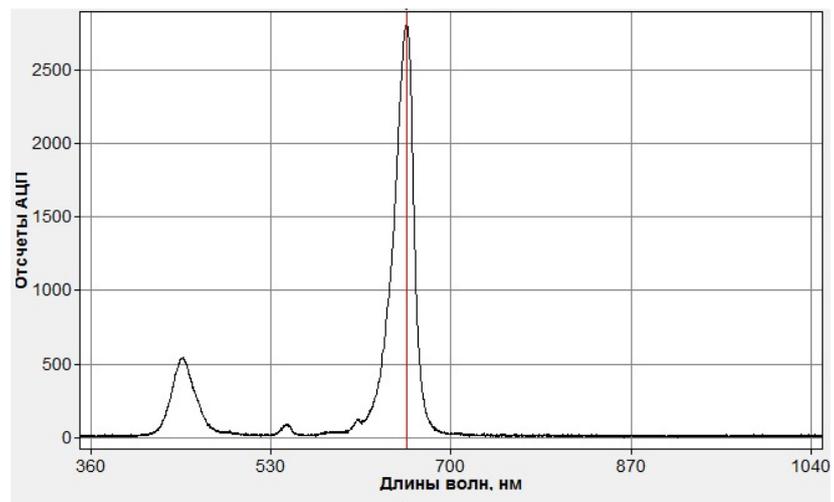


Рисунок 1.7 - Спектр излучения светильников «Фитосвет-Д»



Рисунок 1.8 – Внешний вид светильника АГРО-160

Компания "КТЛ" выпускает модульные светильники разной мощности. В частности, светильник АГРО-160 (рисунок 1.8) с параметрами: 4 световых модуля, дискретные светодиоды: 64 красных, 16 синих и 16 белых, потребляемая мощность, Вт – 160, излучаемая мощность ФАР\*, Вт – 47.

Компания DIODIX производит несколько типонаименований таких светильников с разным спектральным диапазоном из светодиодов зарубежных производителей. Например, модель: FITO-LEDSTRIP-28W с низким напряжением питания.

Таблица 2 – Технические характеристики светильников «FITO-LEDSTRIP-28W»

Характеристика	Значение
Мощность, Вт	28
Производитель	DIODIX (Россия)
Размер, мм	1000*12*2.5
Напряжение, В	12
Цвет	48 шт. красных 660nm 18 шт. синих 445nm 6 шт. теплых белых
Кол-во светодиодов, шт	72
Тип светодиодов	Ультра-яркие SAMSUNG



Рисунок 1.9 – Внешний вид светильника FITO-OSRAM-100W

Эта же фирма использует светодиоды фирмы OSRAM для производства модульных фито светильников.

Таблица 3 – Технические характеристики светильников «FITO-LEDSTRIP-28W»

Характеристика	Значение
Модель	FITO-OSRAM-100W
Мощность, Вт	100
Размер, мм	820*85*77
Световой поток, лм	12000
Напряжение, В	85-265
Количество светодиодов, шт	42
Тип светодиодов	Ультра-мощные OSRAM
Соотношение светодиодов	18шт – синий 24шт – красный
Светодиоды	OSRAM
Блок питания, корпус и сборка	DIODIX (Россия)

Среди продуктов компании "NANOLED" имеются светодиодные панели с диммированием: 3G LED Grow 11 BANDS, 3G LED Grow 3W, 3G LED Grow SIX BANDS, 3G LED Grow, 5G LED Grow 12BANDS, LED Grow (2) и др.

Это наиболее интересные варианты светильников для растений. Например, 3G LED Grow 11 BANDS (рисунок 1.4.7) содержит в себе 11 спектров: 760 нм - инфракрасный, 740 нм - красный насыщенный, 720 нм - дальний красный, 660 нм - красный, 630 нм - оранжевый, 615 нм - желтый, 480 нм - зелено-голубой, 460 нм - голубой, 440 нм - синий, 415 нм – фиолетовый, 380 нм – ультрафиолетовый.



Рисунок 1.10 - Светильник 3G LED Grow 11 BANDS

Обзор свидетельствует, что практически все светильники предназначены для стационарной досветки растений без возможности управлять спектральным составом излучения.

#### 1.4.2 Светодиоды для облучения растений

Все больше растет интерес исследователей и производителей к производству светодиодных оптических и оптико-электронных приборов и систем облучения для тепличного растениеводства. Это перспективное направление, так как технология изготовления светодиодов постоянно совершенствуется, цена из года в год падает, а световая отдача увеличивается. Современные достижения в области светодиодов, позволяют составить конкуренцию ГРЛ. Эффективность в области ФАР, в зависимости от марки и производителя, достигает 2-2,5 мкмоль/Вт\*с, что превышает показатель ламп ДНаТ.

Для полной реализации возможностей светодиодного облучения растений наметились две основные тенденции его совершенствования:

- Разработка облучателей с управляемыми параметрами излучения;
- Разработка способов и методов систем управления количеством и качеством излучения [16].

Решение этих проблем – основной путь повышения продуктивности и снижения энергозатрат при выращивании растений в теплице. В настоящее время для решения первой задачи разрабатываются специальные светодиоды для растений с широким спектром излучения в пределах ФАР или светильники,

состоящие из набора цветных светодиодов с суммарным спектром излучения, также перекрывающим всю область ФАР.

Производители и исследователи, обычно, при разработке устройств для досветки ориентируются на спектры поглощения основных пигментов в растениях: хлорофилла а и b, каротиноидов, фитохромов и др. Спектры поглощения пигментов имеют явно выраженные пики в синей - 450 нм и дальней красной - 650 нм (в англоязычной литературе используется термин “FarRed” –FR) областях спектра. В качестве примера специальных «фитосветодиодов» можно привести продукцию ряда компаний:

– Российская фирма Артледс разработала светодиод для освещения растений со специальным люминофором УСКИ, спектральная характеристика которого приведена на рисунке 1.11 [43].

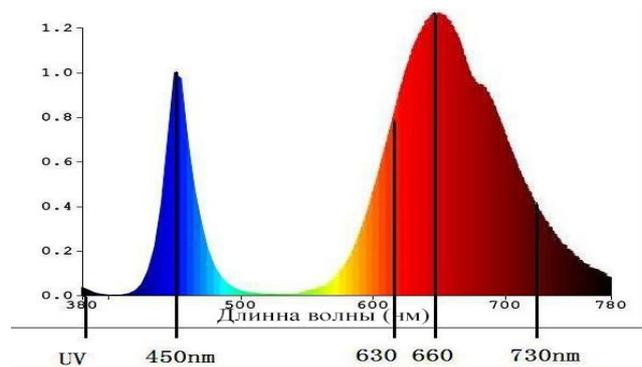


Рисунок 1.11 - Спектр излучения светодиода с люминофором УСКИ

– Компания Nation Star Optoelectronics (Китай) предлагает дешевый аналог цветным – био-светодиоды на базе белого светодиода с добавлением красного и зеленого люминофора.

Использование таких специальных «фитосветодиодов» позволяет скорректировать спектр излучения, но они не являются универсальными (применительно к виду растения и стадии его развития) и, как и традиционные, не дает возможности управлять спектром излучения.

Поэтому фирмы разрабатывают в основном «фитосветодиоды», которые излучают в разных областях спектра и из которых можно составить в облучателе источник с необходимым растению спектром излучения. Производители

светодиодов называют условно это направление производства - «Светодиоды для теплиц».

Например, российская фирма Артледс [43], используя кристаллы Bridgelux (США), Mitsuhiro и Epileds (Тайвань), выпускает светодиоды со следующими параметрами (таблица 4):

Таблица 4 – Параметры светодиодов фирмы Артледс

Тип светодиода	УФ	Синий	Синий	Красный
Максимальное падение напряжения, В	3.2-3.4	3.2-3.4	3.0-3.4	2.0-2.4
Длина волны, нм	390-400	440-450	460-470	650-660
Световой поток, лм (мВт)	-	10-15	25-30	25-30

Компании Osram (Германия) [44] и Cree (США) [45] выпускают светодиоды широкого спектра. С помощью этих светодиодов можно создать светильник со спектром излучения, близким к солнечному.

Таким образом, более перспективными с точки зрения управления фитопотоками являются разработки светодиодных систем облучения (облучателей) с использованием представленных выше светодиодов с разным спектральным составом излучения.

В качестве примера на рисунке 1.12 представлена светодиодная матрица фирмы Артлед, содержащая 80 красных и 20 синих СД [43].

**LED-100W-30C-2000-3000LM-EL-E**

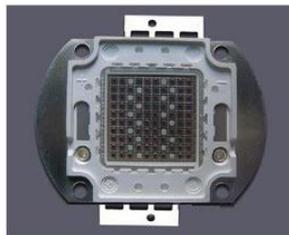


Рисунок 1.12 - Светодиодная матрица фирмы Артлед

Таким образом, для промышленных образцов излучателей следует подобрать такие светодиоды, которые бы в сумме создавали спектр излучения

максимально соответствующий оптимальному, то есть необходимому и достаточному для растений и обладали универсальностью применения для различных видов растений.

### 1.5. Выводы по главе 1

1) Несмотря на активное развитие оптических и оптико-электронных систем облучения, область управления облучением в промышленном производстве, например, ангарах, больших складских помещениях, заводах и тепличных комплексах остается слабо изученной.

2) Модернизация облучательных установок в тепличном растениеводстве является одной из самых перспективных областей применения современных оптических и оптико-электронных систем облучения. До сих пор не сформулированы научно-технические основы проектирования энергоэффективных адаптивных систем облучения растений и принципов создания ОУ с управляемыми параметрами облучения

2) При проектировании оптических и оптико-электронных систем облучения для тепличного растениеводства необходимо учитывать, что для повышения продуктивности и урожайности растений необходимо управлять фотосинтезом и фотоморфогенезом.

3) Наиболее распространенные на сегодняшний день газоразрядные оптические приборы для теплиц не позволяют изменять спектральный состав облучения в процессе вегетации растения.

4) Наиболее оптимальными источниками света являются светодиоды, т.к. они позволяют формировать практически любой спектральной состав и гибко управлять интенсивностью излучения.

Таким образом, основной целью данной работы является: разработка универсальной энергоэффективной адаптивной оптико-электронной системы облучения.

#### **Задачи** диссертационного исследования:

– разработать методику построения адаптивной оптико – электронной системы облучения;

- изучить возможные способы управления параметрами облучения и на основе полученных данных разработать систему мониторинга, обратной связи и управления адаптивной оптико – электронной системой облучения;
- обосновать выбор параметров и характеристик адаптивной оптико – электронной системы облучения и разработать технические требования к ней;
- проанализировать эффективность применения адаптивности облучения.
- разработать исследовательский комплекс, позволяющий моделировать необходимые спектрально-энергетические параметры облучения;

## 2 МЕТОДИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Во введении и первой главе данного диссертационного исследования было определено, что тепличное растениеводство – это одно из самых перспективных направлений внедрения оптических и оптико-электронных систем облучения. В связи с этим необходимо отработать методику получения режимов облучения для разрабатываемой энергоэффективной адаптивной оптико-электронной системы облучения на примере облучения растений. Для этого необходимо разработать исследовательскую установку, которая будет позволять управлять параметрами облучения и моделировать необходимые спектрально-энергетические характеристики излучения.

### 2.1 Конструкция исследовательской установки

Для проведения экспериментов была разработана исследовательская установка (ИУ), которая представляет собой климатическую камеру с возможностью управления и контроля параметров облучения (спектральный состав и интенсивность). ИУ управляется через промышленный интерфейс RS-232 разработанным программным обеспечением, установленным на компьютере.

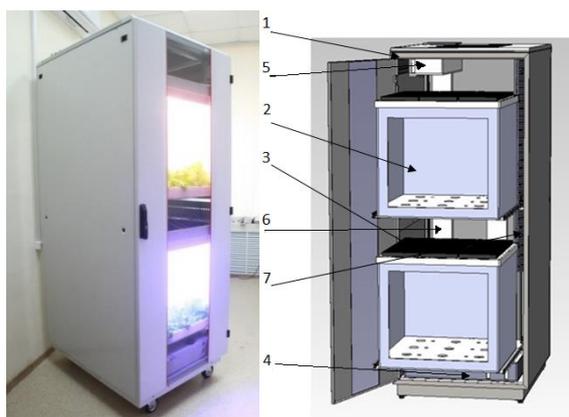


Рисунок 2.1 - Исследовательская установка. 1 – корпус ИУ, 2 – ячейки фитотронов, 3 – светильники с независимой регулировкой режима облучения растений, 4,5 – система полива (нижний и верхний баки); 6 – система микроклимата (влажность, температура), 7 – электронная система питания и управления

#### Описание элементов ИУ:

1) Шкаф - шкаф (Рисунок 2.1, поз. 1) представляет собой шкаф телекоммуникационный серии ШТК-М (ИДФУ.301445.229ПС) адаптированный под требования ИУ.

2) Ячейка фитотрона - (Рисунок 2.1, поз. 2) представляет собой короб (Рисунок 2.2), изготовленный из вспененного ПВХ толщиной 8 мм, обеспечивающего как высокий коэффициент отражения излучения, так и низкий коэффициент теплопередачи. В ячейке фитотрона имеются 9 гнезд для размещения растений. Фитотрон снабжен проточной системой полива; по технологии «Гидропоника», которая регулируется системой орошения.

3) Светильник - (Рисунок 2.1, поз. 3) представляет собой пластину с расположенными на ней печатными платами с одной стороны и радиаторами охлаждения с другой. В каждом из светильников установлены 20 печатных плат, на каждой из которых располагается девять светодиодов трех цветов (синий Cree XTEARY, красный Cree XPERHR, белый Cree XTEAWT). Светильник питается постоянным напряжением 48 В. Ток светодиодов каждого цвета может варьироваться в пределах 0–700 мА. Квантовый поток светодиодов красного цвета может варьироваться от 0 до 264 мкмоль/с, для белых светодиодов от 0 до 201 мкмоль/с, для синих от 0 до 263 мкмоль/с.

4) Нижний бак - представляет собой резервуар, емкостью 30 л, предназначенный для хранения питательного раствора. Из нижнего бака с помощью насоса раствор периодически закачивается в верхний бак, из которого раствор самотеком поступает в ячейки - фитотроны.

5) Система микроклимата - обеспечивает необходимые параметры температуры и влажности внутри ячеек-фитотронов.

6) Система питания и управления - обеспечивает питание и связь с компьютером.

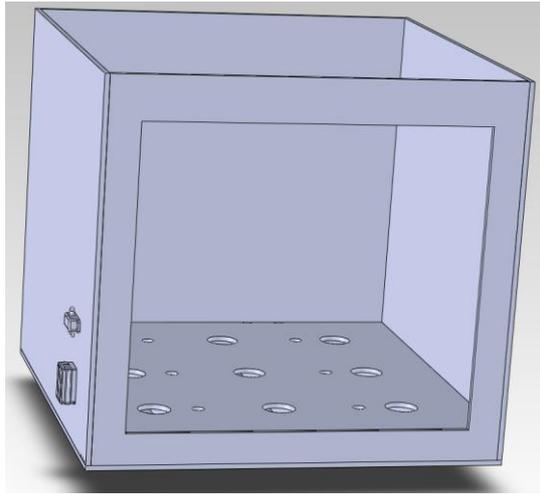


Рисунок 2.2 - Корпус ячейки фитотрона

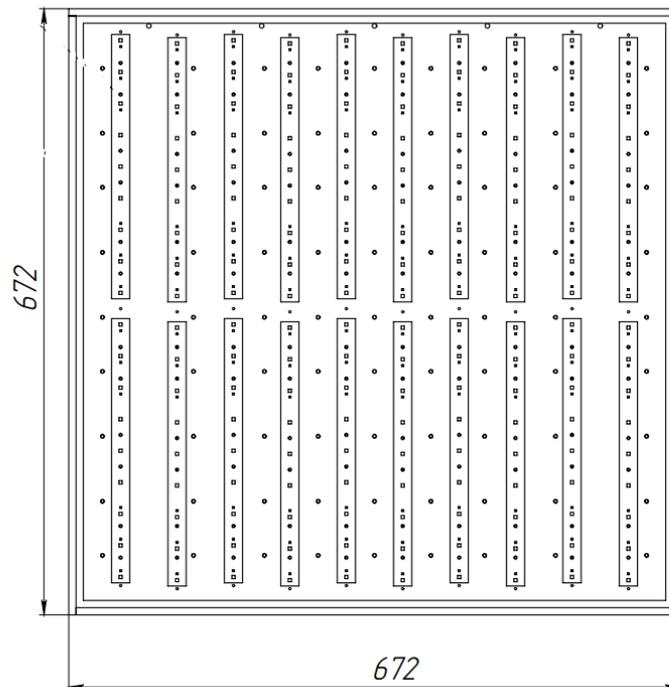


Рисунок 2.3 - Расположение светодиодных плат на светильнике

На рисунке 2.4 представлена фотография действующего макета ячейки фитотрона, с установленным светильником, и драйверами питания светодиодов.

Для управления оператором в ручном режиме работы системы или для включения одного из автоматических режимов используется специализированное программное обеспечение (рисунок 2.5).



Рисунок 2.4 - Фотография действующего макета ячейки фитотрона со светильником

В главном окне программы находятся две области. Правая область – область статуса, здесь отображаются текущие изменения состояния системы, вся информация дублируется в файл «StatusLog.txt» находящийся в директории программы. Левая область содержит кнопки вызова окна управления отдельным шкафом (Рисунок 2.6), окна состояния каждого шкафа (в случае наличия связи – системное время блока управления шкафа) и поле с именем текущего записываемого файла (если запись не ведется, поле не отображается).

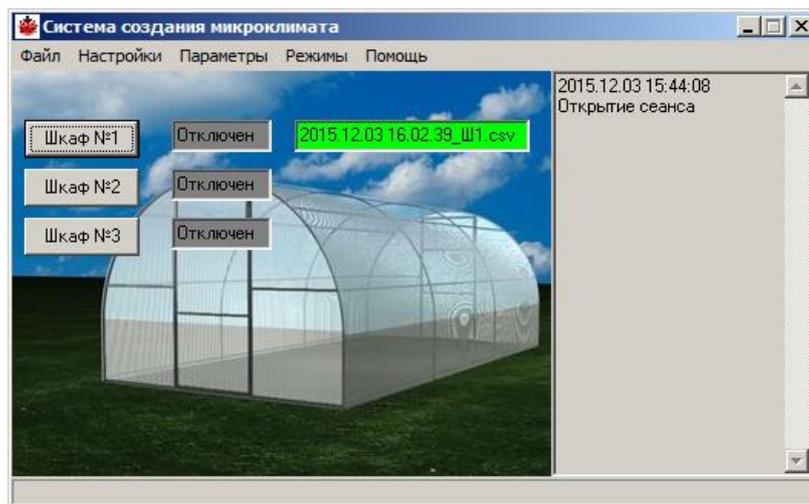


Рисунок 2.5 - Основное окно программы управления

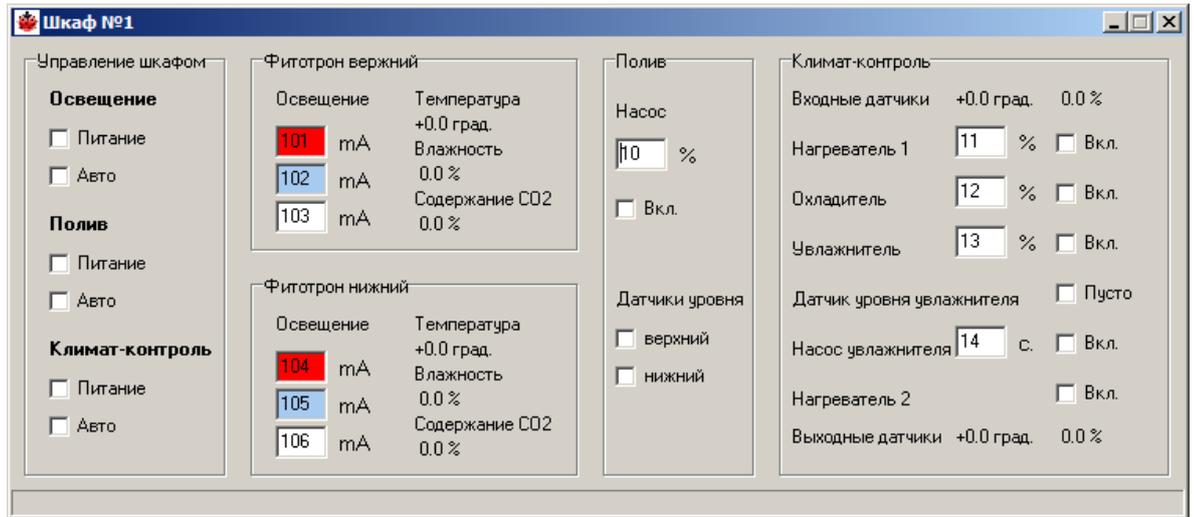


Рисунок 2.6 - Окно управления отдельным шкафом.

## 2.2 Обоснование выбора модельного объекта для экспериментов

В качестве объекта для экспериментов было выбрано растение - тепличный салат. Ботаническая классификация салата: салат (*Lactucasativa* L.) относится к классу Двудольные (*Dicotylédones*), семейству Сложноцветные или Астровые (*Asteraceae*), роду *Lactuca*. В основе хозяйственной классификации лежат признаки, связанные с продуктовыми органами растений, особенностями их потребления и товарной обработки. По классификации, связывающих потребительские и агрономические особенности культур, салат принадлежит к листовым однолетним культурам [46].

Основанием для использования первого модельного объекта исследований – культуры салата послужило ее широкое использование в тепличных сооружениях рассадно-салатных линий, наличие широкого ассортимента сортов и гибридов, расширившиеся возможности управления микроклиматическими параметрами и параметрами освещенности в культивационных сооружениях, круглогодичная востребованность этого продукта питания населением.

В связи с разработкой и совершенствованием специализированных технологий по выращиванию салатов, выращивание этой культуры

*Lactucasativa* стало возможным в различных по климатическим условиям и по условиям освещенности регионах России [47].

Оптимальным для прорастания семян салата диапазоном температур считается 12-15С. При повышении температуры до 25С всхожесть семян резко падает. После появления всходов целесообразно поддержание температур дневных от +8 до+12 С ночных – от +6 до +10С. Интересно отметить значимость воздействия экологических факторов на рост и развитие салата в соответствии с освещенностью.

Салат лучше всего развивается при коротком световом дне, хотя является растением длинного дня. При снижении длины дня до 10 часов салат очень медленно растет, но к стеблеванию не переходит. Связь температуры с освещенностью выражается следующей зависимостью: в ясные дни следует поддерживать более высокий уровень температур, в пасмурные – уровень оптимальных для выращивания салата температур снижается в среднем на 6 С в зависимости от месяца выращивания, ночных – не более, чем на 2-3 С. В целом отмечается нежелательность больших перепадов дневных и ночных температур при выращивании салата.

Подкормки салата  $CO_2$  осуществляются только при условии уровня освещенности не менее 3000-4000 лк. Температура в период подкормки должна быть повышена по сравнению с рекомендуемой на 2-3С. Подкормки двуокисью углерода позволяют ускорить процесс выращивания салатной культуры примерно на неделю.

Необходимо отметить такой значимый фактор как содержание солей в почве. Салат плохо переносит повышенные концентрации солей, предпочитая при этом легко усвояемые соли плодородных почв легкого состава, хорошо аэрируемых. Влажность почвы при выращивании поддерживают на уровне 70%, влажность воздуха приблизительно равна таковой (70%). Причем диапазон колебания влажности невелик – при низкой влажности (минимальный уровень следует считать 60% повышается риск возникновения краевого некроза листьев [46].

Салат средне требователен к условиям увлажнения. Высыхание почвы ускоряет переход к стеблеванию. Рекомендованная оптимальная влажность почвы 70% НВ достигается умеренными поливами. Влажность воздуха также должна составлять 70-80%, при более высокой влажности салат становится подвержен различным заболеваниям. Лучше развивается салат на плодородных суглинках, хотя расти может на любой почве с достаточным количеством питательных веществ и реакцией среды 6,8-7,2 [48].

Сведения о влиянии интенсивности и длительности облучения, полученные из разных источников, часто сложно сравнивать, например, из-за того, что облученности приводятся в разных единицах.

Высадка салата проводилась по методике, используемой в тепличных комплексах г. Томска, для того, чтобы была возможность сравнивать образцы, выращенные в реальных условиях (теплица) и условиях фитотрона. В горшочки засыпают торфяную смесь и напитывают ее (промачивают) водой. На поверхность субстрата кладут 3 семени салата, не присыпая их грунтом и закрывают пленкой. Такого количества достаточно, т.к. семена отборные и дают практически одинаковые ростки. На вторые сутки пленку полученную рассаду высаживают в фитотрон.

Первые десять дней полив осуществляется ручным способом специальным раствором с добавлением гранулированного нитрата кальция из расчета 1 грамм на 1 литр. Полив осуществляется по мере высыхания грунта. Температура воды комнатная, т.к. при повышенной температуре воды корни салата темнеют.

После того как у рассады сформировалась корневая система, переходят на гидропонный режим полива (проточная гидропоника) с традиционным составом питательного раствора. Раствор меняется примерно раз в 2 недели. Разводят каждый компонент раствора в отдельной емкости, размешивают и сливают в бак фитотрона, также перемешивая.

Облучение контрольных посевов, после всхода ростков (стадия рассады) проводилось в одном фотопериоде, по 20 часов каждый день. Данный режим

освещения поддерживается в течение 14 дней, после чего салат переходит на новый этап развития, при котором фотопериод составляет 16 часов и длится до окончательного созревания.

На протяжении всего эксперимента в фитотронах, не реже одного раза в минуту, контролировались условия окружающей среды (температура, уровень влажности и концентрация CO<sub>2</sub>) и поддерживались на таком же уровне, что и в теплицах г. Томска: температура - 20±2 °С, влажность – 70-80%, концентрация углекислого газа 480±50 ppm.

В процессе проведения эксперимента, для анализа эффективности и скорости роста, определяются морфологические параметры растения — длина листовой пластинки (по длине центральной жилки), ширина листовой пластинки (перпендикулярно центральной жилке в самом широком месте листа), масса листьев и корневой системы. В качестве контрольного образца использовался салат, выращиваемый в условиях реальной теплицы.

### **2.3 Методика расчета спектрально-энергетических характеристик исследовательской установки «Фитотрон»**

Для анализа результатов экспериментальных исследований необходимо точно знать величину фотосинтетического фотонного потока, энергетического потока, а также соотношение данных потоков в различных диапазонах спектра. Для упрощения оценки и сравнения режимов облучения, а также для исключения необходимости пользования дорогостоящими приборами для оценки ФАР, была разработана методика расчета PPFD, спектральных и энергетических характеристик в программном комплексе Mathcad [49]:

1) Для начала необходимо получить аналитическую форму относительной спектральной световой эффективности излучения для стандартного фотометрического наблюдателя (рисунок 2.7) на основании табличных данных:

data\_λ:=(380 390 400 410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590)

```
data_Vλ:= (0 0.0001 0.0004 0.0012 0.004 0.0116 0.023 0.038 0.06 0.091
0.139 0.208 0.323 0.503 0.71 0.862 0.954)
```

Spline coefficients:

```
s:= cspline (data_λT, data_VλT)
```

Fitting function:

```
Vλ(x):= interp (S, data_λT, data_VλT,x)
```

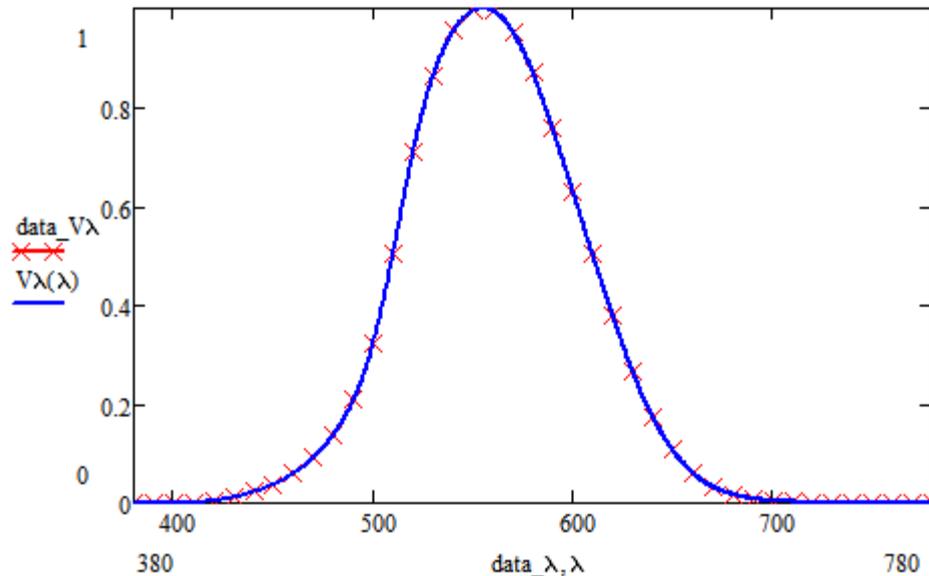


Рисунок 2.7 - Спектральная световая эффективность излучения для стандартного фотометрического наблюдателя

2) Полученные данные переводятся в аналитическую форму, в виде сплайна:

```
i:= 0..88
```

```
j:= 0..88
```

```
XYi,0:= 360+i·5
```

```
XYi,1:= i·(700/88)
```

```
SR:= cspline(XY, RED)
```

```
ΦRλ (λ, I) := interp [SR, XY, RED, (λλI)]
```

```
SB:= cspline(XY, BLUE)
```

```
ΦBλ (λ, I) := interp [SB, XY, BLUE, (λλI)]
```

```
SW:= cspline (XY, WHITE)
```

$$\Phi W\lambda(\lambda, I) := \text{interp}[\text{SW}, \text{XY}, \text{WHITE}, (\lambda)]$$

В результате мы получаем аналитическую зависимость относительной спектральной интенсивности излучения (отн.ед/Вт) каждого канала от тока питания (мА)

3) Для расчетов энергетического потока излучаемой осветителем, учитывая, что кривая светораспределения пренебрежимо близка к осесимметричной, была использована формула для расчета потока излучения точечного круглосимметричного источника излучения:

$$\Phi_e = \int_{\Delta\Omega} I_e(\alpha) d\Omega = 2\pi \int_{\alpha_1}^{\alpha_n} I_e(\alpha) \sin\alpha d\alpha$$

$\Delta\Omega$  – зональный телесный угол, в пределах которого распространяется излучение источника; определяется в продольной плоскости углами  $\alpha_1$  и  $\alpha_n$

Производим перевод измерений спектров из относительных единиц в абсолютные, Вт/нм.

$$k_W := \frac{84.8 \cdot 6.9^2}{683 \cdot \left( \int_{360}^{800} \Phi W\lambda(\lambda, 600) \cdot V\lambda(\lambda) d\lambda \right)}$$

$$k_W = 0.248$$

В результате получаем нормировочный коэффициент, позволяющий осуществлять перевод из относительной спектральной интенсивности излучения (отн.ед/нм) каждого канала в энергетические (Вт/нм).

4) Установим аналитическую зависимость, в виде сплайна, потребляемой электрической мощности осветителя (Вт) от тока (мА) для каждого канала (рисунок 2.8). И получаем значения электрической мощности, потребляемой светодиодами.

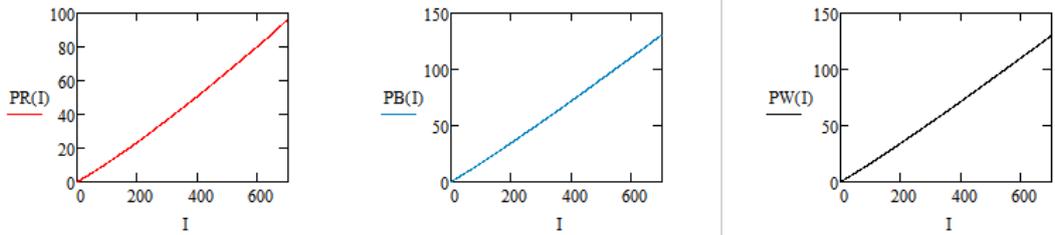


Рисунок 2.8 - Аналитическая зависимость потребляемой мощности осветителя от величины протекающего тока

5) Записываем формулы для спектрального энергетического потока излучения (Вт/нм) осветителя для каждого канала и их совокупности в зависимости от тока светодиодов каждого канала.

$$R\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := k_W \cdot kF_R \Phi R \lambda(\lambda, I_R)$$

$$B\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := k_W \cdot kF_R \Phi B \lambda(\lambda, I_B)$$

$$W\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := k_W \cdot kF_R \Phi W \lambda(\lambda, I_W)$$

$$\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := R\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) + B\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) + W\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W)$$

После чего, записываем формулы для спектрального квантового и молярного потока излучения (квант/нм и микромоль/нм) осветителя для каждого канала и их совокупности в зависимости от тока светодиодов каждого канала:

$$N_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := \left( \frac{\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot \lambda}{\text{data}_E \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} \right)$$

$$\mu Me_{\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := N_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot \frac{10^6}{6.022 \cdot 10^{23}}$$

$$R_{N_{e\lambda}}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := \left( \frac{R\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot \lambda}{\text{data}_E \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} \right)$$

$$R_{\mu Me_{\lambda}}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := R_{N_{e\lambda}}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot \frac{10^6}{6.022 \cdot 10^{23}}$$

$$B_{N_{e\lambda}}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := \left( \frac{B\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot \lambda}{\text{data}_E \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} \right)$$

$$B_{\mu Me_{\lambda}}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := B_{N_{e\lambda}}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot \frac{10^6}{6.022 \cdot 10^{23}}$$

$$W_{N_{e\lambda}}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := \left( \frac{W\Phi_{e\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot \lambda}{\text{data}_E \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}} \right)$$

$$W_{\mu\text{Me}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) := W_{\text{Ne}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot \frac{10^6}{6.022 \cdot 10^{23}}$$

б) Рассчитываем необходимые данные по следующим формулам и выводим их в виде таблицы (рисунок 31):

$$\Phi_{\text{e\_RED}} := \int_{360}^{800} R\Phi_{\text{e}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) d\lambda$$

$$\Phi_{\text{e\_WHITE}} := \int_{360}^{800} W\Phi_{\text{e}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) d\lambda$$

$$\Phi_{\text{e\_BLUE}} := \int_{360}^{800} R\Phi_{\text{e}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) d\lambda$$

$$\Phi_{\text{e\_RED}} := \int_{360}^{800} R\Phi_{\text{e}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) d\lambda$$

$$\Phi_{\text{e\_400\_500}} := \int_{400}^{500} \Phi_{\text{e}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) d\lambda$$

$$\Phi_{\text{e\_500\_600}} := \int_{500}^{600} \Phi_{\text{e}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) d\lambda$$

$$\Phi_{\text{e\_600\_700}} := \int_{600}^{700} \Phi_{\text{e}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) d\lambda$$

$$\Phi_{\text{e\_400\_700}} := \int_{400}^{700} \Phi_{\text{e}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) d\lambda$$

$$\Phi_{\text{e\_total}} := \int_{360}^{800} \Phi_{\text{e}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) d\lambda$$

$$\Phi_{\text{v\_total}} := 683 \cdot \int_{380}^{760} \Phi_{\text{e}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$\mu\text{Me\_total} := \int_{360}^{800} \mu\text{Me}_\lambda(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot d\lambda$$

$$\mu\text{Me\_RED} := \int_{360}^{800} R_{\mu\text{Me}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot d\lambda$$

$$\mu\text{Me\_BLUE} := \int_{360}^{800} B_{\mu\text{Me}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot d\lambda$$

$$\mu\text{Me\_WHITE} := \int_{360}^{800} R_{\mu\text{Me}_\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot d\lambda$$

$$\mu\text{Me\_400\_700} := \int_{400}^{700} \mu\text{Me}_\lambda(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot d\lambda$$

$$\frac{\mu\text{Me\_400\_700}}{P_{\text{total}}} = \text{data25}$$

$$\mu\text{Me\_400\_500} := \int_{400}^{500} \mu\text{Me}_\lambda(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot d\lambda$$

$$\mu\text{Me}_{500\_600} := \int_{500}^{600} \mu\text{Me}_{\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot d\lambda$$

$$\mu\text{Me}_{600\_700} := \int_{600}^{700} \mu\text{Me}_{\lambda}(\lambda, I_R, I_B, I_W) \cdot d\lambda$$

## 2.4 Анализ и выбор спектральных режимов для экспериментов

Для экспериментов было подобрано шесть постоянных режимов облучения и два динамических (изменение в течение роста образцов). Режимы работы облучательной установки настроены таким образом, чтобы создавать одинаковый уровень плотности фотосинтетического фотонного потока, но при этом иметь разное соотношение пиков в спектре. Так как любое растение является нелинейным приемником излучения, для исключения погрешностей, связанных с применением метода оценки выходных реакций при одинаковом входном воздействии все эксперименты, повторялись не менее 3 раз. Причем в рамках одного эксперимента в ячейках фитотрона выращивалось по 27 экспериментальных образцов. Отклонение результатов измерений морфометрических параметров исследуемых объектов при повторных экспериментах не превышали +/- 5 мм.

Расчет фотосинтетического фотонного потока, а также потока в энергетических величинах проводился по методике, представленной в главе 2.4., а также проверялся с помощью специализированного прибора ТКА-Фар. Спектры облучения были измерены с помощью спектрофотометра «ТКА-Спектр (ФАР)» (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 - Спектрофотометр ТКА-Спектр (ФАР)

Таблица 5 - Характеристики спектрофотометра AvaSpec-ULS2048

Основные технические характеристики	
Диапазон измерения полной облучённости (два режима измерения)	100 ÷ 600 000 мВт/м <sup>2</sup> (калибровка по источнику типа А)
Режим измерений	Непрерывный/Пауза
Спектральный диапазон, нм	400 ÷ 790
Основная относительная погрешность измерений облучённости	± 10,0 %
Приёмник	Полихроматор, 128-пиксельная линейка кремниевых фотоэлементов
Количество точек опроса	118
Шаг сканирования, нм	3,33
Оптическое разрешение (FWHM), нм	9,9

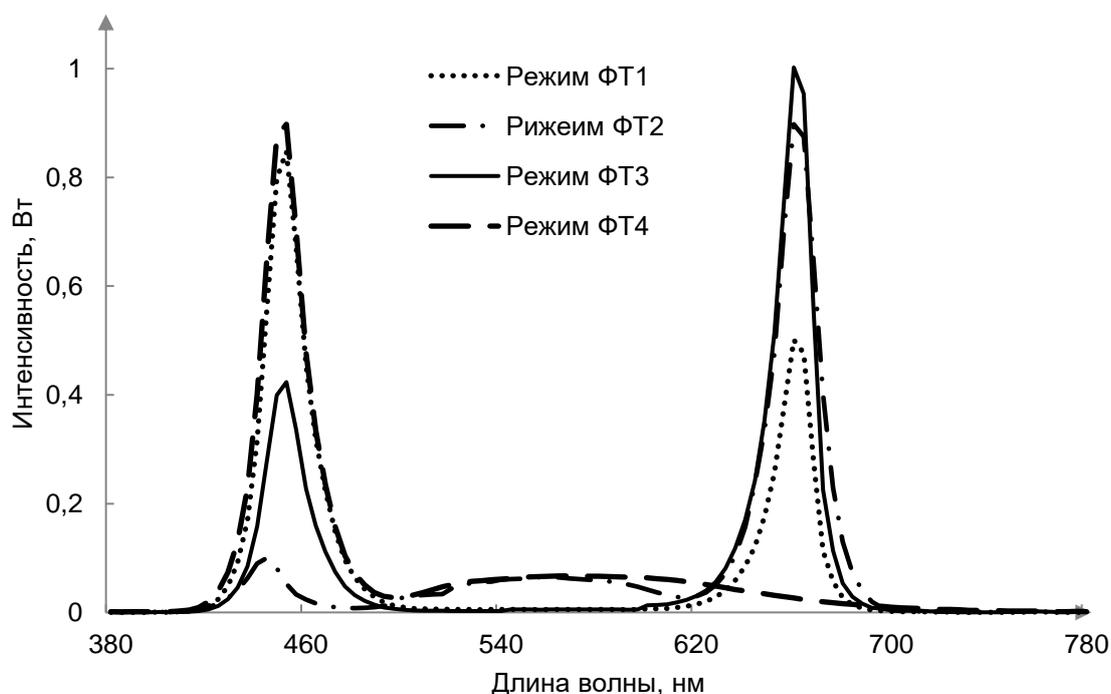


Рисунок 2.10 - Спектры излучения ОУ в ячейках фитотрона 1-4

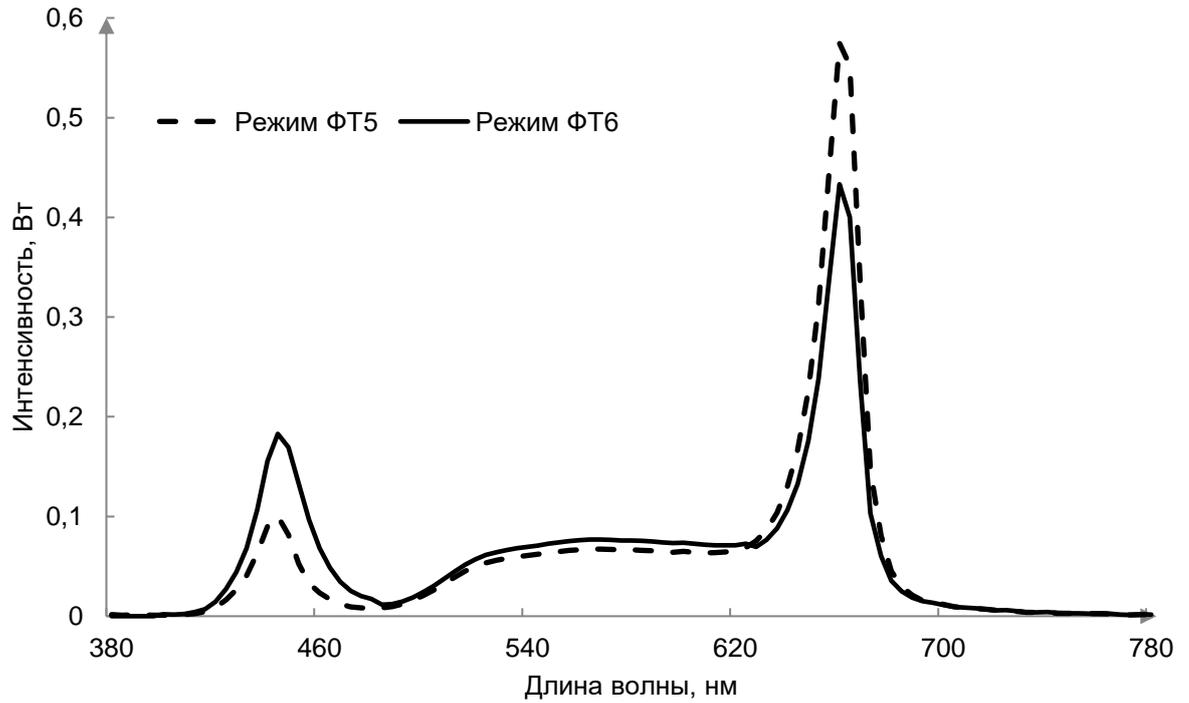


Рисунок 2.11 - Спектры излучения ОУ в ячейках фитотрона 5-6

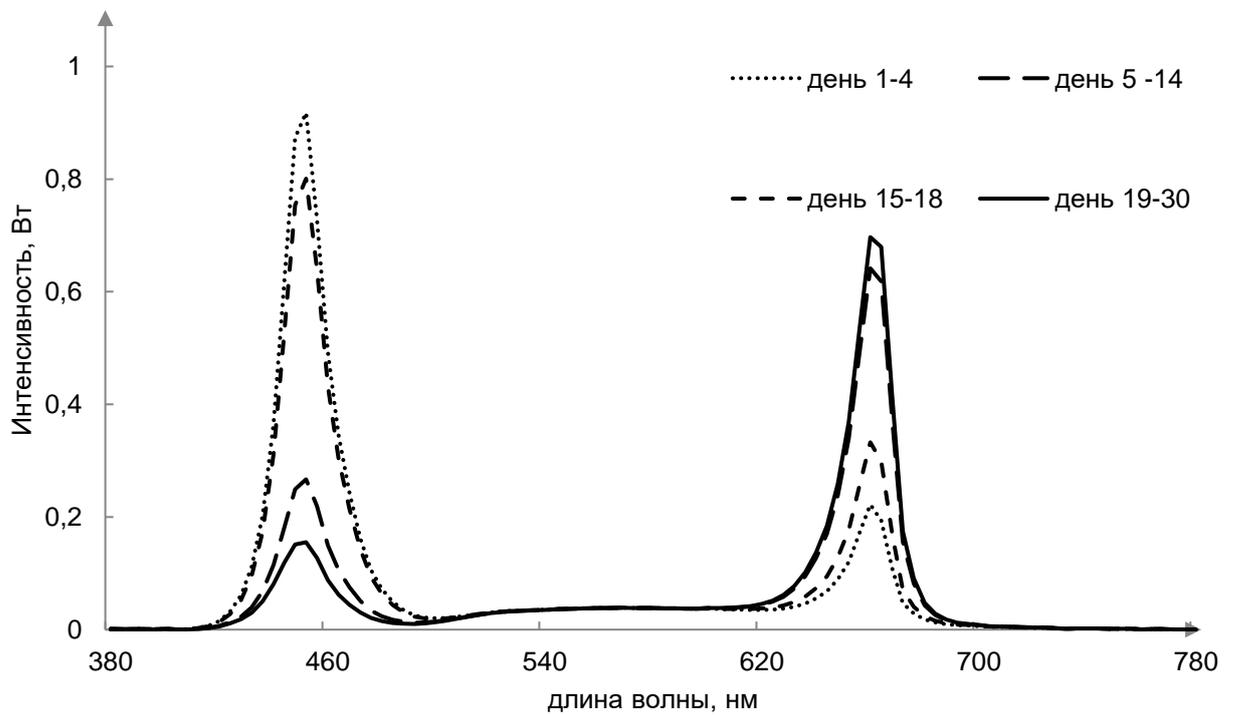


Рисунок 2.12 - Спектры излучения ОУ для разных периодов вегетации в ячейках фитотрона 7

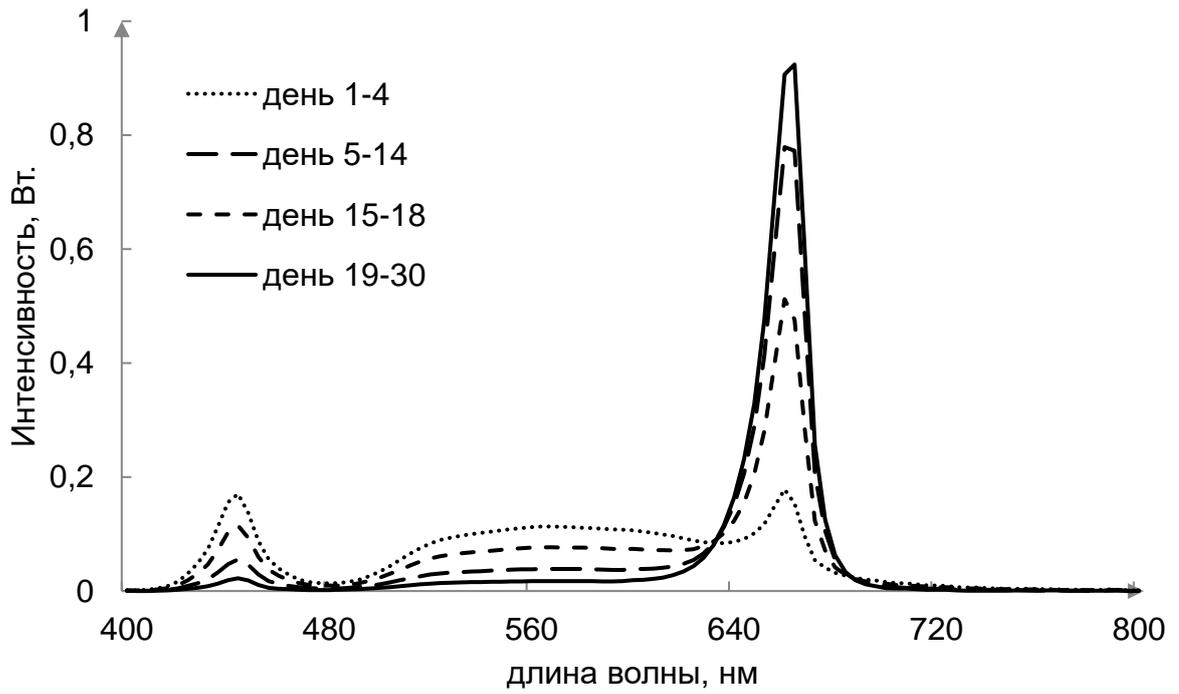


Рисунок 2.13 - Спектры излучения ОУ для разных периодов вегетации в ячейках фитотрона 8

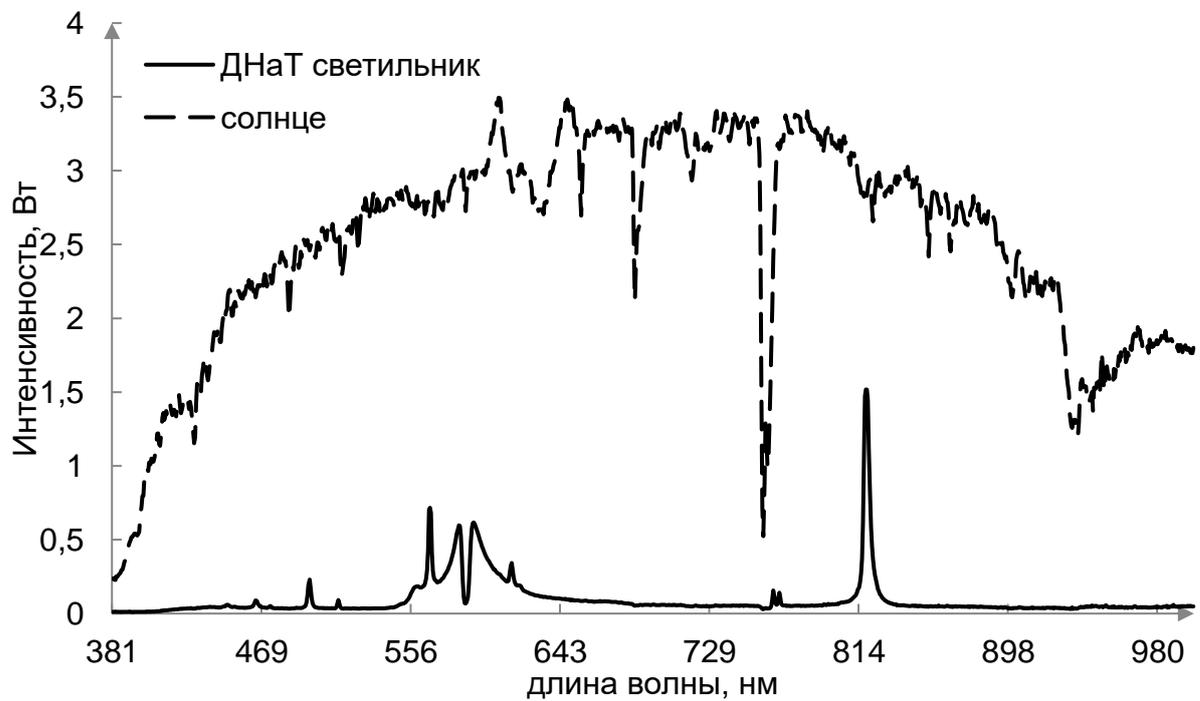


Рисунок 2.14 - Спектры излучения ОУ в теплице

Режим ФТ 1 – узкополосное излучение с преобладанием синей составляющей, соотношение фитопотоков в областях 400-500, 500-600, 600-700 составили 1,4:0:1 соответственно;

Режим ФТ 2 – широкополосное излучение с ярко выраженным максимумом в красной области, соотношение фитопотоков в областях 400-500, 500-600, 600-700 составили 1:1:3,5 соответственно;

Режим ФТ 3 – узкополосное излучение с максимумами в красной и синей областях, соотношение фитопотоков в областях 400-500, 500-600, 600-700 составили 1:0:2 соответственно;

Режим ФТ 4 – широкополосное излучение с ярковыраженным максимумом в синей области, соотношение фитопотоков в областях 400-500 нм, 500-600 нм, 600-700 нм составили 3,5:1:1 соответственно;

Режим ФТ 5 – широкополосное излучение, сформированное с помощью двух цветовых компонент (белый и красный светодиод), соотношение фитопотоков в областях 400-500 нм, 500-600 нм, 600-700 нм составили 1:3:8 соответственно;

Режим ФТ 6 – широкополосное излучение, сформированное с помощью трех цветовых компонент (белый, синий и красный светодиод), соотношение фитопотоков в областях 400-500 нм, 500-600 нм, 600-700 нм составили 1:1,5:4 соответственно;

Режим ФТ 7 – динамический режим облучения, сформированный с помощью трех цветовых компонент (белый, синий и красный светодиод);

Режим ФТ 8 – динамический режим облучения, сформированный с помощью двух цветовых компонент (белый и красный светодиод);

Таблица 6. Энергетические и квантовые характеристики экспериментальных режимов облучения

Режим облучения	Соотношение фитопотоков, %			PPFD, мкмоль*м <sup>2</sup> *с <sup>-1</sup> 400-700 нм	Освещенность, клк	Распределение Электрической Мощности ОУ, Вт/м <sup>2</sup>	
	440-500 нм	500-600 нм	600-700 нм				
ФТ 1	58	1	41	260±10	6,1	102	
ФТ 2	17	19	64		14,2	104	
ФТ 3	37	2	61		16,0	95	
ФТ 4	68	19	13		10,5	102	
ФТ 5	8	22	70		17	101	
ФТ 6	15	23	62		15,2	104	
Т7	день 1-4	65	10		25	10,5	110
	день 5-14	21	13		66	15,9	96
	день 15-18	68	13		19	9,8	106
	день 19-30	13	12		75	15,7	95
Т8	день 1-4	15	40		45	12,6	104
	день 5-14	5	12		83	15,5	93
	день 15-18	12	32		56	15,4	103
	день 19-30	2	6		92	9,1	90
ДНаТ	6	43	51	18,5	160		

## 2.5 Обсуждение результатов экспериментов

Для анализа эффективности воздействия светодиодного излучения были построены зависимости ширины и длины листа образца от его возраста для разных режимов облучения (рисунок 2.15-2.18)

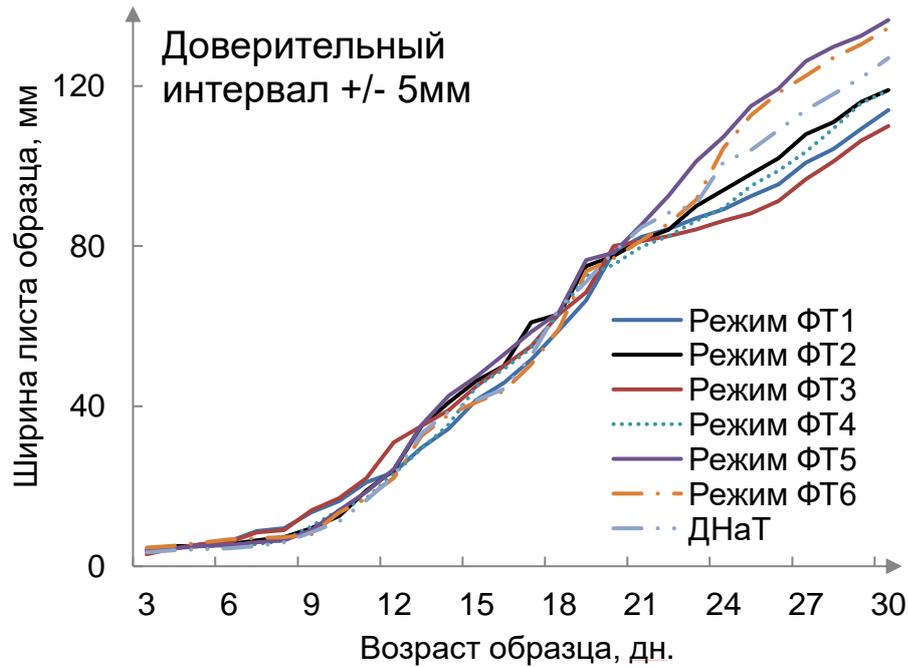


Рисунок 2.15 - Зависимость ширины листа образца от его возраста

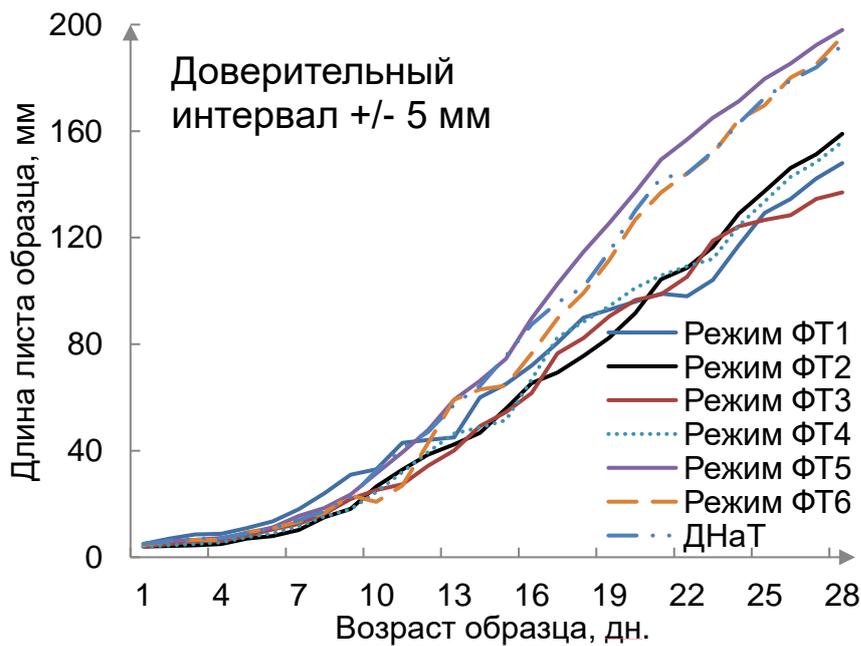


Рисунок 2.16 - Зависимость длины листа образца от его возраста

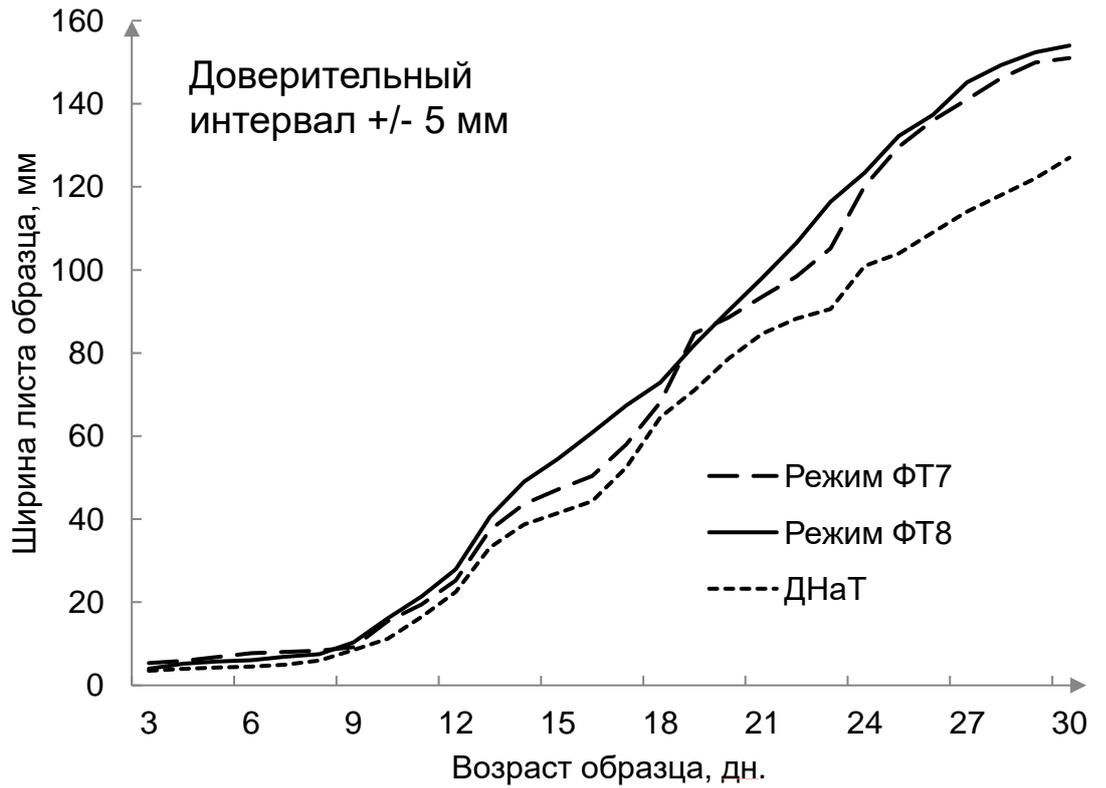


Рисунок 2.17 - Зависимость ширины листа образца от его возраста

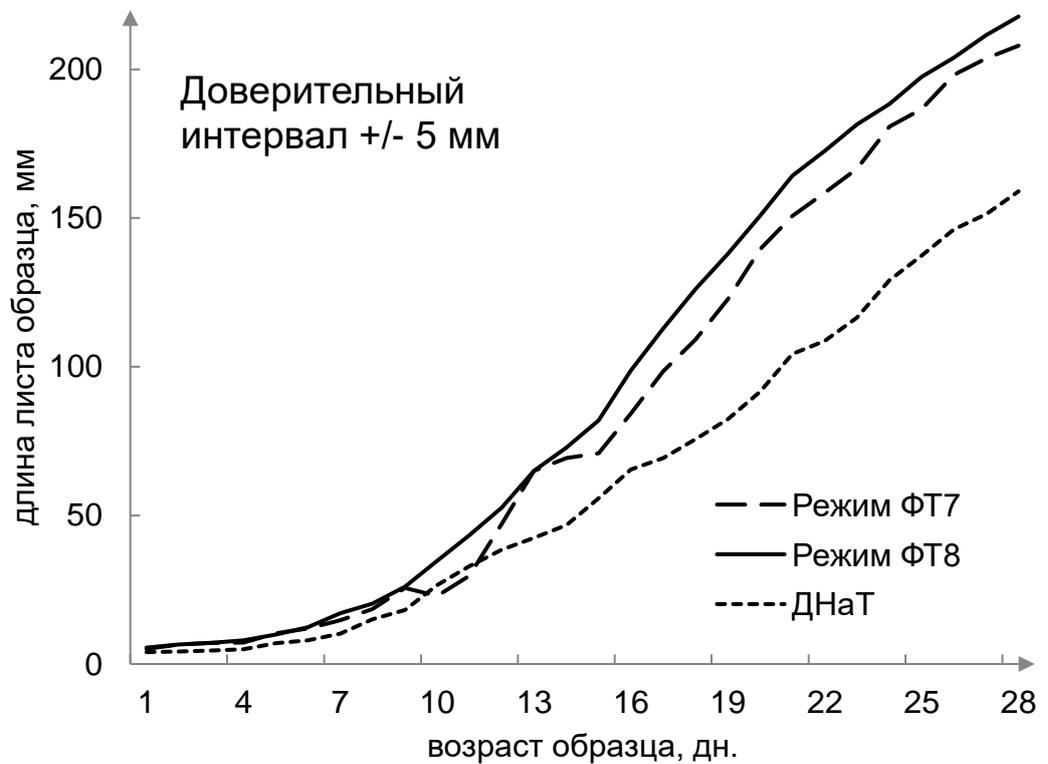


Рисунок 2.18 - Зависимость длины листа образца от его возраста

По окончанию эксперимента были измерены масса и площадь листьев, а также масса корневой системы для образцов (таблица 7).

Таблица 7 – Масса и площадь листьев салата выращенных в разных режимах

Режим облучения	Масса листьев, г	Масса корневой системы, г	Площадь листьев, см <sup>2</sup>
ФТ1	55,6	6,27	276,6
ФТ2	68,8	5,27	316,3
ФТ3	60,9	5,04	254,4
ФТ4	55,9	6,01	305,4
ФТ5	84,9	5,53	401,3
ФТ6	85,9	5,62	419,2
ФТ7	94,9	5,53	461,4
ФТ8	95,8	5,62	472,3
ДНаТ	89,8	6,22	462,2

Проанализировав рисунки 2.16-2.20 и таблицу 7, можно сделать вывод, что наилучшие показатели развития образцов были получены при облучении в режиме ФТ8. При облучении в данном режимах, салат опережал в развитии контрольный образец (ДНаТ) на 6 дней.

Как показали эксперименты, данный спектральный состав можно сформировать двумя путями:

- 1) Комбинация синего, белого и красного светодиодов (ФТ7);
- 2) Комбинация белого и красного светодиода (ФТ8).

Для уменьшения стоимости светового прибора целесообразнее использование второго способа (два светодиода - белый и красный). Так как видно (рисунок 2.19-2.20, таблица 7), что развитие растений при облучении трехцветным и двухцветным светом практически не отличается.

Далее было проведено сравнение потребления электроэнергии при облучении салата ДНаТ облучателем и светодиодным световым прибором со сформированным спектрально-квантовым режимом:

1) Динамический режим (ФТ8) - мощность облучательной установки 104 Вт для первой стадии роста, 93 Вт - для второй стадии, 103 Вт - для третьей и 90 Вт – для четвертой, период облучения 50, 170, 32 и 56 часов соответственно

$$A_d = \sum_{i=1}^4 P_i \cdot t_i = \quad (3.7.1)$$

$$= 104 \cdot 50 + 93 \cdot 170 + 103 \cdot 32 + 90 \cdot 56 = 29,6 \text{ кВт/ч}$$

2) ДНАТ режим – мощность облучательной установки 160 Вт, период облучения – 380 часов.

$$A_{\text{днат}} = P_{\text{днат}} \cdot t = 160 \cdot 380 = 60,8 \text{ кВт/ч} \quad (3.7.2)$$

Таким образом, сформирован эффективный спектрально-квантовый режим облучения тепличного салата, который позволяет снизить потребление электроэнергии облучательной установками в 2,7 раз, по сравнению с традиционным освещением газоразрядными лампами, а продуктивность выращивания салата повысить на 15 % за счет уменьшения периода вегетации.

Проведем технико-экономическое сравнение, светодиодной облучательной система с разработанным режимом облучения и традиционных газоразрядных светильниках типа ДНАТ при их использовании в условной теплице площадью 1000 м<sup>2</sup>. Используем для этого известные формулы [9]:

$$T = \frac{K_{led} - K_{Na}}{\mathcal{E}_{Na} - \mathcal{E}_{led} + 0,15\Pi} \quad (3.7.3)$$

Где, T – срок окупаемости, K – капитальные затраты, Э – эксплуатационные затраты, П – прибыль от реализации салата.

Капитальные затраты рассчитаем по формулам:

$$K_{Na} = N_{Na} \cdot (A_{Na} + B_{Na}) \quad (3.7.4)$$

$$K_{led} = N_{led} \cdot B_{led} \quad (3.7.5)$$

Где N – количество светильников, B – стоимость светильника, A – стоимость лампы в светильнике.

Эксплуатационные затраты рассчитаем по формулам:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{Na} &= \frac{K_{\text{ПРА},Na} \cdot N_{Na} \cdot P_{л,Na} \cdot t_d \cdot x}{1000} + \frac{N_{Na} \cdot t_d \cdot A_{Na}}{t_{л,Na}} + \frac{N_{Na} \cdot t_d \cdot B_{Na}}{t_{\text{св-ка},Na}} \\ \mathcal{E}_{led} &= \frac{N_{led} \cdot P_{led} \cdot t_d \cdot x}{1000} + \frac{N_{led} \cdot t_d \cdot B_{led}}{t_{led}} \end{aligned}$$

Где,  $K_{\text{ПРА},Na}$  – коэффициент учитывающий потери мощности в ПРА светильников,  $P$  – номинальная мощность используемых светильников,  $t_d$  – необходимая продолжительность искусственного освещения в год,  $x$  – тариф на электроэнергию,  $t_{л,Na}$  – срок службы лампы ДНаЗ 600,  $t_{\text{св-ка},Na}$  – срок службы газоразрядного светильника,  $t_{led}$  – срок службы светодиодного светильника.

Подставим численные значения:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{Na} &= \frac{1,07 \cdot 250 \cdot 640 \cdot 5475 \cdot 3,8}{1000} + \frac{250 \cdot 5475 \cdot 1200}{18000} + \frac{250 \cdot 5475 \cdot 6800}{35000} \\ &= 3\,918\,994 \end{aligned}$$

$$\mathcal{E}_{led} = \frac{625 \cdot 160 \cdot 5475 \cdot 3,8}{1000} + \frac{625 \cdot 5475 \cdot 12000}{50000} = 2\,901\,750$$

$$K_{Na} = 250 \cdot (1200 + 6800) = 2\,000\,000$$

$$K_{led} = 625 \cdot 12000 = 7\,500\,000$$

Рассчитываем абсолютную прибыль от реализации выращенного в данной теплице салата (расчет проведен на основе данных реальной теплицы г. Томска, ООО «Овощевод»). Урожайность салатной линии за 10 мес. (период светокультуры в теплице) составит 91 493 горшочка. При средней цене реализации в Томской области 30 рублей за горшочек и норме прибыли 25% абсолютная прибыль составит 686 197 руб/год.

$$T = \frac{7500000 - 2000000}{3918994 - 2901750 + 0,15 * 686187} = 4,8$$

Таким образом, использование разработанного режима на светодиодных облучателях по сравнению с облучателями НЛВД в промышленной теплице окупит себя за 4,8 лет.

## 2.6 Выводы по главе 2

1) Разработан исследовательский комплекс «Фитотрон», позволяющий управлять спектрально-энергетическими характеристиками облучения (спектральный состав, интенсивность), а также моделировать климатические условия. Данный комплекс позволяет проводить исследования влияния спектрально состава и интенсивности облучения на различные объекты, что позволяет получать эффективные режимы облучения.

2) Разработана методика расчета квантовых, спектральных и энергетических характеристик облучения для исследовательского комплекса «Фитотрон» с помощью задания токов, протекающих через светодиоды. Данная методика применяется при проведении исследования для сравнения режимов облучения.

3) Показано, что возможно получить спектральное распределение будущего оптического прибора, при использовании всего двух цветовых компонент (красные и белые светодиоды). Данный результат показывает, что можно отказаться от распространённых соотношений использования красных, зеленых и синих светодиодов (7:0:1, 5:2:3 и т.д) и использовать более простые решения. А также, полученный вариант значительно снизит стоимость облучательной установки, за счет отказа от дополнительных цветовых компонент, а именно синих и зеленых, которые значительно дороже красных и белых компонент.

4) Проведен ряд экспериментов над тепличным салатом, в результате которых получен эффективный динамический спектральный режим его облучения. Показано, что использование данного режима облучения позволит сократить потребление электроэнергии в 2,7 раз, а также повысить продуктивность выращивания салата на 15%.

### **3 НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ**

Требования к системе облучения вытекают из анализа роли облучения в обеспечении физиологических процессов в растении, адаптивности «Системы», универсальности ее применения и возможностей для повышения продуктивности теплиц и с учетом сведений, полученных различными исследователями и приведенных в нормах по освещению теплиц.

Разрабатываемая адаптивная «Система» должна быть предназначена для использования в составе облучательных установок (ОБУ) при выращивании любых сельскохозяйственных культур в стандартных и нестандартных теплицах любого типа в качестве адаптивного, управляемого по спектру и потоку основного или дополнительного источника излучения.

«Система» в автоматическом режиме должна обеспечивать необходимое и достаточное по спектру и потоку ФАР дополнительное к солнечной радиации или к существующему искусственному освещению (от других источников) излучение на всех стадиях роста и развития растения с учетом метеоусловий, времени года и других внешних факторов. Эти возможности обеспечиваются применением:

- специальных светодиодных облучателей для теплиц (система облучения);
- аппаратно программного комплекса (система управления и мониторинга), управляющего параметрами излучения;
- наличием научно обоснованной «базы данных» оптимальных параметров облучения для каждого этапа роста и развития растения, обеспечивающих их высокую продуктивность.

### 3.1 Обоснование и выбор параметров и характеристик системы облучения

Центральная задача при разработке «Системы» - правильный выбор базового спектра излучения светодиодного модуля. Облучатель должен состоять из ряда светодиодов, излучающих в различных областях спектра (например, «синих», «белых» и «красных»), с суммарным спектром, перекрывающим весь диапазон ФАР. Светодиоды подобраны таким образом, чтобы создавать исходный спектр излучения с научно обоснованным соотношением потоков в синей, красной и зеленой областях [15,16,50,51] и обеспечивать любые соотношения этих составляющих (путем изменения токов светодиодов) при сохранении среднего значения ФАР, а также изменять суммарный поток ФАР от нулевого значения до номинального (среднего). Это позволит в полном объеме реализовать потенциальные возможности светодиодных источников излучения для растениеводства [52-56]:

- вариабельность, то есть возможность управления параметрами излучения, возможность их корректировки в процессе роста и развития растений

- универсальность - возможность применения (приспособления) облучателя к любому виду растения или любому режиму его облучения. Например, если есть необходимость увеличить вегетативную часть растений, можно использовать преимущественно синий спектр, если требуется стимуляция цветения и плодоношения, то могут использоваться преимущественно красные светодиоды, а также могут использоваться различные комбинации синих, белых, красных светодиодов для обеспечения гармоничного развития растения.

- адаптивность к сезонным и текущим изменениям параметров солнечной радиации или необходимым на данном этапе развития растения спектрам и потокам ФАР. Например, возможность управлять потоками в

зависимости от погодных условий (ясно, облачно, пасмурно) или стадий развития растения.

- повышение продуктивности путем корректировки качества и количества излучения на разных этапах роста и развития растений.

- энергоэффективность.

Например, по данным различных авторов только применение светодиодов без корректировки параметров излучения приводит к снижению расходов на светокультуру в 2,5 раза от существующих показателей [57-60]. Энергоэффективность существенно увеличится с использованием системы корректировки качества и количества излучения на разных этапах роста и развития растений и адаптивности к климатическим условиям.

- высокий срок службы (50...100 тыс. ч.).

- экономичность,

- отсутствие деградации светового потока, свойственного традиционным тепличным светильникам с лампами ДНаТ

- отсутствие нагрева

- удобство обслуживания

- улучшение экологической обстановки в теплице

- и др.

### **3.1.1 Выбор оптимального состава и номинала светодиодов для разрабатываемой адаптивной системы**

Результаты анализа, приведенного в главе 1, свидетельствуют о том, что оптимальный спектр адаптивного светодиодного облучателя должен охватывать всю область ФАР (380 – 750 нм). Однако для выполнения регулирующих функций потока излучения зеленой составляющей ее может быть всего несколько процентов по интенсивности от общего фитопотока. Исходя из номенклатуры выпускаемых промышленностью светодиодов наиболее оптимальный вариант состава светодиодов для выполнения данного условия: светодиод красный ( $\lambda_p = 660$  нм), светодиод белый

(теплый/холодный оттенок) и светодиод синий ( $\lambda_p = 430$  нм). На рисунках 3.1 – 3.4 показаны спектры макета облучателя для закрытого грунта, с выбранными светодиодами. На рисунках 3.1-3.3 данные представлены в относительных единицах, а на рисунке 3.4 в абсолютных - данные значения получены при проведении светотехнических обследований изготовленного макета оптического прибора.

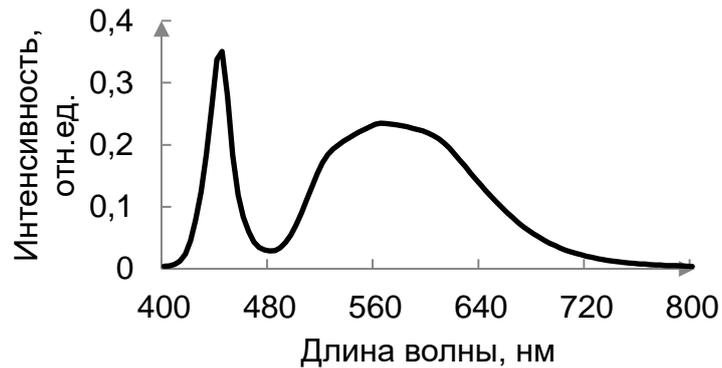


Рисунок 3.1 - Спектр излучения белого светодиода

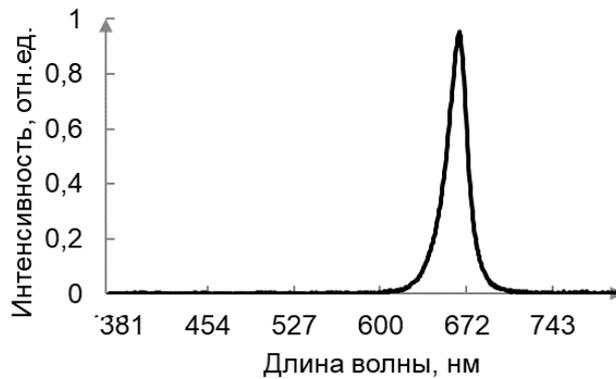


Рисунок 3.2 - Спектр излучения красного светодиода

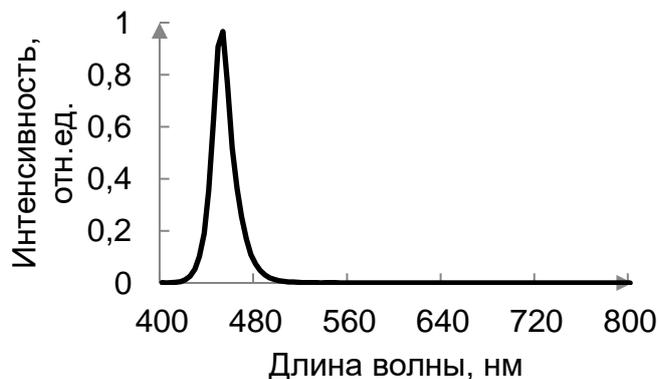


Рисунок 3.3 - Спектр излучения синего светодиода

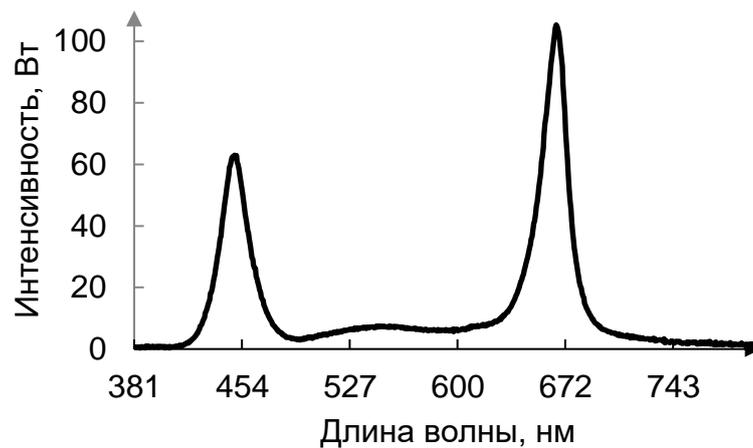


Рисунок 3.4 - Спектр излучения макета облучателя

### 3.1.2 Выбор конструкции оптического прибора

Одна из основных проблем существующих светильников для теплиц, это неравномерное распределение облученности на поверхности растений. Таким образом, была поставлена задача: разработать конструкцию светового прибора, обеспечивающего равномерное облучение растений. Основное назначение предлагаемого облучателя – облучение высокорослых растений в промышленных теплицах. Габариты облучателя должны быть такими, чтобы он создавал наименьшее затенение для естественного света. Светодиодные источники позволяют разрабатывать практически любые по форме и мощности облучатели. Поскольку высокорослые растения (огурцы, томаты) в теплице растут в виде длинного ряда с расстоянием между ними около метра, то целесообразно создавать облучатель в виде линии состоящей из отдельных облучателей с приблизительной шириной 0,05 м и располагать его вдоль рядов растущих растений. С такими габаритами делают облучатели для теплиц, например, фирма PHILIPS [61].

Такая конфигурация облучательной установки на основе протяженных облучателей позволяет создать боковое освещение растения с достаточно узкой диаграммой направленности и равномерной облученностью всех листьев по высоте ствола. Анализ различных возможных вариантов

облучателей, таких как многоярусное облучение, системы верхнего и бокового облучения, показывает, что другие варианты облучательной установки, при условии равномерной облученности всех листьев по высоте ствола более сложны в изготовлении и последующем обслуживании. Это приведет к удорожанию системы облучения растений.

Необходимая кривая распределения излучения (КСИ) зависит от места расположения облучателя в теплице и преимущественным направлением потока, падающего на высокорослое растение. Как показал анализ, наиболее оптимальным является расположение светильников на высоте 4–6 метров (типичная теплица) над рядами растений. В этом случае можно организовать боковое освещение растения с достаточно равномерной перпендикулярной облученностью всех листьев по высоте ствола. Выбранная схема облучения и расположения облучателей показана на рисунке 3.5.

Для высокорослых растений, которые достигают высоты в несколько метров, хорошим приближением будет такое распределение облученности, когда нормируется одинаковое ее значение на площадках, расположенных перпендикулярно направлению распространения лучей, падающих под разными углами вдоль оси растения (рисунок 3.5) [62, 63].

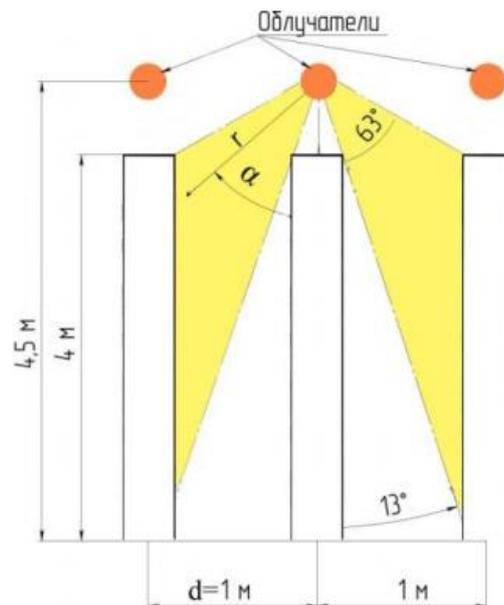


Рисунок 3.5 - Схема облучения растений одним рядом облучателей

Листья растения приблизительно так и расположены. Таким образом, при соответствующем уровне облученности, вся листовая поверхность будет находиться на линейном участке кривой фотосинтетической активности и, соответственно, будет обеспечиваться максимально эффективный расход излучения (электроэнергии). Стоит отметить, что в отличие от вертикальной или горизонтальной освещенности, перпендикулярная освещенность изначально является наиболее правильной оценкой поля излучения с точки зрения энергетики [64].

Понятие горизонтальной и вертикальной освещенности (облученности) изначально формулировались для целей восприятия неких плоскостей зрительным аппаратом человека. Глаз человека является вторичным приемником излучения (видит отраженный свет), а лист растения является первичным приемником излучения, по отношению к падающему излучению. Итак, перпендикулярная облученность на площадке, нормальной по направлению распространения луча  $I_0$  (рисунок 3.5), обратно пропорциональна  $r^2$ ,

$$E_N(r) = I_0 / r^2 \quad (3.1.2.1)$$

где  $r$  – расстояние от источника до точки падения луча на вертикальную расчетную плоскость вдоль растения.

Функция перпендикулярной облученности от угла облучения  $\alpha$

$$E_N(\alpha) = I_0 / \left[ (d/\operatorname{tg}(\alpha))^2 + d^2 \right] \quad (3.1.2.2)$$

При этом  $I_0$  должна быть постоянной в любой расчетной точке перпендикулярной ей плоскости. При расчетах КСИ расчетная плоскость была расположена таким образом, чтобы она совпадала со стволами растений, то есть на расстоянии 1 м от вертикальной плоскости расположения светильника (рисунок 3.5).

Стоит отметить, что схема, представленная на рисунке 3.5, является классической, известной как протяженный (линейный) облучатель [64]. Это обстоятельство позволяет не формировать КСИ в продольной плоскости. То есть, мы можем существенно упростить оптическую схему за счет того, что КСИ должна быть сформирована только в одной (поперечной) плоскости. Формирование КСИ, в таком случае, может быть выполнено протяженными оптическими элементами. Эти протяженные оптические элементы могут быть изготовлены в виде протяженных линз или протяженных зеркальных поверхностей. Использование современных зеркальных материалов, для данной задачи, более эффективно в плане освоения производства и эксплуатации, чем освоение производства и эксплуатация оптических элементов на основе оптических диэлектриков. Необходимо отметить, что в случае использования линзовой оптики для светодиодов, излучающих в разных спектральных областях придется использовать разные линзы из-за разных коэффициентов преломления для разных длин волн.

### **3.1.3 Расчет распределения силы излучения (КСИ)**

Определившись с геометрией расположения светильников (рисунок 3.5) проведем расчет КСИ. На рисунке 3.6, приведен пример расчета необходимой (теоретической) КСИ в перпендикулярной плоскости относительно корпуса облучателя, в полярных координатах для достижения равномерной освещенности в плоскостях перпендикулярных направлению излучения для схемы, приведенной на рисунке 3.5.

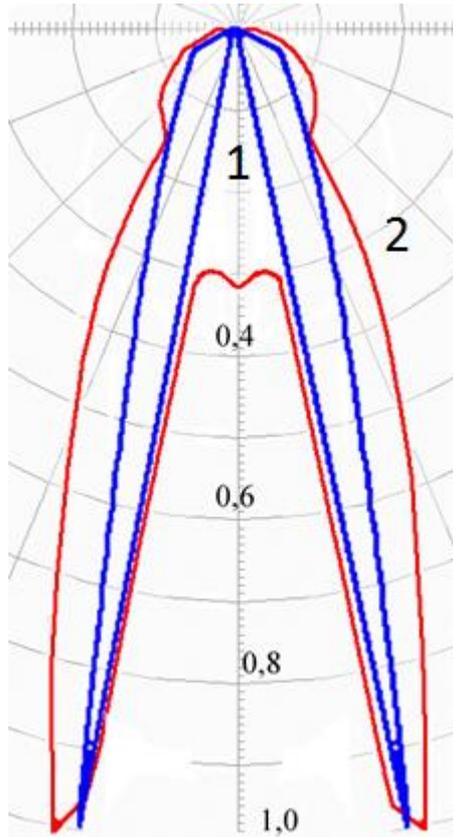


Рисунок 3.6 – КСИ в полярных координатах. Где 1 - соответствует получению равномерной облученности в плоскостях перпендикулярных направлению излучения согласно рисунку 3.5; 2 – распределение, которое может быть получено за счет отражательных оптических элементов.

### 3.1.4 Расчет оптической системы

Исходные данные для расчета оптической схемы:

- расчет оптической схемы производился в программном комплексе Lighttools 5.1 [65].

- при моделировании, в качестве источника излучения использовались ламбертовский излучатели размером (3x3) мм, аналог светодиодов CREE серий XPE или XTE [45]. Данные светодиоды были выбраны по ряду причин:

- соответствие продукции самым современным требованиям;
- наиболее полная и достоверная техническая информация;
- широкий спектр продукции, т.е. в унифицированном корпусе реализован ряд мощных и энергоэффективных светодиодов с различными

спектральными характеристиками, что может упростить возможную дальнейшую модификацию облучателей.

В качестве красного светодиода, имеющего полосу излучения в максимуме 660 нм был применен светодиод марки - XPERHR-L1-0000-00801;

В качестве синего светодиода, имеющего полосу излучения в максимуме 445 нм был применен светодиод марки - XTEARY- 00-0000-000000L07;

В качестве белого светодиода имеющего цветовую температуру 6000 К и коэффициент цветопередачи 70 был применен светодиод марки - XTEAWT-00-0000-000000GE3 [45];

КСИ была сформирована за счет профилированных отражателей, изготовленных из материала ALANOD MIRROR 2 SILVER имеющего коэффициент отражения 98 % [66];

Программный комплекс Lighttools позволяет создавать оптические поверхности, как произвольной формы (импорт геометрии из других САД-программ), так и за счет встроенных инструментов, основанных на математических формулах, принятых в оптике. Результаты моделирования показали, что заданное распределение возможно получить, используя простые цилиндрические отражатели (рисунок 3.7):

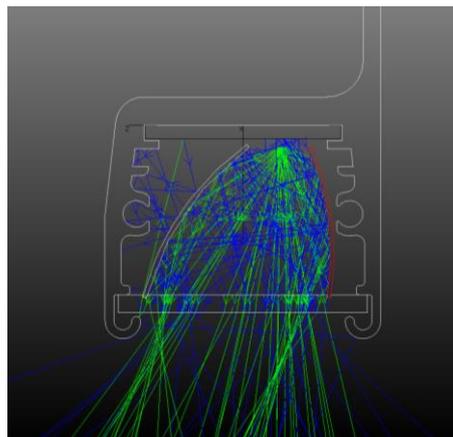


Рисунок 3.7 - Ход световых лучей в оптическом приборе

### 3.1.5 Разработка оптимального корпуса

При разработке корпуса облучателя учитывалось то, что он не должен быть широким, чтобы не создавать большой тени от естественного освещения. Облучатель должен светить в две поперечные стороны. Направление потока излучения формировалось двумя отражателями. Исходя из этого в облучателе был сформирован ряд светодиодов с зеркалами. Таким образом, определилась ширина корпуса облучателя 0,031 м. Исходя из заданной базовой мощности и, зная ширину корпуса, можно определить длину корпуса. Она определяется по теплу, выделяемому светодиодами, которое необходимо отвести в окружающую среду. Для этого были проведены тепловые расчеты в программном комплексе SolidWorks (рисунок 3.8).

Корпус выполнен в виде двух одинаковых модулей с одинаковым набором синих, белых и красных светодиодов. Соединены модули между собой так, что между ними образуется зазор 10...20 мм (рисунок 3.9). Модуль включает в себя корпус из алюминиевого сплава отдельного модуля, изготовленный методом экструзии, выполненный в виде единой протяженной детали с h – образным поперечным сечением и является полым. В пазы верхней части корпуса устанавливаются держатели оптических элементов (отражатели). В пазы нижней части корпуса устанавливается защитное стекло и герметизируется резиновой прокладкой. Между отражателем и защитным стеклом на внутренние части корпуса устанавливаются платы светодиодов и завальцовывают (прижимают к корпусу) с помощью выступов. Торцы корпуса закрываются крышками и герметизируются с помощью прокладки. На внешней стороне корпуса (пластины) устанавливается драйвер, для обеспечения стабилизированного тока, проходящего через светодиоды, либо выносятся за пределы корпуса.

Зависимость параметров светодиодов от их температуры — предмет изучения многих научных статей, поскольку выделяемое при работе светодиода тепло оказывает значительное влияние на его характеристики. При

увеличении температуры кристалла резко снижается время жизни светодиода, поэтому вопрос об охлаждении светодиодов достаточно актуален [6, 9, 48]. Важность контроля температуры светодиодов связана с тем, что их рабочая температура составляет всего 85 °С в точке р-п перехода. При температуре в теплице (20-30) °С и учете тепловых сопротивлений внутри облучателя, градиент температур между окружающей средой и корпусом составляет порядка 40 градусов. Очевидно, что при таком малом градиенте эффективность теплоотвода будет не высокой.

В разработанном оптическом приборе, используются светодиоды трех цветов: белый, синий и красный – для получения оптимального спектра. Данные светодиоды в процессе работы выделяют тепло. Для того чтобы светильник соответствовал заданным техническим характеристикам, был спроектирован корпус, таким образом, чтобы тепловой режим работы светодиодов не превышал рекомендуемое производителем значение 85 °С в точке р-п перехода [67].

Существенным минусом существующих газоразрядных и светодиодных оптических приборов являются большие габариты. Для разрабатываемого оптического прибора корпус решено было изготавливать методом экструзии, поскольку он достаточно дешев и имеет высокую производительность. Еще одним преимуществом данного метода является то, что можно менять длину корпуса и, тем самым изготавливать облучатели на различные мощности.

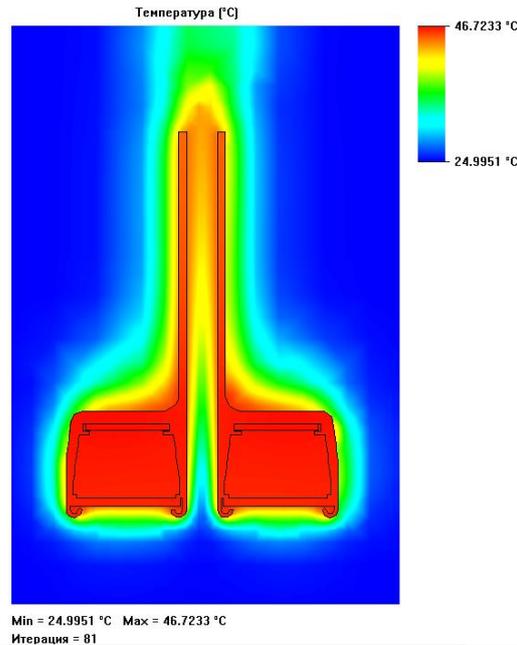


Рисунок 3.8 - Температурное поле оптического прибора

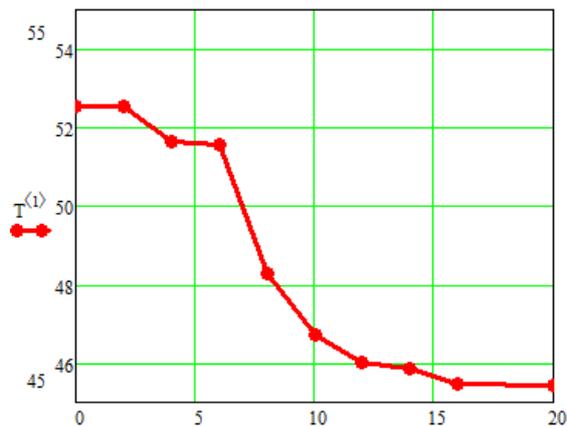


Рисунок 3.9 - Зависимость температуры корпуса от расстояния между модулями оптического прибора

### 3.1.6 Уменьшение потерь света через стенки теплицы за счет предотвращения отражения излучения от поверхности листьев растений

Большинство теплиц изготавливается из светопропускающих материалов (стекло, поликарбонат и т.д.) [68]. При освещении таких теплиц в ночное время, значительная часть света проходит через прозрачные элементы конструкции и расходуется впустую. Что приводит к перерасходу электроэнергии и световому загрязнению.

В связи с этим, предотвращение потерь светового потока через светопропускающие элементы промышленных теплиц, является одним из способов повышения энергоэффективности тепличных комплексов.

Для оценки величины указанных выше потерь, в программе DIALux EVO была рассчитана и построена модель промышленной теплицы (рисунок 60). Площадь тепличной площадки составляет 3456 м<sup>2</sup> (длина – 64 м, ширина 54 м, высота в верхней точке – 4 м.). В качестве материала для прозрачных элементов было выбрано стекло (коэффициент пропускания 88%), т.к. это наиболее распространённый материал, используемый при строительстве промышленных теплиц.

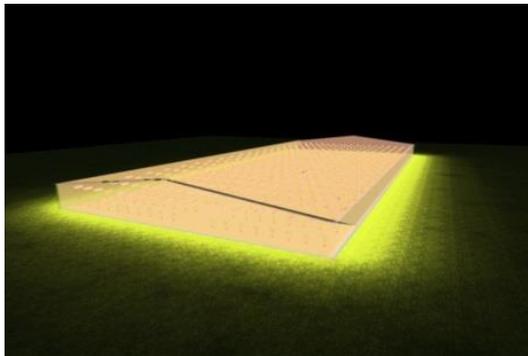


Рисунок 3.10 - Модель освещения промышленной теплицы

Для моделирования освещения были выбраны газоразрядные светильники ЖСП 20-600-702 Агро мощностью 640 Вт, так как на сегодняшний день это один из самых распространённых типов светильников, применяемых в теплицах. В данном светильнике используются ДНаТ лампы мощностью 600 Вт, световой поток, которых составляет 90 клм, а световой поток от светильника – 59,5 клм. Для обеспечения средней освещенности 12 клк [68, 69] на рабочей поверхности, понадобилось 380 светильников общей мощностью – 0,24 МВт. Их общий световой поток составил – 22,63 Млм.

Расчет потерь света через светопропускаемые элементы теплицы, производился по формуле:

$$\Delta\Phi = 100 * \Phi_{сн}/\Phi_0, \quad (3.1.6.1)$$

где  $\Phi_{\text{сн}}$  – это суммарный поток света, прошедший через все стенки теплицы, а  $\Phi_0$  – это общий поток света, излучаемый всеми светильниками.

Поток света, прошедший через стенки теплицы, рассчитывается по формуле:

$$\Phi_{\text{сн}} = E_1 * S_1 + E_2 * S_2 + \dots + E_n * S_n, \quad (3.1.6.2)$$

где  $E$  – это средняя освещенность на рассчитываемой поверхности,  $S$  – это площадь рассчитываемой поверхности, а  $n$  – количество рассчитываемых поверхностей.

С помощью программы DIALux EVO была получена средняя освещенность на рассчитываемых поверхностях теплицы. Далее, по приведённой выше формуле, было рассчитано, что общий поток света, вышедший за пределы теплицы, составил – 6,7 Млм.

На основании полученных данных, была рассчитана величина потерь светового потока через светопропускающие элементы теплицы, которая составила:

$$\Delta\Phi = 100 * 6,7/22,6 = 29,64 \% \quad (3.1.6.3)$$

Данные потери связаны с отражением части светового потока от поверхности листьев. Для подтверждения данного факта было проведено сравнение спектра отражения зеленых листьев (рисунок 3.11) со спектром излучения ДНаТ светильников (рисунок 3.11). Спектры отражения исследуемых образцов в интервале длин волн 280-830 нм, перекрывающем спектральный диапазон 400-700 нм, который является основным для обеспечения процесса фотосинтеза (фотосинтетически активная радиация - ФАР) были измерены согласно методике [10].

Из рисунка 3.11 видно, что максимумы излучения ДНаТ светильника совпадают с максимумами отражения зеленым листом. Это говорит о том, что часть излучения от ДНаТ светильника расходуется впустую, отражаясь от поверхности листьев и выходя за пределы теплицы. Для предотвращения рассчитанных потерь в теплицах используются светоотражающие экраны, что, несомненно, позволяет избежать значительной части потерь светового потока.

Но в свою очередь данные экраны усложняют процесс вентиляции и поддержания необходимого микроклимата в теплице, поэтому в тепличных комплексах эти экраны стараются использовать реже.

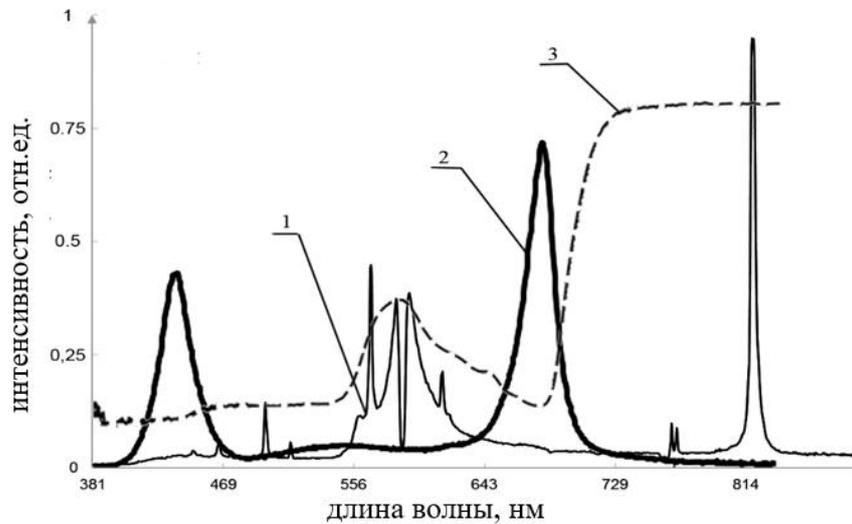


Рисунок 3.11 - Сравнение спектров излучения ДНаТ и СД светильника со спектром отражения зеленого листа

Использование светильника со спектральным составом, сформированным в главе 2.5, может позволить предотвратить данные потери, тем самым повысив энергоэффективность тепличного комплекса, т.к. максимумы излучения данного спектрального распределения совпадают с минимумами отражения зеленых листьев.

Для подтверждения данного высказывания, по формуле (3.1.6.1) были рассчитаны потери света через свето пропускающие элементы теплицы при освещении ее светодиодными светильниками мощностью 150 Вт, со спектром излучения, представленном в главе 2.5. Их общий световой поток был сформирован такой же, как и при моделировании с ДНаТ светильниками – 22,6 Млм, для упрощения сравнения результатов. Далее, было рассчитано, что общий поток света, вышедший за пределы теплицы в этом случае, составил – 1,9 Млм. На основании полученных данных было рассчитано, что величина потерь света при освещении теплицы светодиодными светильниками со спектральным составом представленном в главе 2.5 составляет – 8,4 %.

Таким образом, использование данного спектрального состава уменьшает потребление электроэнергии еще на 21,2 % за счет предотвращения отражения излучения от поверхности листьев.

### **3.2 Обоснование и выбор параметров и характеристик системы управления и мониторинга**

В основе построения энергоэффективной адаптивной системы облучения лежит принцип минимизации количества и качества ФАР для растения. В реальных тепличных условиях выращивания растений режим искусственного облучения может очень сильно зависеть от световой зоны произрастания растения. Поэтому для правильной организации режимов облучения растений, определения «базовых» значений параметров облучателя (мощность, кривая силы излучения, соотношения энергий излучения в разных участках спектра и др.) требуется знать динамику ФАР солнечного излучения в течение года/суток в регионе, где расположена теплица, а также влияние на нее погодных условий.

#### **3.2.1 Исследование зависимости параметров естественной облученности как функции времени**

Для исследований была выбрана точка с координатами 56 град с.ш., 84 град в.д., что соответствует координатам Томска. Был использован ON-LINE сервис [70]. Исследования проводились с использованием ON-LINE калькулятора солнечной радиации [71] и с использованием спектрометра AvaSpec 2048. Исследовались следующие временные зависимости: энергетические ( $\text{Вт/м}^2$ ) и спектральные ( $\text{Вт/м}^2/\text{нм}$ ) облученности горизонтальной поверхности облученности горизонтальной поверхности от: прямого солнечного света (направленная составляющая), небосвода (диффузная составляющая), суммарная (общая) (рисунки 3.12-3.15).

Исследования облученности проводились для следующих временных интервалов: ежемесячно, с 22.01.2018 по 22.06.2018 каждый месяц в 12:00

астрономического времени (астрономический полдень). С утра до полудня, 22.06.2018 с 4:00 до 6:00 через каждые 0,5 часа, крайняя точка 12:00. Для второй половины года и суток полученные зависимости практически симметричны.

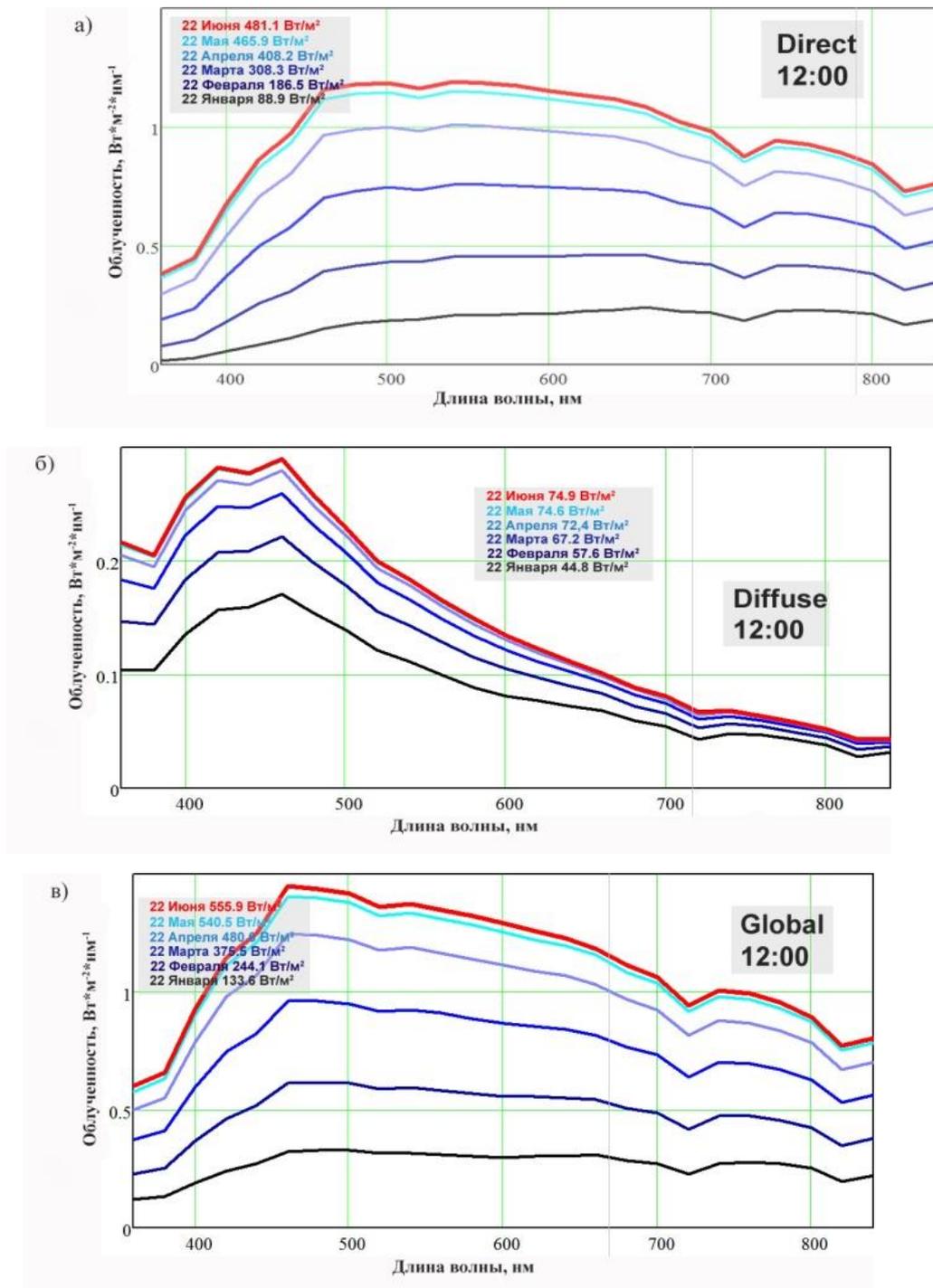


Рисунок 3.12 - Распределение энергетической облученности горизонтальной поверхности в течение года, а – от прямого солнечного света б – от рассеянного света в – суммарная

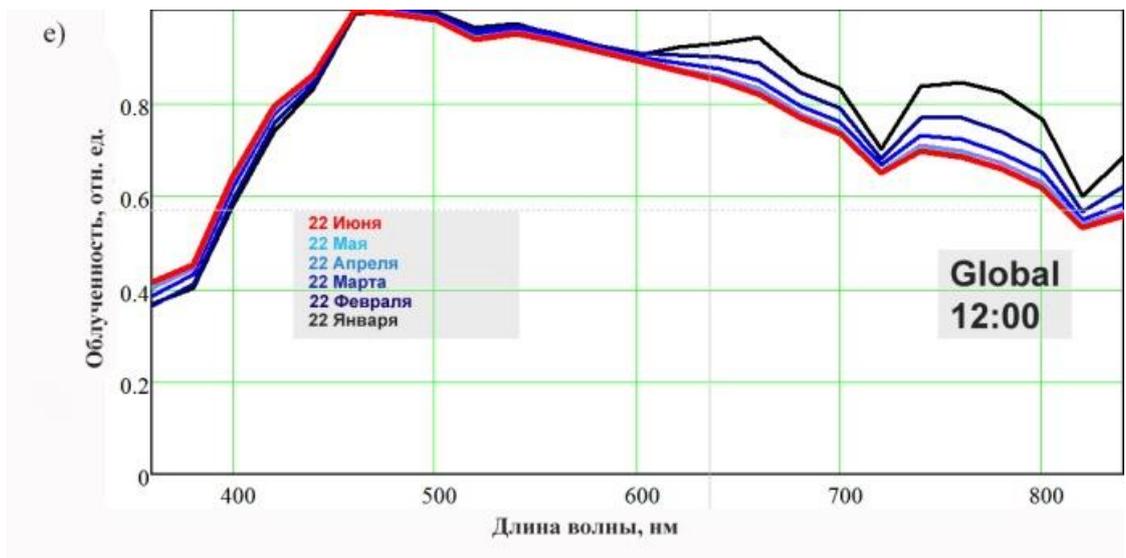
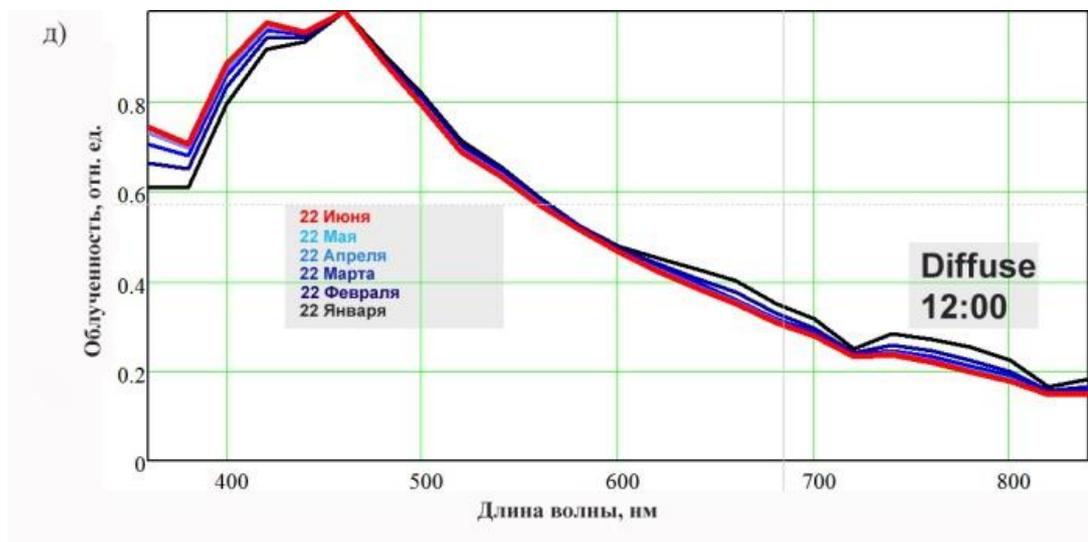
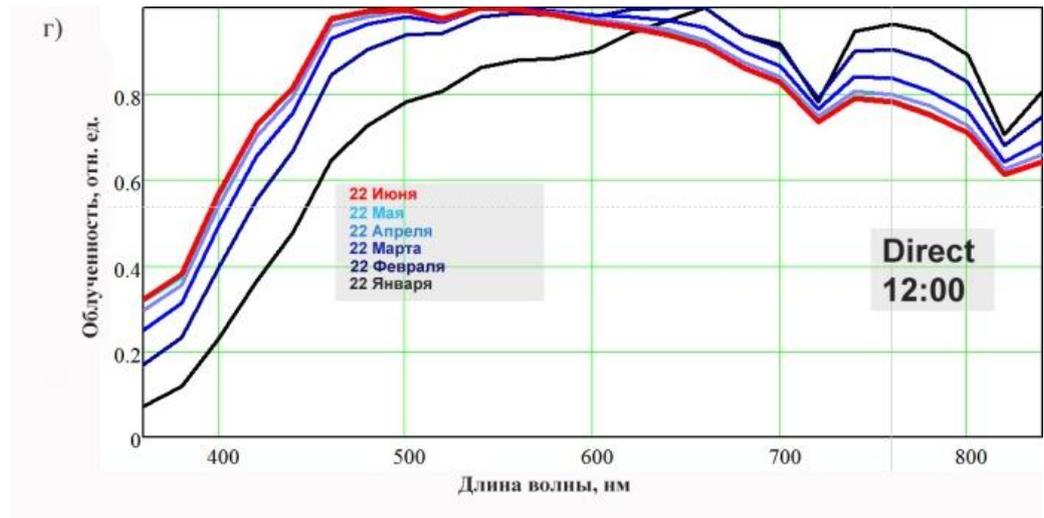


Рисунок 3.13 - Распределение спектральной облученности горизонтальной поверхности в течение года, а – от прямого солнечного света б – от рассеянного света в – суммарная.

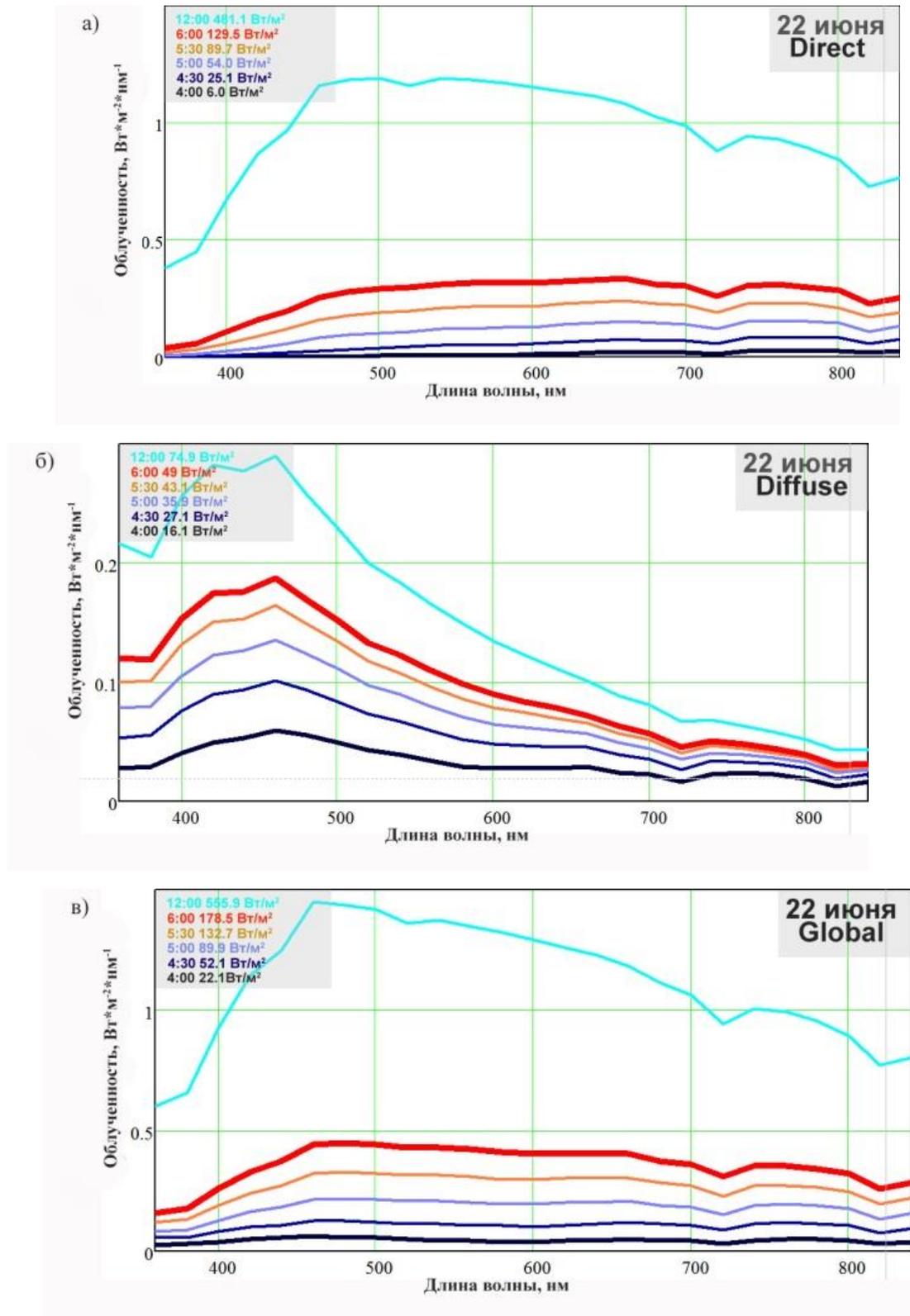


Рисунок 3.14 - Распределение энергетической облученности горизонтальной поверхности в течение дня, а – от прямого солнечного света  
б – от рассеянного света в – суммарная.

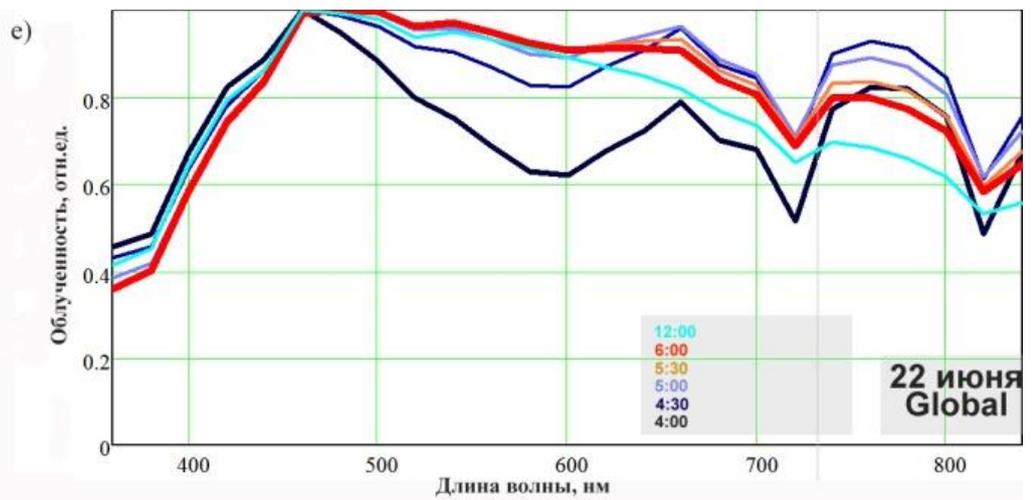
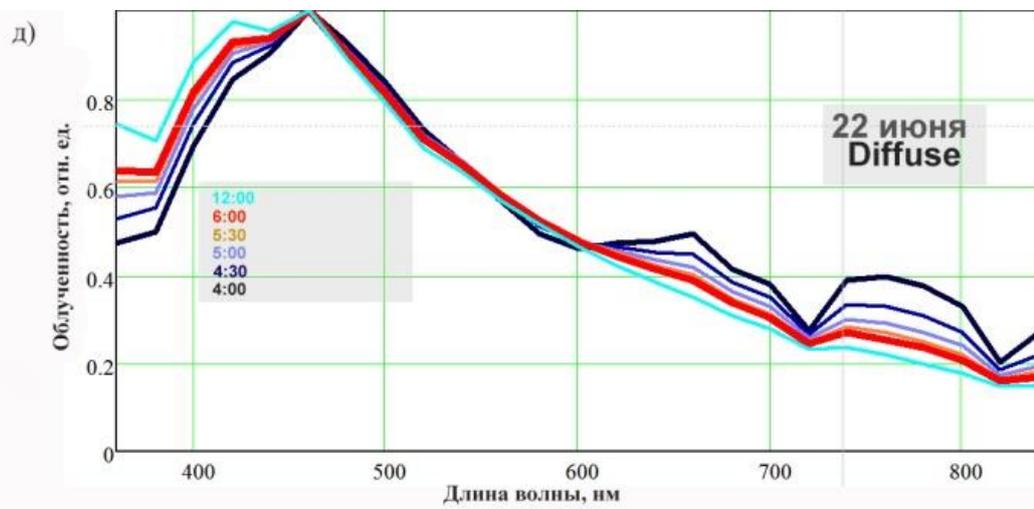
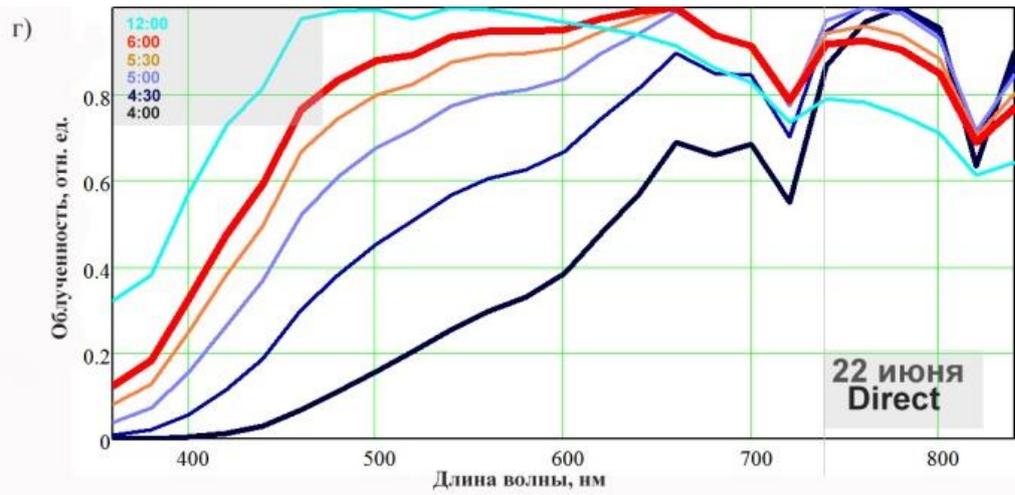


Рисунок 3.15 - Распределение спектральной облученности горизонтальной поверхности в течение дня, а – от прямого солнечного света б – от рассеянного света в – суммарная.

### 3.2.2 Разработка системы управления, мониторинга и обратной связи

В настоящее время наиболее распространены четыре способа диммирования осветительных установок.

- Управление по стандартному цифровому интерфейсу DMX512 (Digital Multiplex).
- Аналоговое управление 0-10 В.
- Широтно-импульсная модуляция – ШИМ (PWM).
- Управление по стандартному цифровому интерфейсу DALI.

#### 3.2.2.1 Обзор существующих решений. DMX512

С помощью DMX512 можно управлять одновременно 512 каналами. Несколько включенных одновременно приборов, поддерживающих DMX512, позволяют создавать световые сцены и элементы оформления самой различной сложности, как внутри помещений, так и снаружи. По одному каналу передаётся информация для управления одним параметром прибора, например, в какой цвет окрасить луч прожектора или на какой угол повернуть зеркало по горизонтали в данный момент чтобы изменить направление лазерного луча.

Протокол DMX512 имеет ряд преимуществ и недостатков, но он получил широкое распространение и сейчас де-факто является главным стандартом создания большинства светотехнических систем. Скорость передачи может достигать 250 000 бит в секунду. Стандарт передачи данных DMX512 реализуется асинхронным протоколом (кадры могут быть посланы в любой момент времени).

Протокол DMX512 содержит 512 каналов, последовательно пересылающих данные, начиная с канала 1 и заканчивая самым большим номером канала (512), содержащимся в данном устройстве. Не допускается

более 512 связанных каналов. Устройства, способные работать с более чем 512 диммерными выходами (декодерами), имеют больше одного порта DMX512 (рисунок 3.26).

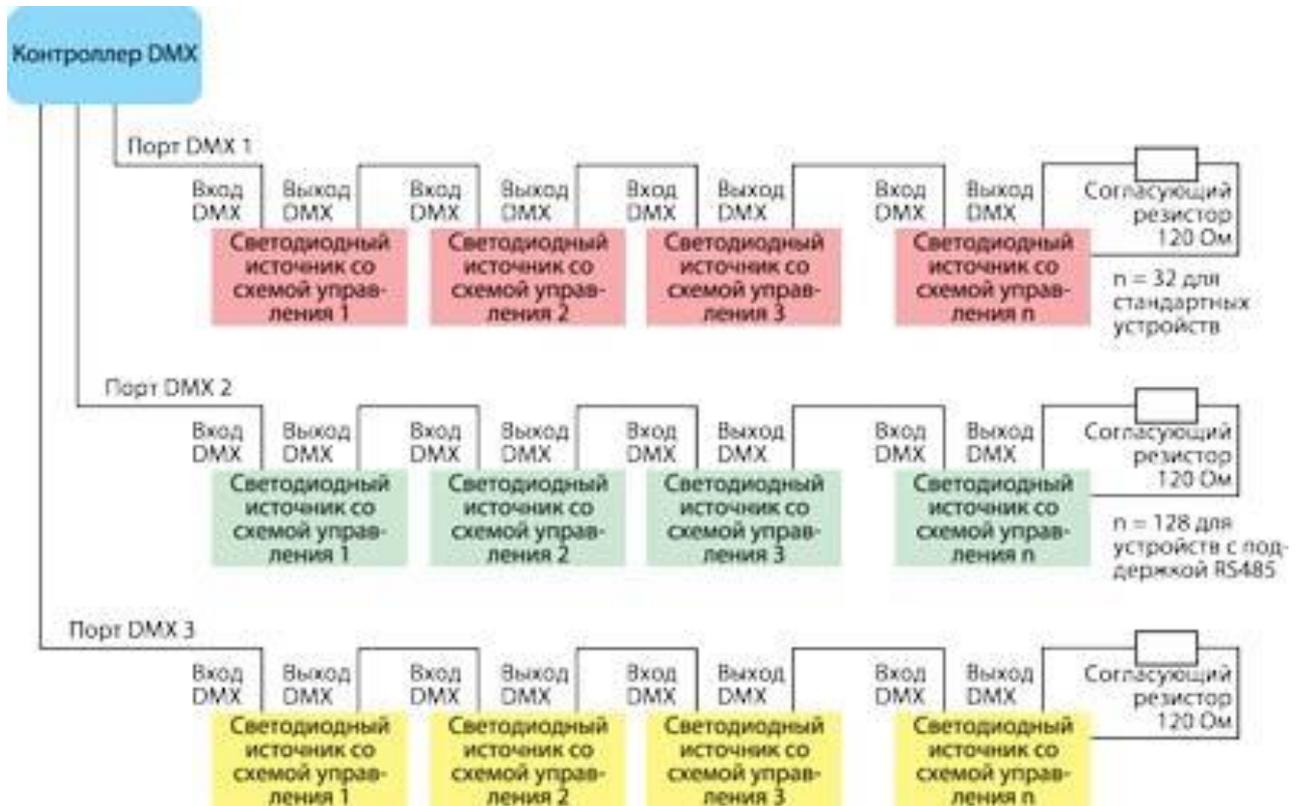


Рисунок 3.16 – Схема реализации системы освещения с интерфейсом DMX

Изначально стандарт DMX512 был разработан для управления диммерами. Но в настоящее время широко используется для управления движущимися и сложными интеллектуальными приборами, скроллерами, осветительными установками, лазерными шоу установками и пр.

Интерфейс DMX512 с лёгкостью бы решил задачу управления освещения теплицы, однако его возможности слишком избыточны для решения такой задачи. Сложность его реализации, дороговизна оборудования (стоимость контроллера может достигать сотен тысяч рублей) и сравнительная редкость светодиодных балластов диммируемых интерфейсом DMX512 делает его использование неприемлемым. Наиболее логичной областью использования этого стандарта является постановка сцен, а не стационарное освещение.

### 3.2.2.2 0-10 В

Аналоговое управление параметрами излучения оптических приборов, это самый простой метод. Суть данного метода заключается в том, что по отдельному проводу управления передается напряжение 0-10 В (рисунок 3.17). При этом 10 В соответствует максимально возможной интенсивности свечения, а 0 В – отсутствию свечения. При этом изменение интенсивности происходит пропорционально изменению уровня напряжения.

К плюсам данного метода можно отнести простоту реализации и дешевизну оборудования, драйверы поддерживающие аналоговое управление активно используются уже многие годы. К минусам же стоит отнести малую стабильность, сложность управления и диагностики при большом количестве оптических приборов, ослабление сигнала на больших расстояниях и подверженность внешним помехам.

Таким образом данный способ сложно применять в промышленных масштабах, а также на объектах требующих большего количества линий управления. Оптимальная область применения аналогового диммирования это управление одним – двумя светильниками в пределах небольшого помещения.

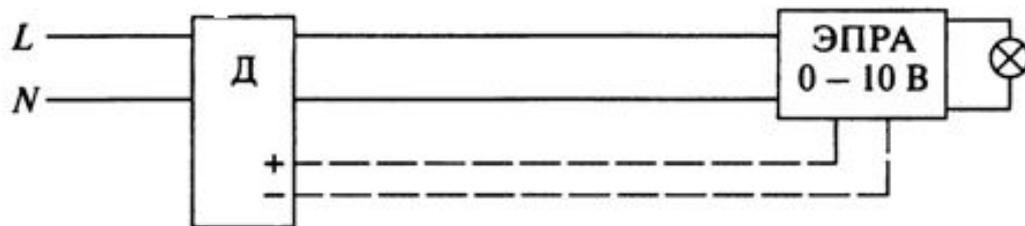


Рисунок 3.17 - Схема управления светильником по аналоговой схеме

### 3.2.2.3 ШИМ (PWM)

Одним из самых простых, эффективных и наиболее распространённых способов диммирования осветительных приборов является ШИМ (PWM) модуляция. При использовании ШИМ регулирования, энергия от источника к нагрузке подаётся импульсами (рисунок 3.18), шириной которых и

определяется количество энергии от минимальной, когда импульсов нет (или они очень малы по длительности) до максимальной, когда импульсы сливаются или паузы между ними минимально короткие.

Во втором случае используется как ШИМ-регулирование, так и регулирование тока. Рассмотрим оба. Белый светодиод имеет такой недостаток, как зависимость цветового оттенка от тока, протекающего через него (от яркости). Так при снижении тока ниже номинального светодиод «желтеет», а при повышении – «синеет». Это связано с тем, что полупроводниковый кристалл в белом светодиоде излучает синий (чаще всего) свет, а нанесённый на него люминофор преобразовывает часть его в другие цвета от красного до зелёного. В итоге, на выходе из диода часть синего света от кристалла смешивается со светом от люминофора в правильных пропорциях в белый свет заданной цветовой температуры. При регулировании количества света от кристалла эти пропорции нарушаются. Таким образом, при регулировании освещения изменением тока через светодиоды, кроме изменения количества света, получается и сопутствующее изменение цвета.

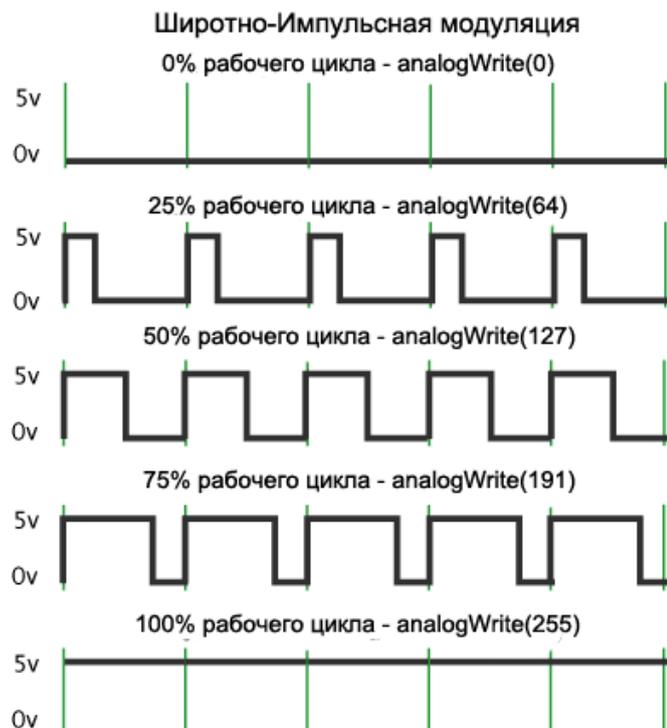


Рисунок 3.18 - Коэффициент заполнения ШИМ

При регулировании света ШИМ, то есть подачей на светодиоды часто повторяющихся импульсов постоянной амплитуды (но регулируемой ширины) светодиод работает на номинальном токе, но меньшее время и цветового сдвига нет. Следует заметить, что этот метод диммирования при таком явном преимуществе и в некоторых случаях при большей простоте реализации имеет и недостаток - стробоскопический эффект. Однако при частотах модуляции свыше 1 КГц стробоскопическим эффектом можно пренебречь и для целей проекта это не является существенной проблемой.

### 3.2.2.4 DALI

Цифровой интерфейс DALI (рисунок 3.19) это открытый стандарт для люминесцентных ламп. В конце 2009 г. в данный стандарт добавили инструменты для изменения параметров светодиодных оптических приборов.

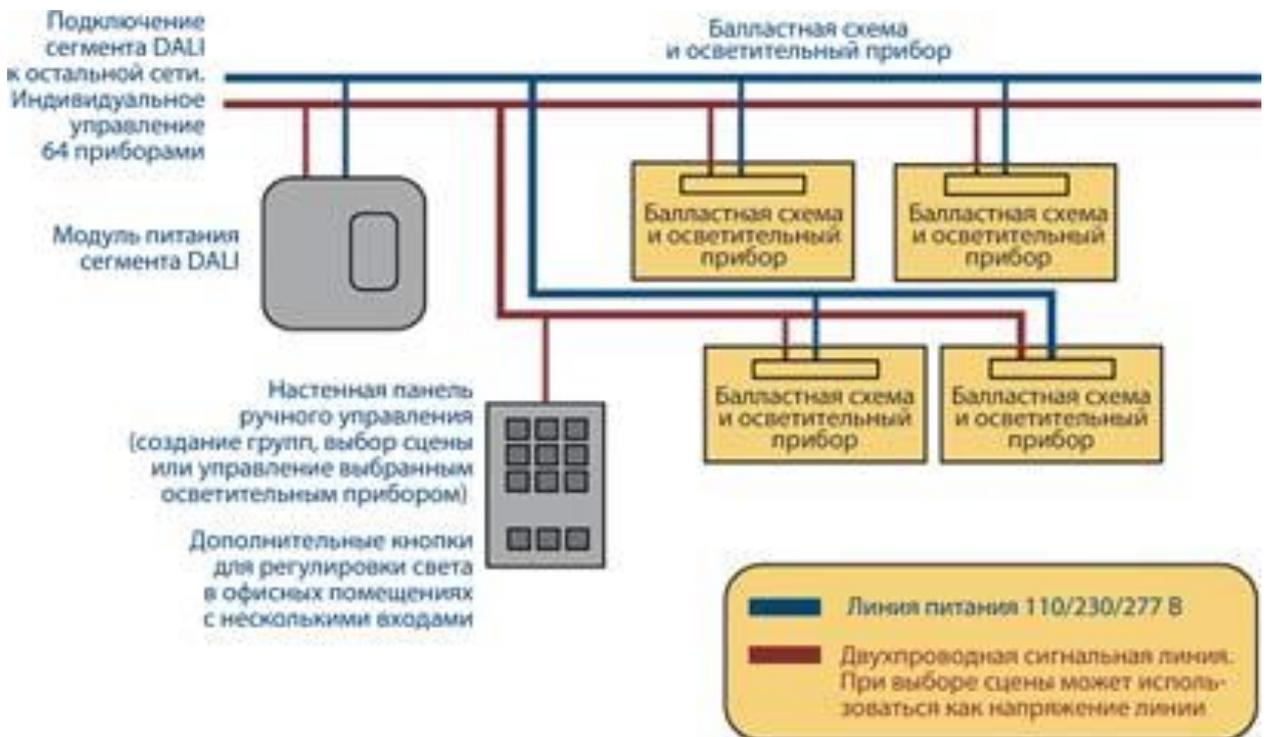


Рисунок 3.19 - Блок схема работы протокола DALI

Существует широкая номенклатура стандартных серийно производящихся контроллеров DALI, однако высокая стоимость и отсутствие

гибкости прилагаемого ПО для целей автоматизации освещения теплицы делает их использование не целесообразным. Наиболее рациональным решением будет разработка своего контроллера DALI с возможностью встраивания его в общую АСУ теплицы.

DALI сеть состоит из контроллера и подключенных к нему осветительных приборов. К одной шине подключается до 64 светильников. Устройства можно объединять в 16 групп и задавать до 16 сцен освещения. Яркость каждого осветительного прибора регулируется от 0 до 254. Сообщение от контроллера к осветительному прибору состоит из 16 бит и одного стартового бита. Сообщение может быть адресовано отдельному светильнику, группе светильников либо быть широковещательным. Некоторые команды должны передаваться дважды с интервалом не более 100мс. На определенные команды, например, запрос текущей яркости или запрос типа устройства, осветительный прибор отправляет ответное сообщение. Сообщение от осветительного прибора контроллеру состоит из 8 бит и одного стартового бита.

### **3.2.2.5 Моделирование системы управления ШИМ (PWM) сигналом.**

Для реализации системы освещения в качестве центрального управляющего узла был выбран процессорный модуль «Н103» от производителя «Olymex» на базе контроллера ARM Cortex-M3 STM32F103RBT6. Данный контроллер обладает следующими основными характеристиками: 32 бит ядро Cortex-M3, USB интерфейс, ОЗУ 20 кбайт, интерфейс CAN, два интерфейса I2C, два 12-разрядных 16-канальных АЦП, интерфейс UART, два интерфейса SPI, три 16-разрядных таймера; рабочая частота ядра составляет до 72 МГц.



Рисунок 3.20 - Внешний вид процессорного модуля «STM32 N103»

На рисунке 3.24 представлена электрическая принципиальная схема реализации автоматизированной системы освещения на базе микропроцессорной платы «STM32 N103» (рисунок 3.20) с использованием ШИМ модуляции. В качестве управляемых элементов схемы были выбраны балласты светодиодных излучателей «ИПС80-700ТУ IP67 1202» (рисунок 3.21) обладающие следующими параметрами:

- Герметичность: IP67
- Выходная мощность (Вт): 80
- Выходное напряжение (В): 60-114
- Выходной ток (мА): 700
- Тип корпуса: Металл
- Особенность: грозозащита (3 класс испытаний 5кВ), термозащита, защита от кратковременного подключения к сети 380



Рисунок 3.21 - Внешний вид драйвера «ИПС80-700ТУ IP67 1202»

В базовой версии драйвер поддерживает диммирование PWM (ШИМ); 1-10В; Резистор. Данные характеристики при невысокой стоимости соответствуют спроектированным в проекте осветительным установкам. Так как микроконтроллер формирует ШИМ сигнал с амплитудой, не превышающей 3.3 В, требуется повторитель «REPI TER» ШИМ сигнала позволяющий развернуть его по амплитуде до требуемых драйверу 12 В и усилить по мощности. Это позволит иметь возможность подключать к источнику сигнала до 20 балластов. При наличии дополнительных усилителей ШИМ сигнала количество балластов может быть увеличено кратно.

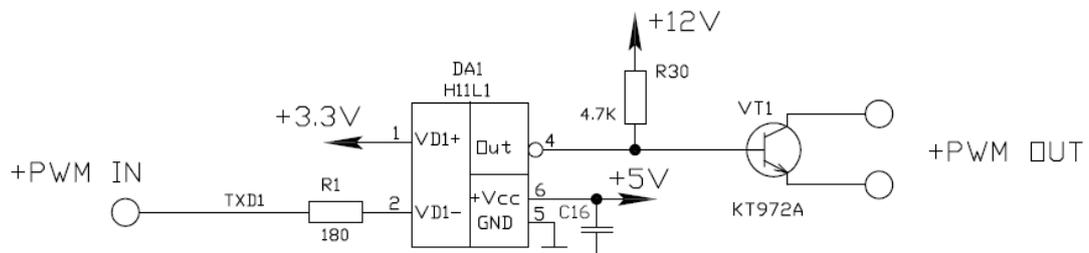


Рисунок 3.22 - Электрическая схема реализации повторителя ШИМ сигнала

Схема повторителя представлена на рисунке 8 и состоит из гальванической (оптической) развязки «H11L1» с встроенным логическим формирователем. Его частотная характеристика позволяет формировать ШИМ сигнал с частотой до сотен кГц. В качестве выходного силового элемента применён составной биполярный транзистор «КТ972А» с открытым коллектором и током до 1А. Возможно также применение готовых промышленных образцов серийно производимых усилителей ШИМ сигнала. В качестве источника питания (AC/DC) использовался лабораторный ИП. Датчик освещённости эмулировался переменным резистором.

При проведении испытаний драйвер «ИПС80-700ТУ IP67 1202» подтвердил заявленные характеристики и может использоваться для

дальнейшего построения распределённой автоматической масштабируемой системы управления освещением.

В ходе анализа технической реализации автоматической системы освещения на основе ШИМ (PWM) диммирования представленной на рисунке 3.23 были выявлены следующие недостатки:

1. Сравнительно малое количество диммируемых устройств. Ограничение связано с конечным числом таймеров в составе используемого контроллера. Всего в составе контроллера STM32F103RBT6 три четырёхканальных таймера счётчика. Это позволяет теоретически формировать без учёта других потребностей системы до 12 каналов ШИМ. Если учитывать другие потребности, такие как необходимость связи с элементами автоматизации, оцифровка аналоговых входов и т.д то количество доступных каналов снижается до 8. Таким образом число балластов одновременно диммируемых данным методом без дополнительного оборудования не может превышать 160. Если учесть, что каждый из двухцветных светильников оборудован двумя балластами, система может одновременно обслуживать не более 80 светильников. Возможно расширить количество линий диммирования путём перехода на более старшую модель контроллера с большим количеством таймеров, но при существенном усложнении и удорожании контроллера это не даст существенного увеличения каналов. Установка дополнительного контроллера еще менее целесообразна.

2. Необходимость постоянного наличия ШИМ сигнала на выходах может приводить к тому что при малейших сбоях в генерации, при зависании контроллера или сбоях по питанию, система может зависать в крайних положениях яркости излучения. Это может негативно сказаться на эксплуатационных качествах системы.

Также были отмечены и положительные стороны реализации диммирования ШИМ сигналом. Это простота технической реализации, огромный выбор балластов по сравнительно невысокой цене, лёгкость

монтажа и обслуживания системы, взаимозаменяемость компонентов системы.

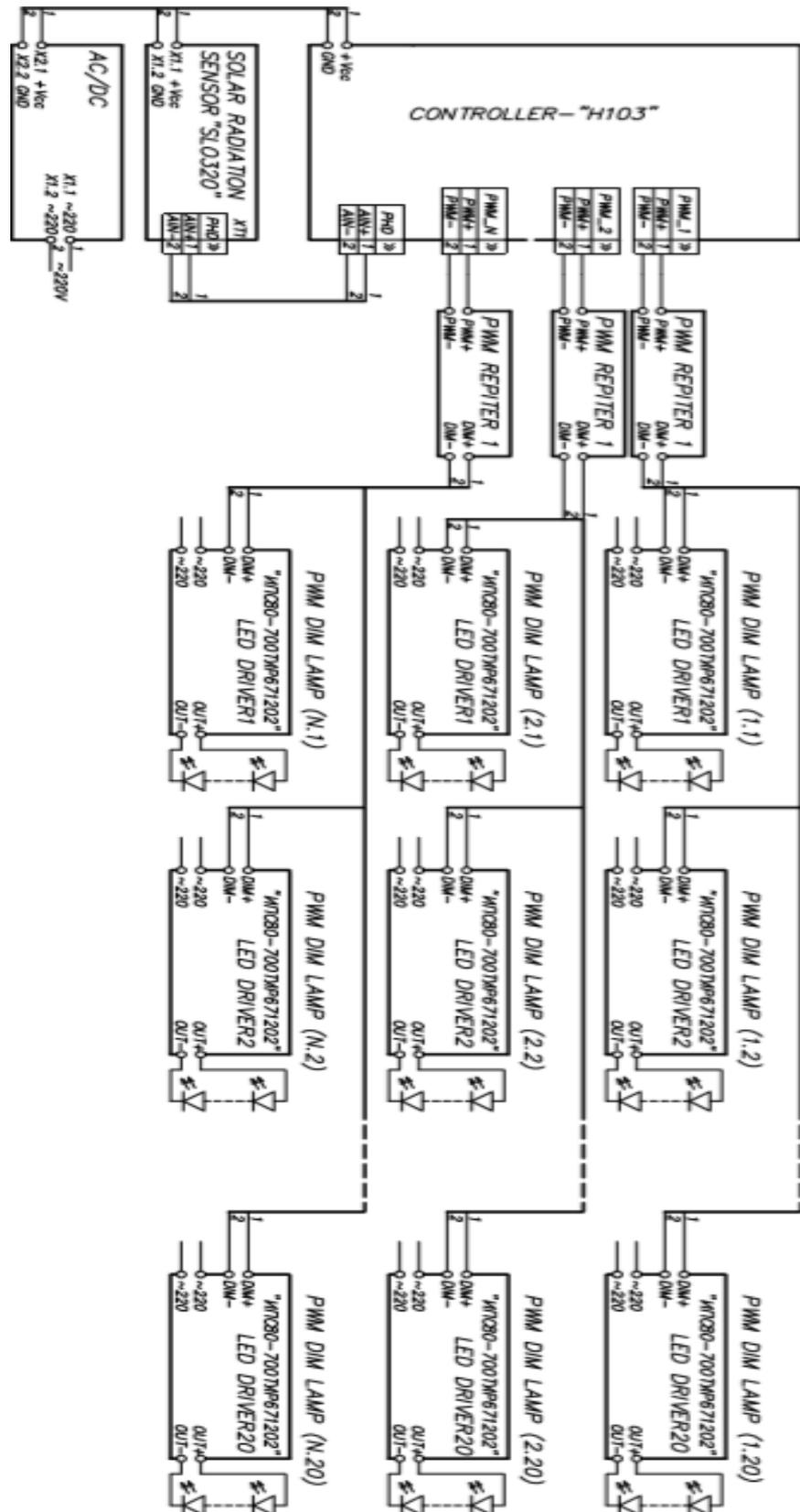


Рисунок 3.23 - Электрическая принципиальная схема системы освещения с использованием ШИМ модуляции

### 3.2.2.6 Моделирование системы освещения диммируемой интерфейсом DALI.

Следующим способом технической реализации системы автоматического освещения был выбран вариант с использованием интерфейса DALI. Электрическая принципиальная схема системы приведена в приложении В. В качестве контроллера также, как и в предыдущем случае, использовалась плата «STM32 H103» на базе которой совместно со стандартным модулем ввода вывода стандарта DALI «STEVAL-ILM001V1» был реализован контроллер «DALI MASTER». На рисунке 3.24 приведены внешний вид модуля «STEVAL-ILM001V1» и его принципиальная схема.

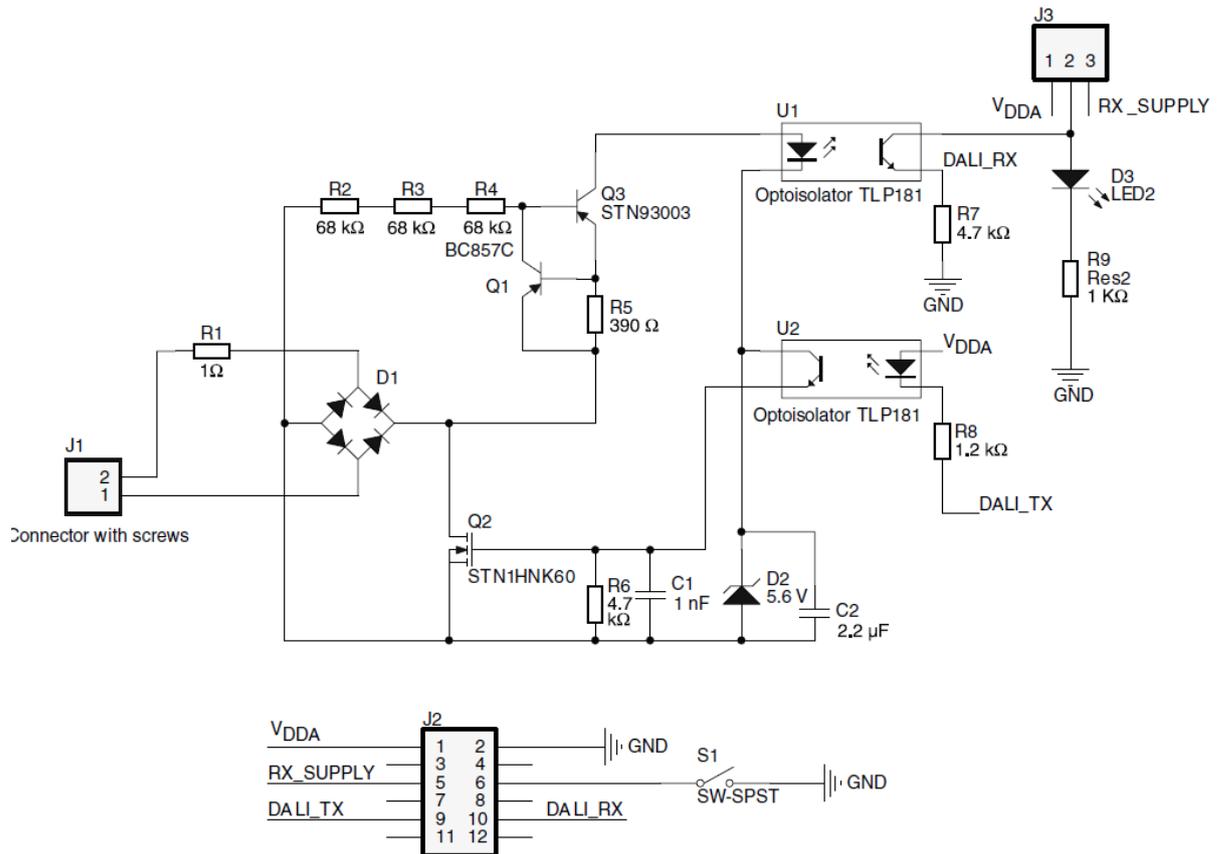


Рисунок 3.24 - Электрическая принципиальная схема модуля «STEVAL-ILM001V1»

Как видно стандартный интерфейс DALI реализован с использованием гальванической развязки и защиты от включения с обратной полярностью что

является неоспоримым преимуществом при монтаже и эксплуатации. С контроллером стандартный интерфейс дала имеет четырёхпроводное подключение. Это две линии передачи данных по направлению к балластам и обратно «DALI TX» и «DALI RX», а также питание и земля. Сам интерфейс DALI имеет двухпроводную топологию.

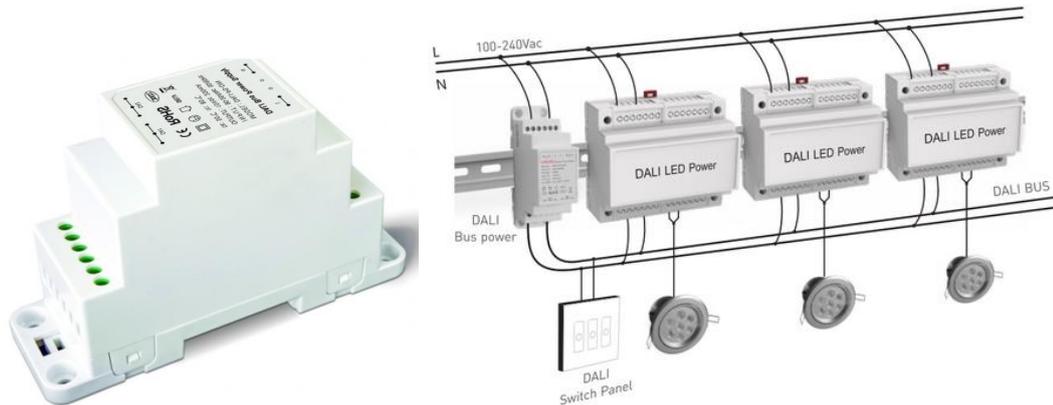


Рисунок 3.25 - Внешний вид источника питания шины DALI и пример топологии системы на базе данного интерфейса

В качестве источника питания двухпроводной шины данных был применён блок «DALI-PS-DIN» (Рисунок 3.25). Он специально предназначен для формирования рабочего потенциала 15-16 В на цифровой двухпроводной шине DALI и обладает следующими характеристиками:

- Входное напряжение - 100-240VAC 50/60Hz
- Входной ток - 115VAC/ $\leq 0.09A$ , 230VAC/ $\leq 0.05A$
- Выходной ток - 200mA
- Выходное напряжение - 15V
- Рабочая температура -30°C ~ 55°C
- Установка на DIN рейку.

В шине данных DALI применён способ передачи данных при котором за логическую «1» принимается напряжение питания шины, а за логический «0» принимается отсутствие напряжения на шине что соответствует режиму короткого замыкания поэтому источник предназначен специально для работы

в режиме КЗ. Использование неспециализированного источника без дополнительной доработки затруднительно.

Как и в предыдущем случае в качестве эмулятора датчика освещённости применён переменный резистор, а для питания контроллера использован лабораторный источник питания. В качестве балластов светодиодов были применены драйверы «ELG-75-C700DA» фирмы MEAN WELL (Рисунок 3.26). Они хорошо подходят к проектируемым светильникам и обладают наиболее сбалансированным соотношением «цена- качество» и обладают следующими характеристиками:

- Выходной ток: 700 mA
- Выходное напряжение: 53 V to 107 V
- Выходная мощность: 74.9 W
- Входное напряжение: 100 VAC to 305 VAC, 142 VDC to 431 VDC
- Регулятор силы света: DALI
- Количество выходов: 1 Output



Рисунок 3.26 - Внешний вид драйвера «ELG-75-C700DA»

Техническая реализация системы автоматического освещения на базе цифрового интерфейса DALI выявила следующие недостатки такого подхода:

1. Как видно из принципиальной схемы приложения В по шине DALI возможно диммирование до 64 индивидуально адресуемых устройств. Если учитывать, что в каждом светильнике установлено 2 драйвера, то

максимальное количество светильников составит 32, что явно недостаточно для полноценного освещения теплицы.

2. В любом случае система освещения будет включать в себя значительное количество DALI Slave устройств, что приведет к ее удорожанию.

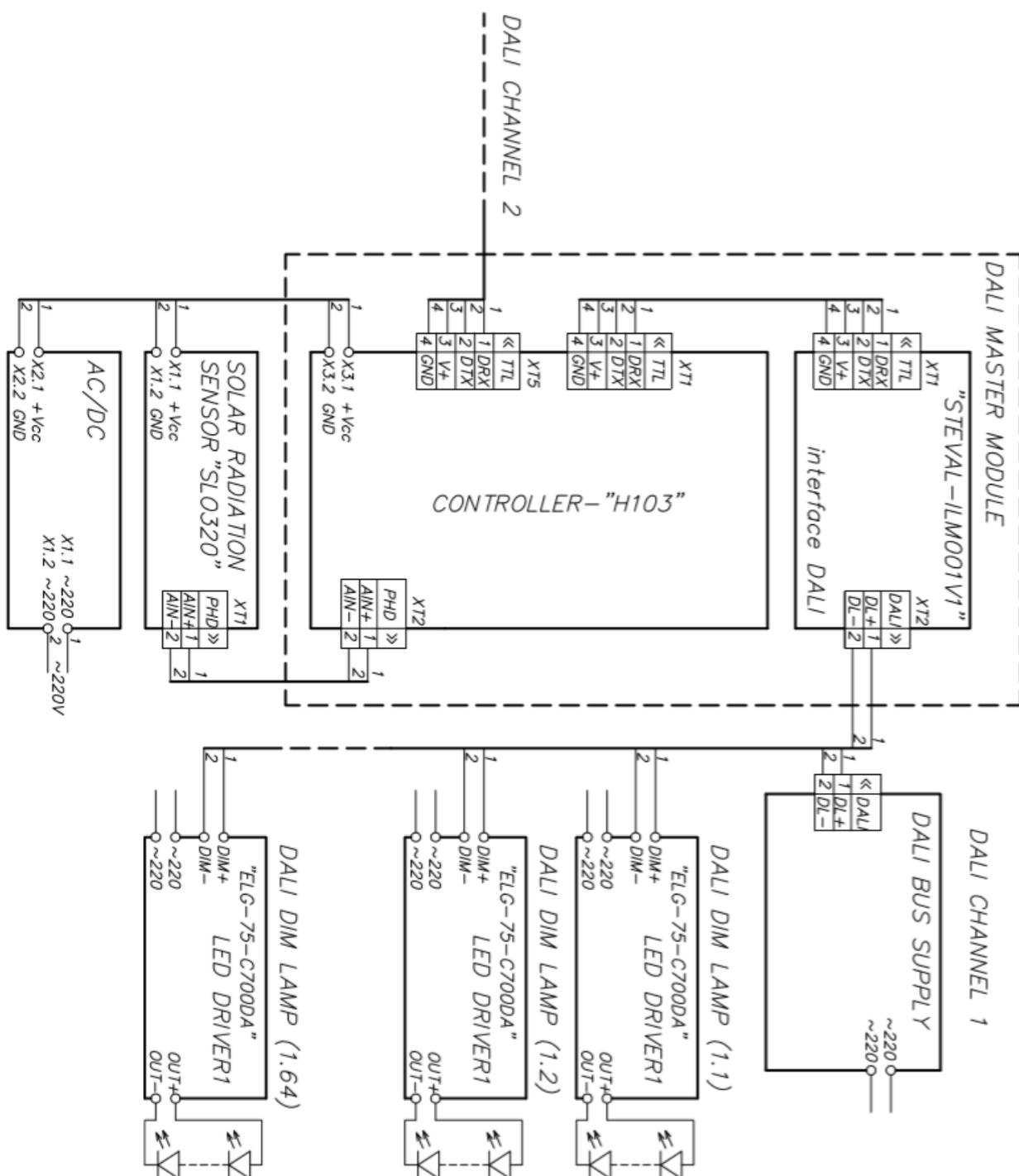


Рисунок 3.27 - Электрическая принципиальная схема системы освещения с использованием DALI

### 3.2.2.7 Моделирование комбинированной системы освещения с преобразователем DALI – ШИМ

Финальным способом технической реализации системы автоматического освещения был предложен гибридный вариант с использованием интерфейса DALI и преобразователей DALI - ШИМ. Электрическая принципиальная схема системы приведена в приложении С. В качестве контроллера также, как и в предыдущих случаях, использовалась плата «STM32 H103» совместно со стандартным модулем ввода вывода стандарта DALI «STEVAL-ILM001V1». Дополнительно в схему был добавлен преобразователь DALI - ШИМ DAP-04 (рисунок 3.28). В качестве управляемых элементов схемы были выбраны балласты светодиодных излучателей «ИПС80-700ТУ IP67 1202».

Технические характеристики:

- Входное напряжение: 90...305 В AC
- Преобразование сигнала DALI в ШИМ-сигнал
- Подключение кнопки-диммера
- независимых выходных канала
- Возможность выбора активного уровня ШИМ: высокий или низкий
- Диапазон диммирования: 1...100%
- Класс изоляции: Class II (без входа земли)
- Потребление: <0,5 Вт
- Встроенное реле для включения/отключения драйвера светодиода
- Корпус из негорючего материала по UL 94V-0 с защитой IP20
- Рабочая температура: -30...+60°C
- Стандартные функции:
- Соответствие требованиям стандарта DALI: IEC62386-101, 102, 207
- Сертификаты: EN61347-1, EN61347-2-11, EN61058-1



Рисунок 3.28 - Внешний вид преобразователя DALI - ШИМ DAP-04.

На рисунке 3.29 приведен фрагмент предлагаемой гибридной схемы освещения. Модуль DALI Master состоит из платы «STM32 H103», модуля ввода вывода стандарта DALI «STEVAl-ILM001V1» и преобразователя TTL/RS-485. К DALI Master-у подключается датчик освещенности, по интерфейсу RS-485 производится управление контроллером. Контроллер по протоколу DALI управляет преобразователями DALI - ШИМ DAP-04, к которым в свою очередь подключены драйверы светильников «ИПС80-700ТУ IP67 1202». Данная схема позволяет управлять по каждому из каналов шины DALI 32 группами (с учетом 2-х групп светодиодов) по 20 светильников, что позволяет обеспечить одним контроллером освещение всей теплицы. Дополнительно «STM32 H103» позволяет реализовать еще 1 канал шины DALI, увеличивая в 2 раза общее количество светильников. Программа микроконтроллера позволяет реализовать степень освещенности каждой группы светильников, задаваемой системой автоматизации теплицы с учетом времени суток и погодных условий. Параметры освещения и настройка всех групп светильников должны настраиваться с помощью графического интерфейса панели оператора. Предполагаемый протокол взаимодействия контроллера DALI Master и панели управления оператора ModBus RTU.

В результате проделанной работы проверена работа ШИМ-модуля управления светильниками, проверена работа DALI протокола с модулями DALI-

Slave и DALI-ШИМ. Разработана библиотека базовых функций протокола DALI для микропроцессора семейства STM32. Разработана концепция гибридной системы управления освещением, позволяющая обеспечить контроль освещенности по всей площади теплицы. Разработанная система может обслуживать  $32 \times 20$  светильников и имеет возможности кратного расширения (масштабирования) как со стороны увеличения шин DALI (первый множитель), так и с помощью репитеров ШИМ (второй множитель).

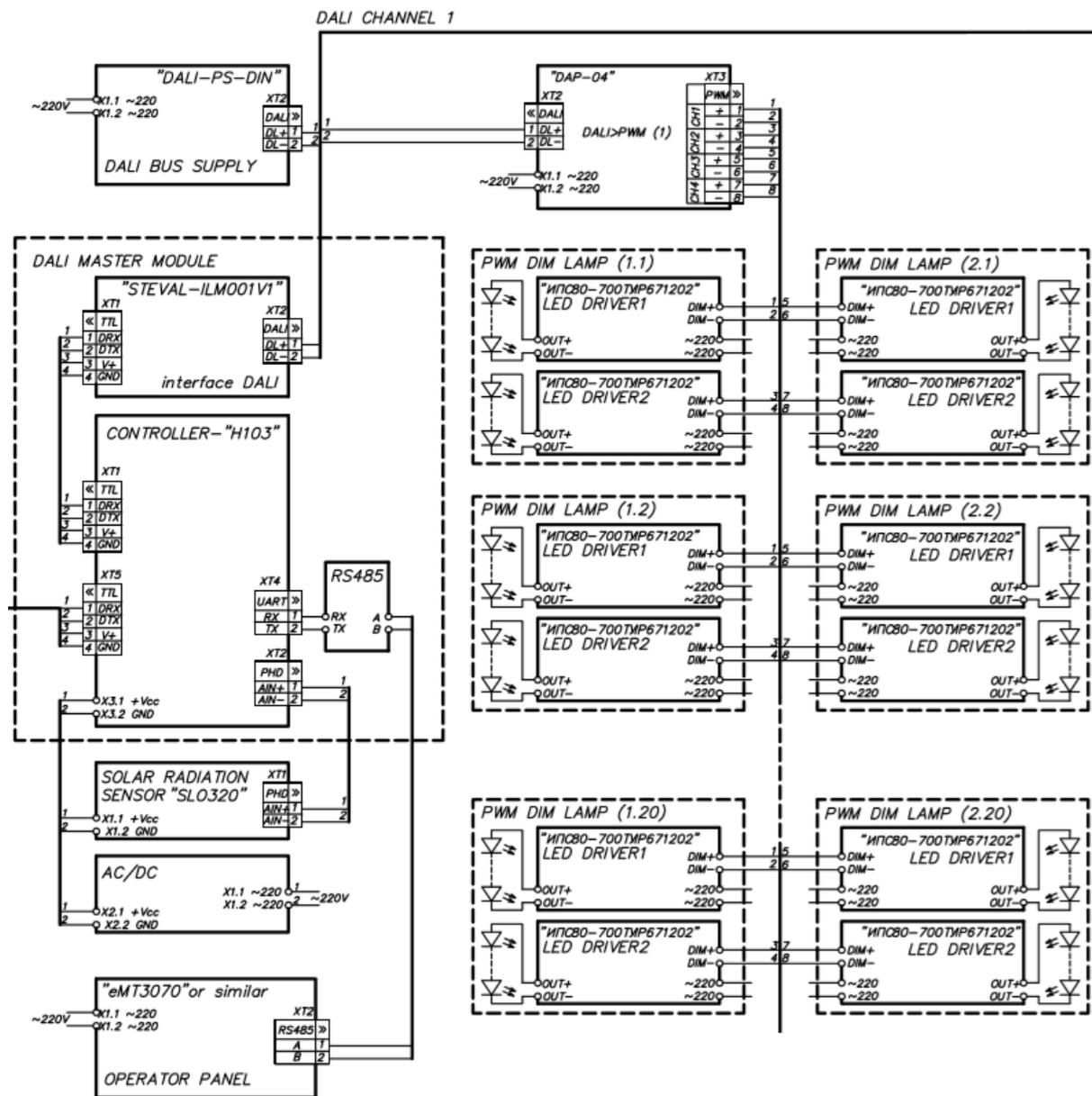


Рисунок 3.29 - Фрагмент комбинированной системы управления, мониторинга и обратной связи

### 3.2.2.8 Расчет экономической эффективности системы мониторинга и обратной связи

Проведем экономическое обоснование разрабатываемой системы мониторинга. В современных тепличных комплексах время работы искусственного облучения может достигать 14-16 часов в зависимости от времени года. Но в течении дня, уровень искусственного облучения в таких теплицах остается неизменным. Разрабатываемая система мониторинга подразумевает комбинированную работу естественного и искусственного облучения. Облучатели в теплице будут включаться в случае уменьшения уровня солнечной радиации ниже допустимого (данный уровень определяется базой данных эффективных режимов облучения), причем они будут включаться на такую мощность, чтобы обеспечить необходимый уровень облученности для растений в разных диапазонах ФАР: например 30% в синей (380-490 нм), 20% в зеленой (490-600) и 50% в красной области (600-700 нм) [72]. Для экономического обоснования разрабатываемой системы проведем расчета для г. Томска (таблица 9-11) для одного дня (15.04.2017). Для этого оценим уровень необходимого дополнительного облучения в течении дня при измеренном уровне солнечно радиации (рисунок 3.30-3.32).

Таблице 9 – Сравнение уровней облученности в синей области спектра

Время суток	Уровень солнечной радиации, Вт/м <sup>2</sup>	Необходимый уровень облученности	Необходимый уровень дополнительной искусственной облученности, Вт/м <sup>2</sup>
8	11,8	15	3,2
9	22,8	15	-7,8
10	44,9	15	-29,9
11	55,9	15	-40,9
13	65,6	15	-50,6
14	33,5	15	-18,5
15	1,4	15	13,6
16	0,7	15	14,3
17	0,1	15	14,9
18	0,1	15	14,9

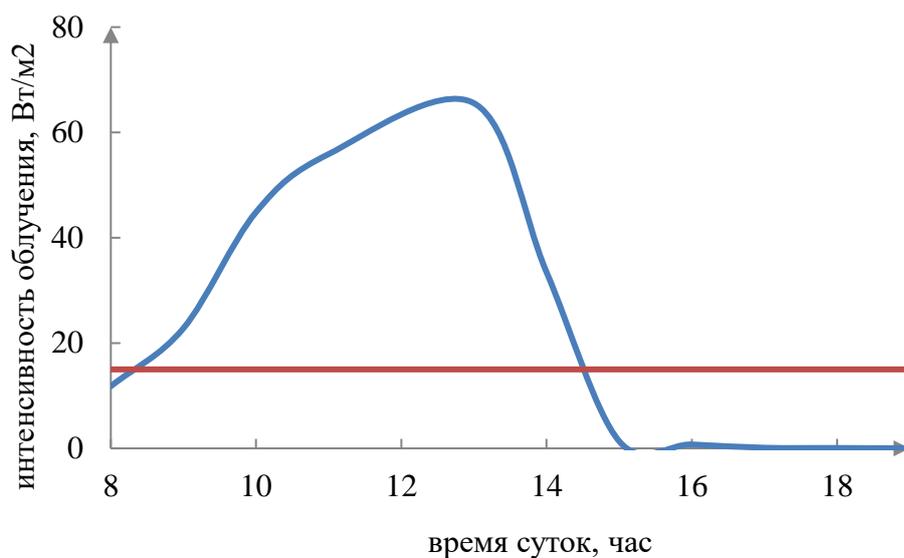


Рисунок 3.30 - Динамика солнечной радиации и необходимый уровень облученности в синей области спектра

Таблица 10 - Сравнение уровней облученности в зеленой области спектра

Время суток	Уровень солнечной радиации, Вт/м <sup>2</sup>	Необходимый уровень облученности	Необходимый уровень дополнительной искусственной облученности, Вт/м <sup>2</sup>
8	18,3	10	-8,3
9	33,6	10	-23,6
10	64,2	10	-54,2
11	79,5	10	-69,5
13	88,7	10	-78,7
14	45,2	10	-35,2
15	1,6	10	8,4
16	0,9	10	9,1
17	0,1	10	9,9
18	0,1	10	9,9
19	0,01	10	9,99

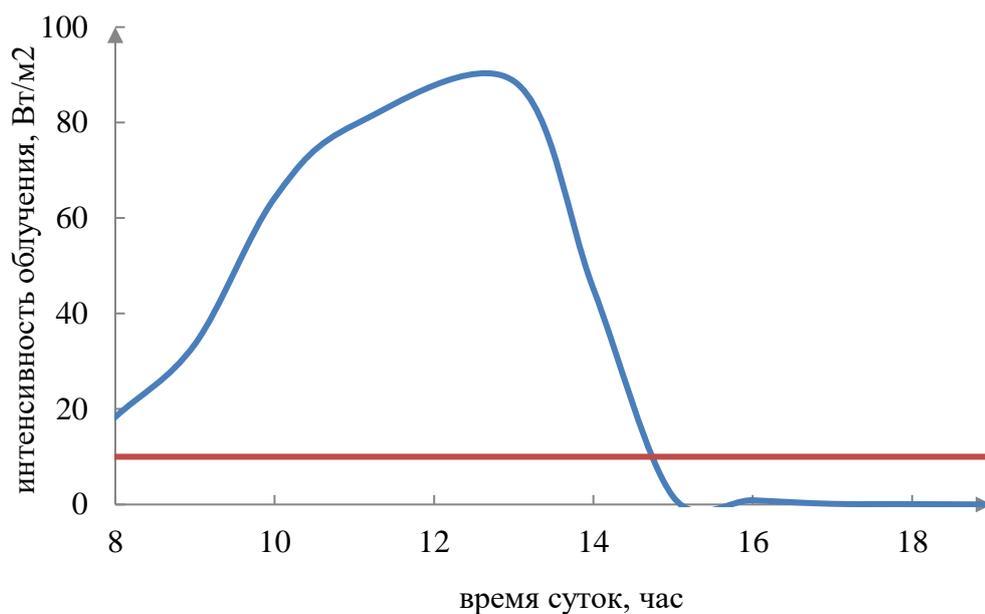


Рисунок 3.31 - Динамика солнечной радиации и необходимый уровень облученности в зеленой области спектра

Таблица 11 - Сравнение уровней облученности в красной области спектра

Время суток	Уровень солнечной радиации, Вт/м <sup>2</sup>	Необходимый уровень облученности	Необходимый уровень дополнительной искусственной облученности, Вт/м <sup>2</sup>
8	21,2	25	3,8
9	38,5	25	-13,5
10	75,1	25	-50,1
11	90,5	25	-65,5
13	98,9	25	-73,9
14	50,4	25	-25,4
15	1,8	25	23,2
16	0,9	25	24,1
17	0,2	25	24,8
18	0,08	25	24,92
19	0,02	25	24,98

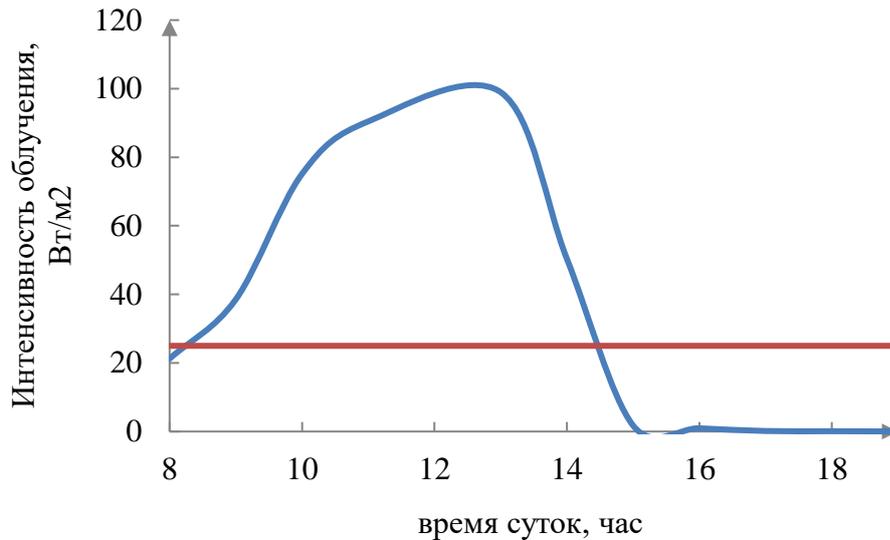


Рисунок 3.32 - Динамика солнечной радиации и необходимый уровень облученности в красной области спектра

Рассчитаем расход на электроэнергию при непрерывном облучении (12 часов) для условной теплицы площадью  $1000 \text{ м}^2$ . Рассчитаем мощность облучаемой установки (для простоты расчетов, примем, что в световое излучение преобразуется 50% потребляемой электрической энергии):

$$(50 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot 1000 \text{ м}^2) / 0,5 = 100 \text{ кВт}$$

Далее рассчитаем потребление электрической энергии данной облучательной установкой за один день:

$$100 \text{ кВт} \cdot 12 \text{ ч} = 1200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

И рассчитаем затраты на электрическую энергию при обеспечении непрерывного искусственного облучения:

$$1200 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3,5 \text{ руб} = 4200 \text{ руб}$$

Далее рассчитаем расходы на при использовании системы мониторинга и обратной связи. Для периода с 8:00 до 9:00:

$$(6,97 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot 1000 \text{ м}^2) / 0,5 = 13,9 \text{ кВт}$$

$$13,9 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ ч} = 13,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$13,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3,5 \text{ руб} = 48,65 \text{ руб}$$

Для периода с 15:00 до 16:00:

$$(45,2 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot 1000 \text{ м}^2) / 0,5 = 90,4 \text{ кВт}$$

$$90,4 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ ч} = 90,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$90,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3,5 \text{ руб} = 316,4 \text{ руб}$$

Для периода с 16:00 до 17:00:

$$(47,4 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot 1000 \text{ м}^2) / 0,5 = 94,8 \text{ кВт}$$

$$94,8 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ ч} = 94,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$94,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3,5 \text{ руб} = 331,8 \text{ руб}$$

Для периода с 17:00 до 18:00:

$$(49,6 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot 1000 \text{ м}^2) / 0,5 = 99,2 \text{ кВт}$$

$$99,2 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ ч} = 99,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$99,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3,5 \text{ руб} = 347,2 \text{ руб}$$

Для периода с 18:00 19:00:

$$(49,77 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot 1000 \text{ м}^2) / 0,5 = 99,5 \text{ кВт}$$

$$99,5 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ ч} = 99,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$99,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3,5 \text{ руб} = 348,25 \text{ руб}$$

Для периода с 19:00 до 20:00:

$$(49,94 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot 1000 \text{ м}^2) / 0,5 = 99,8 \text{ кВт}$$

$$99,8 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ ч} = 99,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$99,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 3,5 \text{ руб} = 349,3 \text{ руб}$$

Таким образом, суммарные затраты на электрическую энергию при использовании системы мониторинга и обратной связи составили 1741,6 рублей, что в 2,4 раза меньше, чем при использовании облучателей в стационарном режиме. Это доказывает, что управление параметрами облучения в течении дня и месяца позволит значительно сократить потребление электрической энергии облучательными установками.

### 3.2.2.9 Методы построения обратной связи с облучаемым объектом

Разработка способов, методов управления количеством и качеством излучения - не простая задача, решение которой лежит в разработке адаптивных ОБУ в сочетании с эффективными методами контроля состояния окружающей среды или состояния облучаемых объектов. Особенно остро этот вопрос стоит при составлении обратной связи с биологическими объектами, такими как тепличные культуры. Созревание плодов и старение листьев в основном определяются внешними и внутренними факторами [73]. Например, созревание плодов можно оценить по изменению цвета вследствие увеличения содержания пигментов, также одним из признаков созревания является изменение уровня глюкозы, это наблюдается во многих овощах и фруктах [74,75]. В свою очередь старение листьев проявляется вначале деградацией белка, затем изменением цвета, и только потом, происходит повреждение ДНК [76]. Улавливая ранние изменения в состоянии растения, фермер может принять меры для улучшения или восстановления роста сельскохозяйственных культур [101].

Большинство методов биохимического анализа растений основаны на химических, а точнее хроматографических методах [77,78]. Этот метод разделения смеси на компоненты основан на разнице их физических и химических свойств. Одним из этих методов является твердофазная микроэкстракция, которая является эффективной техникой отбора проб без растворителей. Преимуществом метода является отсутствие использования растворителей для извлечения аналитов из абсорбирующих покрытий [79]. Но данная методика, как правило, требует сбора проб с поля, тщательной подготовки проб и дорогостоящих расходных материалов. Для лабораторных исследований такие условия не вызывают сложностей, но для реального сектора сельского хозяйства не является экономически эффективным инструментом точного земледелия. Оптические методы, такие как инфракрасная спектроскопия (ИК) [80,81] и спектроскопия комбинационного рассеяния, напротив, предлагают специфический и количественный химический анализ без расходных материалов [82]. В то время как спектроскопия комбинационного рассеяния включает возбуждение молекулы неупругим рассеянием на фотоне (от

лазерного источника света), инфракрасная спектроскопия обнаруживает поглощение фотонов, когда молекула возбуждается до более высокого уровня энергии колебаний [83]. Распространению рамановской спектроскопии в значительной степени способствует разработка хемометрического программного обеспечения и портативных приборов спектрометра комбинационного рассеяния, которые в настоящее время могут поместиться в ладони [84-86, 101].

В большинстве случаев оптические измерения можно проводить непосредственно на растительных тканях в полевых условиях, устраняя осложнения, связанные с длительными и громоздкими требованиями к подготовке образца. Колебательные полосы из измеряемой пробы предоставляют информацию о химическом составе, включая как первичные, так и вторичные метаболиты. Кроме того, на основе таких маркеров, относящихся к отдельным веществам растений, спектроскопический анализ в принципе позволяет различать разные типы хемотипов и даже различать одни и те же виды. С развитием спектроскопии комбинационного рассеяния этот метод получил широкое распространение и имеет преимущество при определении состава вещества [87]. Рамановская спектроскопия наиболее чувствительна к содержанию пигментов и широко и успешно используется для структурного и комплексного анализа различных растений, овощей и фруктов [88]. Использование комбинационного рассеяния света на растениях началось с изучения целлюлозы [89] и скелетного компонента растений [90]. В течение последнего десятилетия возможность спектроскопии комбинационного рассеяния как неразрушающего метода была продемонстрирована на нескольких целлюлозных волокнах, например, на льняных, хлопковых [91], джутовых, рами, капоковых, сизалевых и кокосовых волокнах [92]. Оценка присутствия клетчатки в яблоках и сравнение структурных различий целлюлозы разного происхождения были успешно проведены [93]. Классификация различных растительных масел и количественная оценка фальсификации оливкового масла с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния также были выполнены несколькими группами [94, 101].

В рамках данного диссертационного исследования было проведен ряд экспериментов над корнеплодной культурой - красной свеклой, она была выбрана для демонстрации потенциала метода по нескольким причинам: необходимо понять, даст ли мониторинг состояния листа данные о развитии корня, доступ к которому гораздо труднее получить традиционными методами [101].

### **3.2.2.10 Методика измерения спектров комбинационного рассеяния**

Стебли красной свеклы закрепляли на предметных стеклах двухсторонней лентой. Эксперименты по спектроскопии комбинационного рассеяния были выполнены с помощью DXR2Xi Raman Imaging Microscope от Thermo Fisher Scientific USA. Было обнаружено, что, используя сильно сфокусированный лазерный луч (785 нм, 10 × объектив и NA 0,25), мы могли получить спектры с хорошим отношением сигнал / шум., Время экспозиции 1 с, 15 повторений и мощность 10 мВт на выборке. При использовании установки конфокальной микроскопии измеренный объем ограничивается оптикой до нескольких микрометров, и, таким образом, сигнал субстрата не нужно учитывать. Для каждой ячейки (таблица 12) были выбраны два стебля для комбинационных измерений. Для более старых стеблей красной свеклы были измерены две точки на каждом стебле. Для более молодых образцов красной свеклы, из-за более низкой интенсивности сигнала, три точки, чтобы получить усредненные спектры. Для этого использовали время экспозиции 2 с, 15 повторений и мощность лазера 10 мВт на образце. Таким образом, для каждой клетки мы получили 4 спектра для старых стеблей и 6 спектров для молодых стеблей. Затем проводили вычитание фона флуоресценции и нормализацию интенсивности спектров относительно пика при  $1394\text{ см}^{-1}$ . Затем нормализованные спектры из четырех измеренных точек старых стеблей и шести спектров молодых стеблей усредняли отдельно. Также был проведен анализ всех спектров вручную (до усреднения), поскольку некоторая статистическая информация могла быть потеряна при усреднении. Было обнаружено, что, хотя существуют спектральные различия в компонентах, именно отношение интенсивности беталаина к каротину остается надежным показателем

от образца к образцу и от одного урожая к другому. Различные усредненные спектры, такие как спектры старших и младших стеблей, спектры клеток 1 и 2 были построены вместе для их сравнения [101].

Экспериментальные образцы выращивались под монохроматическим излучением с разной длиной волны. Ячейка №1 соответствовала облучению с максимумом на длине 660 нм, ячейка №2 – 445 нм (таблица 12).

Таблица 12 – Параметры облучения образцов свеклы

Параметр		Номер образца	
		Ячейка №1	Ячейка №2
PPFD (PAR), $\mu\text{mol}^*\text{s}/\text{m}^2$ .		209,3	210,1
Spectral density PPFD (PAR), $\mu\text{mol}^*\text{s}/\text{m}^2$ .	400-500	188,15	45,47
	500-600	13,32	2,92
	600-700	8,57	1,61
	700-800	1,91	1

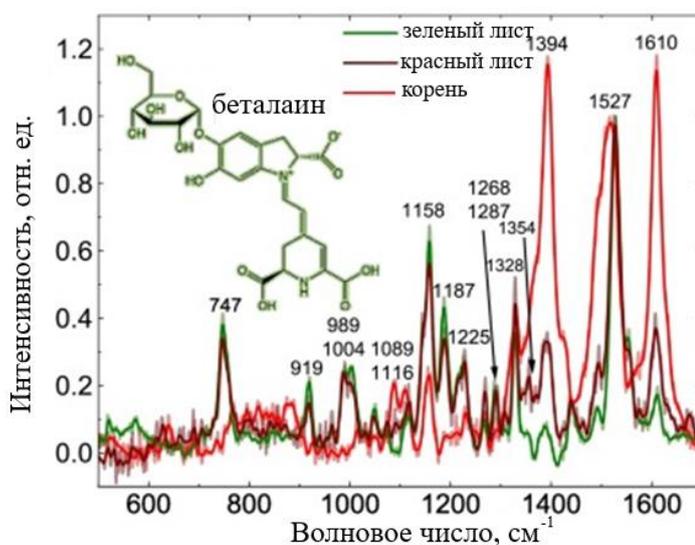


Рисунок 3.33 - Спектры комбинационного рассеяния листьев и стеблей с помеченными основными положениями пиков, а молекулярная структура беталаина представлена в виде вставки

Наибольшая интенсивность сигнала в спектре комбинационного рассеяния листа расположена в точке  $1527\text{ см}^{-1}$ . Данный пик относится к полиеновой цепи

(CC) в каротиноидах [95, 96]. За хлорофилл отвечают пики 1553, 1287, 989 и 919  $\text{см}^{-1}$  (таблице 1). В спектрах комбинационного рассеяния стебля преобладают три пика при 1394  $\text{см}^{-1}$ , 1524  $\text{см}^{-1}$  и 1610  $\text{см}^{-1}$ , а также более слабые, но выраженные моды при 1086, 1106 и 1158  $\text{см}^{-1}$ . Моды 1387, 1517, 1603, а также более слабые 562, 1014, 1115, 1157 и выше 1800  $\text{см}^{-1}$  появляются для очищенного беталаина [97], красно-пурпурного пигмента в красной свекле, водорастворимый азотсодержащий пигмент. Молекулярная структура беталаина изображена на вставке к рисунку 3.33 [98]. В растении беталаин содержится вместе с бетаксантином, желтым или оранжевым красителем. Среднее количество беталаинов составляет около 1% от массы тела [99]. Несмотря на относительно низкую концентрацию в растениях, беталаины демонстрируют сильный рамановский сигнал из-за высокого оптического поглощения. В литературе до сих пор отсутствует полная интерпретация спектров беталаина и физического происхождения различных колебаний, наблюдаемых экспериментально [101].

Таблица 13 - Сопоставление элементов и пиков в Рамановских спектрах

Зеленый лист	Красный лист	Стебель 43 дня	Стебель 13 дней	Соответствие пика
1610	1607	1610	1610	$^{13}\text{C}=\text{C}^{12}$
1553	1554	—	—	Хлорофилл $\nu$ (пиримидиновое кольцо) + $\delta$ ( $\text{CH}_3$ )
1527	1526	1524	1524	Каротиноиды $-\text{C}=\text{C}-$
1486	1492	—	—	$\delta(\text{CH}_3)$
1438	1438	—	—	$\text{CH}_3/\text{CH}_2$
1391	1389	1394	1394	CH
1354	1354	1349	1349	$\nu(\text{C}-\text{NO}_2)$
1328	1328	1330	1330	$\text{C}-\text{H}$ , $\text{O}-\text{H}$
1287	1290	—	—	Хлорофилл $\nu(\text{C}-\text{N})$ + $\rho(\text{CH}_3)$

Продолжение таблицы 13

1267	1268	–	–	$\text{=CH}$
1225	1228	1230	1230	$\text{N—N}$ и $\text{C—N}$
1187	1189	–	–	Каратиноиды $\text{C—C}$
1158	1158	–	–	Белки ( $\text{C—C}$ , $\text{C—N}$ )
1112	1116	–	–	Углеводы $\text{C—OH}$
–	–	1086, 1106	1086, 1106	$^{13}\text{C}=\text{S}$
1049	1046	1050	1050	$\text{C—O—N}$
1004	1002	–	–	Каратиноиды $\text{CH}_3$
989	987	–	–	Хлорофилл
919	919	–	–	Хлорофилл
–	–	889	889	$\rho(\text{CH}_2) + \nu(\text{C—C})$
–	–	–	764	Триптофан
576	570	–	–	Углеводы, $\delta(\text{C—C—O}) + \tau(\text{C—O})$
532	532	532	532	$\text{C—O—C}$

На рисунке 3.34 показаны спектры комбинационного рассеяния стеблей красной свеклы разного возраста 13 и 43 дня. Каждый спектр в левой части - это среднее значение всех спектров, полученных на одном стебле. Очевидным отличием является увеличение интенсивности сигнала с развитием растения. Также наблюдается значительное изменение отношений интенсивности для двух пиков при  $1517 \text{ см}^{-1}$  и  $1523 \text{ см}^{-1}$ . Кроме того, было обнаружено увеличение интенсивности пика на  $1610 \text{ см}^{-1}$ . Большинство исследований красной свеклы проводилось на корнях, в то время как вопрос о накоплении пигмента в листьях и стеблях до сих пор не исследовался. Накопление беталаина также объясняет видимое исчезновение некоторых полос в нормализованных спектрах стеблей

старых свекл, поскольку они экранируются гораздо более сильным сигналом от бетаина [101].

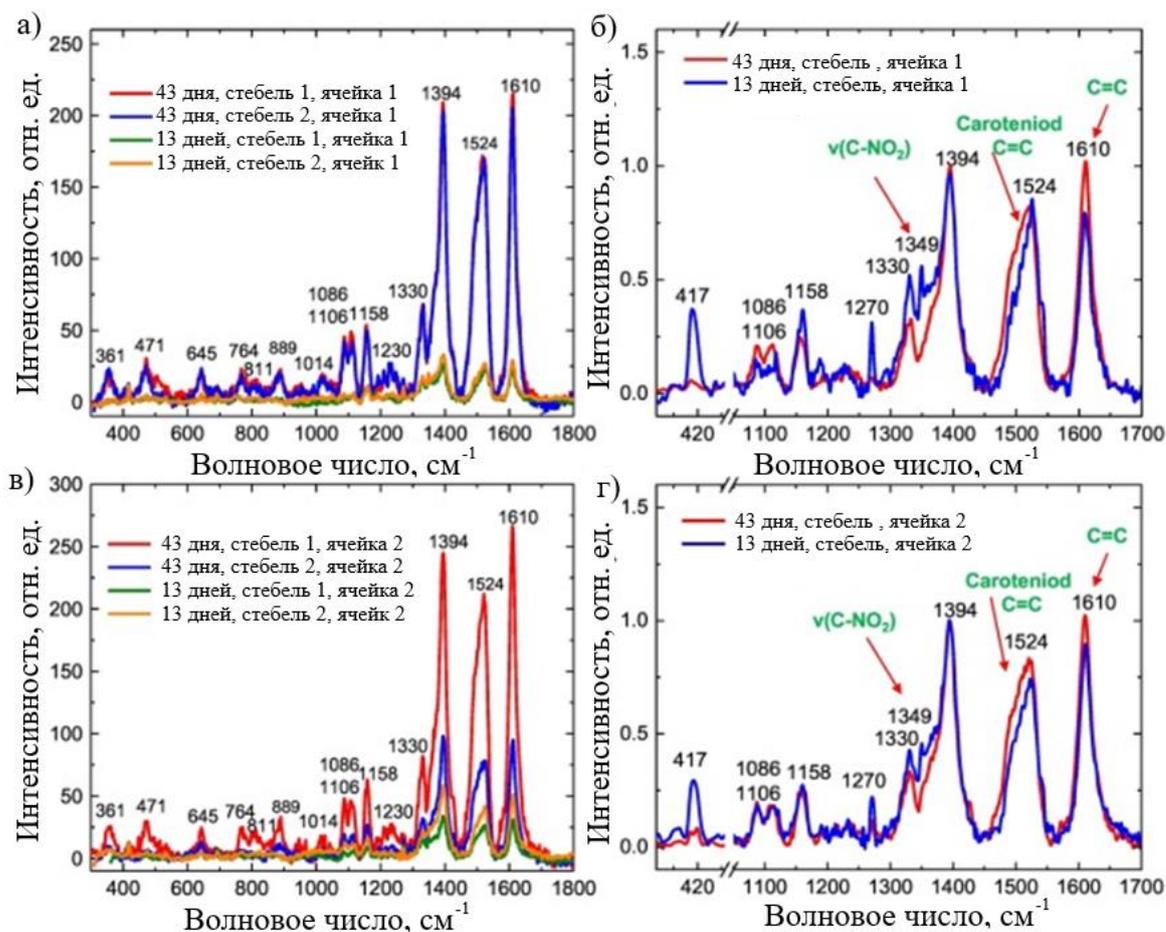


Рисунок 3.34 - Рамановские спектры стебля красной свеклы (а) ненормированная ячейка 1 (б) нормированная ячейка 1 (в) ненормированная ячейка 2 (г) нормированная ячейка 2

Другие наблюдаемые пики происходят от остальных растительных компонентов, таких как сахараиды, аминокислоты и эфирные масла. Было обнаружено, что интенсивность нескольких пиков, таких как 417, 1270 и 1349 см<sup>-1</sup>, изменяются с увеличением возраста красной свеклы. Пик 417 см<sup>-1</sup> относится к сахараидам. Другие пики, которые изменяют свою интенсивность, можно отнести к аминокислотам [100]. Для более старых растений отношение сигнал/шум комбинационного рассеяния было лучше, чем для более молодых. Эта разница в интенсивности связана с увеличением количества бетаина по мере роста растения. Увеличение концентрации бетаина с течением времени привело к

тому, что рамановский сигнал был настолько интенсивным, что он перекрывал сигнал от других компонентов свеклы [101].

Таким образом, можно сделать вывод, что способ исследования динамики роста растений на основе спектроскопии комбинационного рассеяния беталаина возможен. По мере роста красной свеклы содержание питательных веществ постоянно меняется. Но темпы роста не одинаковы для разных соединений внутри растения. Было обнаружено, что скорость накопления беталаина выше, чем у любого другого компонента в стебле растения. Это быстрое увеличение скорости заставляет питательные вещества перераспределяться в стебле красной свеклы. Это означает, что пигменты можно использовать в качестве биомаркера для анализа возраста растений. Данное исследование демонстрирует возможности спектроскопии комбинационного рассеяния для неразрушающего и быстрого анализа растений и их питательных веществ, полученных в теплицах в разных условиях [101].

### **3.3 Обоснование и выбор параметров и характеристик базы данных эффективных режимов облучения**

«База данных» должна содержать сведения о потоках и спектрах ФАР, ежедневной длительности облучения на разных стадиях роста и развития растений. Создание научно обоснованных режимов облучения является не простой задачей, решение которой также может быть облегчено применением адаптивных ОБУ в сочетании с разработкой эффективных методов контроля состояния растений. Методы контроля состояния растений могут быть традиционными, например, по внешнему виду растения, либо с применением современных оптических и биохимических методов оценки состояния растения.

Преимущества светодиодных систем облучения существенно увеличиваются, как в энергосбережении, так и в повышении продуктивности при использовании описанных выше систем, позволяющих корректировать в процессе выращивания растений качество и количество излучения на разных этапах его роста и развития. Совершенно очевидно, что оптимальный спектральный состав и

поток ФАР обеспечивают повышение урожайности и качества растительной культуры при одновременном уменьшении энергозатрат на облучение. Однако в настоящее время оценить эти эффекты количественно не представляется возможным, поскольку прототипы таких систем отсутствуют.

### **3.4 Методика оценки эффективности облучательных установок для закрытого грунта в области ФАР**

Одной из основных проблем при энергоаудите тепличных помещений, а также разработке облучательных установок для закрытого грунта, является оценка их эффективности. В основном эффективность облучательных установок для теплиц оценивают с помощью фотометрических характеристик (освещенность), но было доказано [16, 35-36], что такой подход неверен. Также, некоторые разработчики и исследователи предлагают оценку облучательных установок по квантовым и энергетическим характеристикам облучателя. Но это требует специализированного оборудования (квантовые датчики, спектрофотометры), специально обученного персонала, либо длительных расчетов.

Для решения данной проблемы были разработаны алгоритм и методика, а в дальнейшем разработано программное обеспечение (ПО) для оценки эффективности облучательных установок для закрытого грунта в области ФАР, которая не требует наличия специализированного оборудования.

Блок-схема, описывающая принцип работы данного ПО, представлена на рисунке 3.35:

- 1) Пользователь выбирает мощность и тип источника света, эффективность которого необходимо оценить, а также сорт облучаемого растения;
- 2) ПО загружает фотометрические данные на выбранный источник света (ксс, световой поток);
- 3) Далее необходимо указать освещенность, которую создает выбранный источник света на поверхности растения;

- 4) ПО пересчитывает фотометрические характеристики в квантовые и энергетические и выводит их в виде таблицы, также формируется спектральное распределение выбранного источника света;
- 5) Полученный набор данных сравнивается с базой данных эффективных режимов облучения выбранного сорта растения и производится расчет эффективности облучательной установки.
- 6) Если в базе данных еще нет выбранного растения, то ПО заканчивает алгоритм на расчете квантовых и энергетических единиц.

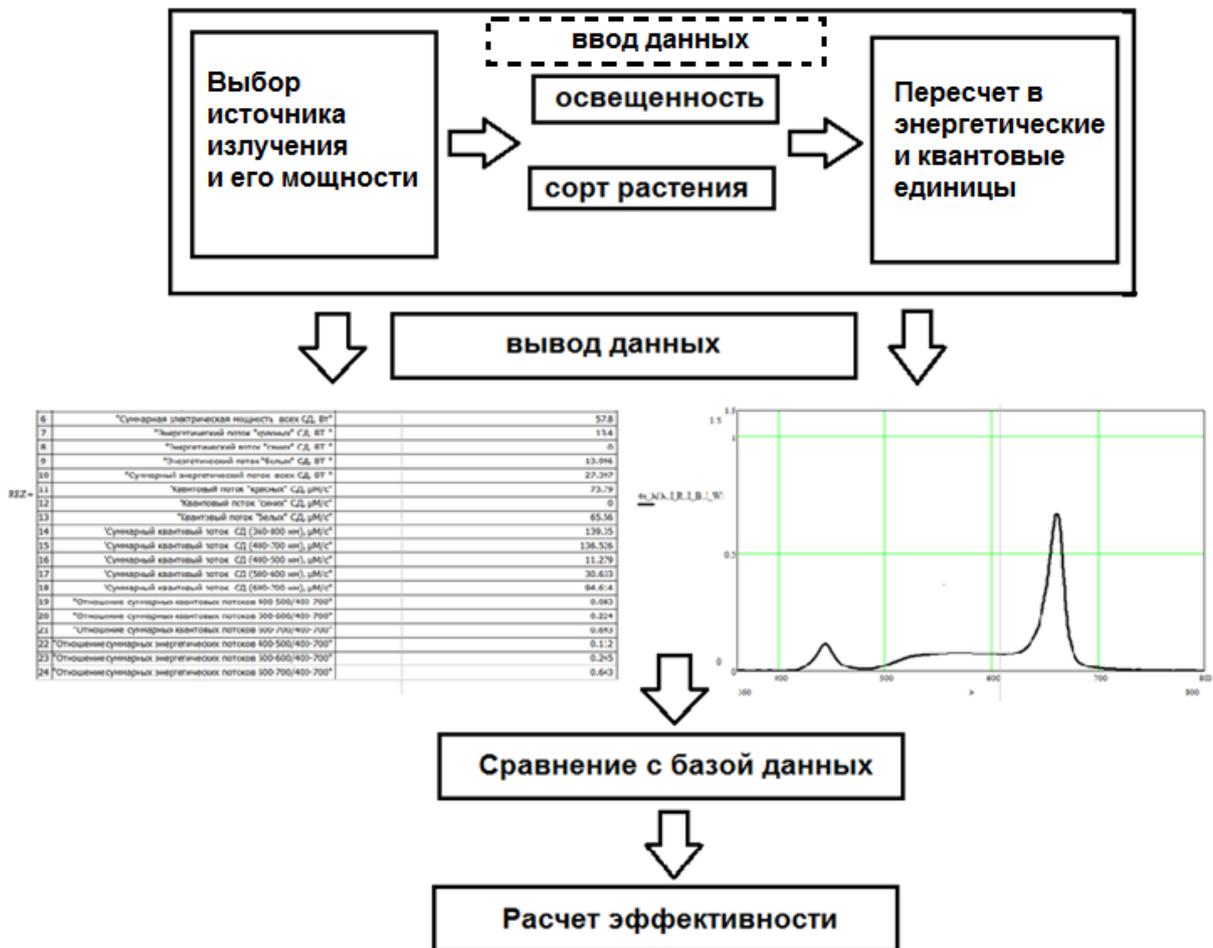


Рисунок 3.35 - Блок-схема работы программного продукта для оценки эффективности облучательных установок для закрытого грунта

### 3.4.1 Методика расчета спектральных, энергетических и квантовых характеристик облучательных установок для теплиц

Для реализации алгоритма, представленного в главе 3.4, была разработана программа для расчета спектральных, энергетических и квантовых характеристик облучателей для закрытого грунта на основе величины освещенности создаваемой выбранным облучателем:

- 1) См. п.1 глава 2.3;
- 2) Выбор типа облучателя и его мощности (ДНаТ, СД);
- 3) Загрузка фотометрических данных выбранного облучателя (КСС);
- 4) Получение спектрального распределения выбранного облучателя:

$$S\_source := lspline(source)$$

$$\Phi\lambda\_source(x) := interp(S\_source, source, x)$$

$$\Phi\nu\_source(\lambda) := \Phi\lambda\_source(\lambda) \cdot V\lambda(\lambda)$$

- 5) Далее вводится значение освещенности, создаваемое выбранным облучателем на рабочей поверхности:

$$E\_source := \dots$$

- 6) Рассчитываем интеграл (по  $\lambda$ ) освещенности:

$$Ev\_source := \int_{380}^{760} 683 \cdot \Phi\nu\_source(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Ev\_source := \dots$$

- 7) Рассчитываем нормировочный коэффициент:

$$N\_source := \frac{E\_source}{Ev\_source}$$

$$N\_source := \dots$$

$$Ee\_source(\lambda) := \Phi\lambda\_source(\lambda) \cdot N\_source$$

$$Ee\_(\lambda) := \Phi\lambda\_source(\lambda) \cdot N\_source$$

- 8) Рассчитываем силу света, создаваемую облучателем, для этого вводим расстояние ( $l$ ), на котором проводился замер освещенности:

$$Ie(\lambda) := Ee\_source(\lambda) \cdot l^2$$

- 9) Расчет PPFД и облученности на основе полученных значений:

$$\Phi_e(\lambda) := I_e(\lambda) \cdot \pi$$

$$N_e(\lambda) := \frac{\Phi_e(\lambda) \cdot \lambda \cdot 10^6}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1240 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$\Phi_e := \int_{n1}^{n2} \Phi_e(\lambda) d\lambda$$

$$N_e := \int_{n1}^{n2} N_e(\lambda) d\lambda$$

где n1 и n2 – требуемые границы интеграла

### 3.5 Выводы по главе 3

1) Разработан алгоритм и методика оценки эффективности облучательных установок для закрытого грунта в области ФАР, основанные на сравнении энергетических и спектральных характеристик облучателя с базой данных эффективных режимов облучения. При этом пересчет фотометрических данных (освещенность, КСС) облучателя в энергетические единицы происходит с помощью разработанного программного продукта без применения специализированных спектрометров и квантовых датчиков, а также длительных расчетов.

2) Спектральный состав солнечной радиации изменяется только утром и вечером по известным зависимостям, когда уровень естественной облученности мал. Поэтому измерять спектральный состав при мониторинге естественной облученности нет необходимости.

3) Уровень облученности солнечной радиации может изменяться в течении дня в 5-7 раз, а в течение года в 20-25 раз. Поэтому необходимо контролировать данный параметр.

4) Доказано, что изменение уровня фотосинтетического фотонного потока от искусственного облучения в зависимости от уровня солнечной радиации позволит сократить потребление электрической энергии облучательными установками.

5) Разработана концепция комбинированной распределенной автоматической масштабируемой системы управления параметрами облучательных установок на основе использования интерфейса DALI и преобразователей DALI – ШИМ, использование которой позволит повысить эффективность облучательных установок за счет управления, адаптации и оптимизации параметров облучения.

5) Внедрение разработанной оптико-электронной системы адаптивного облучения позволит:

- повысить продуктивность производства в области внедрения;
- реализовывать новые, прогрессивные технологии;
- ускорить процесс импортозамещения;
- снизить энергозатраты на облучение;
- улучшить экологическую обстановку (например, путем исключения утилизации ртутьсодержащих изделий, а также уменьшением светового загрязнения);
- уменьшить влияние вредных факторов, присущих традиционным облучательным системам;
- обеспечить удобства обслуживания и управления облучательными установками;
- создать более комфортные условия работы на производстве;
- обеспечить высокий срок службы облучательных установок.

б) Разработанная оптико-электронная система облучения имеет возможность управления и корректировки параметров облучения в автоматическом режиме, по заданной программе или на основе обратной связи с облучаемым объектом, что делает ее универсальной системой и позволяет применять ее в широком ряде научно-исследовательских и прикладных задач.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИИ

Использование современных адаптивных оптических и оптико-электронных систем облучения — это самый перспективный способ повышения энергоэффективности облучательных установок. Несмотря на активное развитие этого направления многие области применения остаются неизученными, например, системы освещения крупных промышленных и тепличных комплексов. Учитывая мировые тенденции развития рынка светотехники, разработка тепличных систем освещения является наиболее приоритетной задачей современной науки. Научные разработки и инновации в этой отрасли поддерживаются государствами и частными компаниями.

Анализ свидетельствует о том, что самыми перспективными путями снижения энергозатрат при применении искусственного освещения является оптимизация потоков, облученностей и спектрального состава облучательных установок. Несмотря на многообразие используемых оптических приборов и систем облучения очевидным является то, что современные комплексы должны освещаться светодиодными источниками света. Этот вывод обусловлен следующим:

- широко применяемые традиционные газоразрядные лампы не позволяют управлять спектральным составом и интенсивностью облучения;

- светодиоды могут обеспечивать излучение с высоким КПД в необходимых частях спектра;

- при использовании светодиодов можно достаточно просто управлять в процессе эксплуатации как энергетическими потоками по величине, так и их спектральным составом.

- немаловажным обстоятельством является низкое напряжение питания светодиодов, что в условиях высокой влажности обеспечивает более высокую безопасность и высокий срок службы до 50 000 ч;

Таким образом, разработанная в рамках данной диссертации энергоэффективная адаптивная оптико-электронная система облучения с

возможностью изменения интенсивности и спектрального состава облучения с учетом следующих параметров: время года, время суток, температура, влажность, координаты местоположения облучаемого объекта, спектральный состав и уровень естественной облученности, является универсальным и наиболее перспективным техническим решением (способом) создания облучательных установок. Также, стоит отметить универсальность разработанной системы. Ее можно применять в самом широком спектре научно-исследовательских (изучение влияния параметров облучения на человека, животных, растения и т.д.) и прикладных задач (освещение теплиц, складов, витрин, дорог и т.д.).

Результатом работы является научно-технические основы проектирования нового класса оптико-электронных систем – адаптивных систем облучения. Внедрение таких систем позволит существенно снизить энергоемкость производства, уменьшить отрицательное техногенное воздействие на окружающую среду, например, исключив из систем облучения ртутьсодержащие лампы, уменьшить световое загрязнение, а также улучшить условия труда работников.

**Список использованных источников**

1. Тетри, Э. Экономия электроэнергии благодаря энергосберегающему освещению / Э. Тетри, Л. Халонен // Светотехника. – 2009. – №5. – С. 58-64.
2. International Energy Agency. Light's Labour's Lost. – France: IEA Publications, 2006, 360 p., Mills E. Why we are here: The \$320-billion global lighting energy bill. – Nice, France: Right Light 5, 2002. - P. 369–385.
3. Корепанов В. И., Туранов С. Б. Адаптивная система облучения растений в теплицах // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIII Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию ТУСУРа: в 2 т., Томск, 29 Ноября-1 Декабря 2017. - Томск: В-Спектр, 2017 - Т. 1 - С. 268-270.
4. Туранов С.Б., Бактыбаев А.А. Эффективная модернизация оптической облучающей системы в тепличном хозяйстве // Сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27–29 ноября 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. А. Н. Яковлева. - Томск: Изд-во ТПУ, 2017. - С. 130-131.
5. Бахарев И., Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы. // Современные технологии автоматизации. - 2010. - № 2 - с. 76-82.
6. Turanov S.B., Baktybaev A.A., Romanenko S.A., Toleotaev K.A. Effective modernization of the optical irradiating system in greenhouse // Key Engineering Materials. – 2016. - Vol. 769. - С. 388-393.
7. Turanov S. B., T. V. Grechkina [et al.] Energy-efficient LED irradiator for greenhouse cropping // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol. 156. – pp. 012044,5.
8. Григорай Е.Е., Далькэ И.В., Табаленкова Г.Н., Головки Т.К. Световой режим и продуктивность тепличной культуры огурца при использовании

- дополнительных источников освещения в междурядьях // Гавриш. – 2012. № 3. – С. 10–13.
9. Прикупец Л.Б. Емелин А.А., Использование облучателей на основе светодиодов для светокультуры салата: Экономический аспект // Теплицы России. – 2013. – №2. – С. 66-68.
10. Туранов С. Б., Темник С. Е., Смолякова К. В., Моделирование и расчет потерь светового потока через светопроницаемые элементы теплиц при ее освещении ДНаТ светильниками // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов международной конференции, Томск, 9-11 Июня 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - С. 363-365.
11. Pinho, P., Halonen, L., Agricultural and Horticultural Lighting // Handbook of Advanced Lighting Technology. Springer, Cham. – 2014. - pp. 703–720.
12. Lu, N., Mitchell, C.A., 2016. Supplemental Lighting for Greenhouse-Grown Fruiting Vegetables // LED Lighting for Urban Agriculture. Springer, Singapore. – 2016. - pp. 219–232.
13. Wallace, C., Both, A.J., Evaluating operating characteristics of light sources for horticultural applications // Acta Hort. - 2016. - Vol. 1134. – pp. 435–443.
14. Liu, H., Fu, Y., Hu, D., Yu, J., Liu, H., Effect of green, yellow and purple radiation on biomass, photosynthesis, morphology and soluble sugar content of leafy lettuce via spectral wavebands “knock out” // Scientia Horticulturae. – 2018. – Vol. 236. - 10–17.
15. Туранов С.Б., Яковлев А.Н., Козырева И.Н., Физические основы создания светодиодных облучателей заданного спектрального состава // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 9/3. – [С. 93-96].
16. Козырева И.Н. Формирование фитопотоков светодиодных облучательных установок для выращивания сельскохозяйственных культур в условиях защищенного грунта: автореф. дис. канд. тех. наук: – Томск, 2015.
17. Bantisa, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N., Radoglou, K., Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use

- of light-emitting diodes (LEDs) // *Scientia Horticulturae*. – 2018. – Vol. 235 pp. 437–451.
18. Astafurova, T., Lukash, V., Goncharov, A., Yurchenko, V., Phytotron for LED lighting of plants in greenhouses and at home // *Solid-State Lighting magazine*. – 2016. – Vol. 3. – pp. 36–38.
19. Avercheva, O.V., Bassarskaya, E.M., Zhigalova, T.V., Berkovich, Yu.A., Smolyanina, S.O., Leont'eva, M.R., Erokhin, A.N., Photochemical and photophosphorylation activities of chloroplasts and leaf mesostructure in chinese cabbage plants grown under illumination with light-emitting diodes // *Russ J Plant Physiol*. – 2010. – Vol. 57. – pp. 382–391.
20. Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., Roth, B. LEDs for energy efficient greenhouse lighting // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015. – Vol. 49. – pp. 139–147.
21. Berkovich, Yu.A., Konovalova, I.O., Smolyanina, S.O., Erokhina, A.N., Avercheva, O.V., Bassarskaya, E.M., Kochetova, G.V., Zhigalova, T.V., Yakovleva, O.S., Tarakanov, I.G. LED crop illumination inside space greenhouses // *REACH – Reviews in Human Space Exploration*. - 2017. – Vol. 6. – pp. 11–24.
22. Viršilè, A., Olle, M., Duchovskis, P. LED Lighting in Horticulture. In: Dutta Gupta S. (eds) // *Light Emitting Diodes for Agriculture*. Springer, Singapore. - 2017. - pp. 113–147.
23. Яковлев А.Н., Козырева И.Н., Туранов С.Б., Кругликова Л.Л. Исследование спектральных характеристик одиночных листьев растений // *Известия вузов. Физика*. -2012 - Т. 55 - №. 6/2. - С. 158-162.
24. Yakovlev A.N., Upadysheva I.N., Turanov S.B., Korepanov V.I. Evaluation of the effect of LED-lamp spectral content on the development of greenhouse tomato // *Key Engineering Materials* . - 2016 - Vol. 685. - p. 482-486.
25. Yakovlev A.N., Korepanov V.I., Turanov S.B., Buzmakova D.A., Grechkina T.V. Evaluation of the effect of led irradiator spectral content on the development of greenhouse plants // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 156 (1). – pp. 012045.

26. Yakovlev A.N., Kozyreva I.N., Turanov S.B., Starodubtseva D.V. Sources with Different Spectra Radiation Influence on Plants Growth and Development // *Advanced Materials Research*. – 2014. - Vol. 1040. - pp. 830-834.
27. Яковлев А.Н., Упадышева И.Н., Туранов С.Б., Корепанов В.И. Влияние спектрального состава светодиодного источника света на развитие тепличных образцов салата // *Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики»*, Саранск, 28-29 мая 2015г. – Саранск: СВМО, 2015. – С. 71-78.
28. Туранов С.Б., Романенко С.А., Исследование влияния спектрального состава облучения на рост и развитие тепличного редиса // *Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием*, Саранск, 15-16 Марта 2017. - Саранск: Афанасьев В.С., 2017 - С. 284-288.
29. Туранов С.Б., Романенко С. А. Влияние параметров облучения на спектр отражения листьев базилика // *Сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов*, г. Томск, 26–30 ноября 2018 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. А. Н. Яковлева. - Томск: Изд-во ТПУ, 2018. - С. 104-105.
30. Туранов С.Б., Л.В. Хоцкова, Т.П. Астафурова, А.А. Буренина Влияние спектрального состава света на морфогенез проростков орхидных в культуре *in vitro* // *Сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов*, г. Томск, 26–30 ноября 2018 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. А. Н. Яковлева. - Томск: Изд-во ТПУ, 2018. - С. 104-105.
31. Туранов С.Б., М. С. Ямбуров., Т.П. Астафурова, А.А. Буренина Влияние различных источников освещения на рост и развитие растений томата //

- Сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 26–30 ноября 2018 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. А. Н. Яковлева. - Томск: Изд-во ТПУ, 2018. - С. 104-105.
- 32.Туранов С.Б., М. С. Ямбуров., Т.П. Астафурова, А.А. Буренина Влияние света LED-светодиодов на структурно-функциональные показатели растений салата // Сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 26–30 ноября 2018 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. А. Н. Яковлева. - Томск: Изд-во ТПУ, 2018. - С. 104-105.
- 33.Козырева И.Н., Туранов С.Б., Яковлев А.Н. Способы оценки фотосинтетически активной радиации // Сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «СТТ -2014», Томск, 14-18 апреля 2014 г. в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2014. — Т. 1. - С. 149-150.
- 34.Яковлев А.Н., Туранов С.Б., Козырева И.Н. Методы оценки качественных характеристик светодиодных световых приборов для растений // Полупроводниковая светотехника – 2014. № 6. – С. 56-57.
- 35.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.
- 36.Прикупец Л.Б. Емелин А.А., Использование облучателей на основе светодиодов для светокультуры салата: Экономический аспект // Теплицы России. – 2013. – №2. – С. 66-68.

37. Ilieva I., Ivanova T., Naydenov Y., Dandolov I., Stefanov D. Plant experiments with light-emitting diode module in Svet space greenhouse // *Advances in Space Research*. – 2010. – 46. – P.840–845.
38. Туранов С.Б., Бактыбаев А.А. Исследование оптических свойств светодиодов на основе гетероструктур из широкозонных полупроводников // *Сборник научных трудов V Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 5–7 декабря 2016 г. // Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. А. Н. Яковлева. - Томск: STT, 2016. - С. 220.*
39. Козырева И.Н., Яковлев А.Н., Туранов С.Б., Стародубцева Д.В. Led radiation with different spectra influence on plants development at different stages of vegetation // *Сборник научных трудов V Всероссийской конференции студентов элитного технического образования: Изд-во ТПУ, 2014. - С. 276-279.*
40. Яковлев А.Н., Козырева И.Н., Туранов С.Б., Кругликова Л.Л. К вопросу спектральных характеристик одиночных листьев растений // *Сборник юбилейной X международной научно-технической конференции «Проблемы современного развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики», Саранск, 13-14 декабря 2012г. /редколлегия: О.Е. Железникова (отв. Ред) [и др.] – Саранск: СВМО, 2012. - С. 99-103.*
41. А.С. Кремлев, А.В. Титов, А.Н. Щукин *Проектирование систем интеллектуального управления домашней автоматикой. Элементы теории и практикум. Учебное пособие. Санкт-Петербург, 2014.*
42. Мировой рынок светодиодной светотехники набирает оборот. [Электронный ресурс]. URL: <http://newsland.com/news/detail/id/926522> (дата обращения 11.12.2018).
43. Каталог продукции Компании Artleds [Электронный ресурс] URL:<http://www.artleds.ru/> (дата обращения 15.12.2018).
44. Каталог продукции Компании OSRAM [Электронный ресурс]. URL: <http://fitosystems.ru/manufacture/osram.html>(дата обращения 15.11.2018).

- 45.Каталог компании «Cree» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED-Components-and-Modules/XLamp/XLamp-Application-Notes/XLampThermalManagement.pdf>  
Дата обращения: 24.09.2016.
- 46.Овощеводство / Тараканов Г.И., Мухин В.Д., Шуин К.А. и др. Под ред Тараканова Г.И. и Мухина В.Д. - 2-е изд. перераб. и доп. -М.: КолосС, 2003. – С. 472.
- 47.Муравьев А.Ю. Производство салата и зеленных культур на салатных и рассадных комплексах РФ в 2007 году/ А.Ю. Муравьев //Теплицы России №3. - 2008. - С. 23-26.
- 48.Салат [Электронный ресурс] URL:<http://agrostrana.ru/wiki/278-salat> (дата обращения: 09.12.2018).
- 49.РТС Mathcad Prime [Электронный ресурс] URL:<http://mathcad.com.ua/> (дата обращения: 11.05.2016).
- 50.Фокин А.А. Применение светодиодных светильников в защищенном грунте // Вестник МичГАУ. – 2012. –№ 2. – С. 112–116.
- 51.Шогенов Ю.Х., Гришин А.П., Тараканов И.Г., Юферев Л.Ю., Гришин А.А. Использование светодиодных облучателей при выращивании растений в вегетационных климатических камерах нового поколения // Труды международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – 2012. – Т. № 3. – С. 185–192.
- 52.Ерохин А.Н., Беркович Ю.А. Анализ характеристик салатной космической оранжереи с блоком освещения на светоизлучающих диодах // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2005– Т. 39 – № 1. – С. 36–43.
- 53.Мурей И.А., Шульгин И.А. Физиологические подходы к оценке использования лучистой энергии растением // Светотехника. – 1979. –№ 9. – С. 16–18.
- 54.Овощеводство [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ovoshch.ru/> (дата обращения: 24.12.2018).

55. Прикупец Л.Б. Светокультура. Лампы светят. Когда менять? // Теплицы России. – 2015. – №1. – С. 12-15.
56. Erokhin A.N., Berkovich Yu.A., Smolianina S.O., Krivobok N.M., Agureev A.N., Kalandarov S.K. A cylindrical salad growth facility with a light-emitting diodes unit as a component for biological life support system for space crews // *Advances in Space Research*. – 2006. – 38. – P.1240–1247.
57. Аверчева О.В., Беркович Ю.А., Ерохин А.Н., Жигалова Т.В., Погосян С.И., Смолянина С.О. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками // *Физиология растений*. – 2009. – Т. 56. – № 1. – С. 17–26.
58. Аверчева О.В. Физиологические эффекты узкополосного красно-синего освещения растений (на примере китайской капусты *Brassicachinensis*L.): автореф. дис. ... канд. биол. наук: – Москва, 2010. – 25 с.
59. Johkan M., Shoji K., Goto F., Nahida S., Yoshihara T. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa* // *Environmental and Experimental Botany*. – 2012. – 75. – P.128–133.
60. Ichiro Terashima, Takashi Fujita, Takeshi Inoue, Wah Soon Chow, Riichi Oguchi Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves are Green // *Plant and cell physiology*. – 2009. – 50(4). – P.684–697.
61. Каталог продукции Компании Philips [Электронный ресурс] URL: <http://www.philips.ru/> (дата обращения 15.04.2016).
62. Косицын О.А. Математическое моделирование пространственных характеристик биологических приемников излучения. – *Светотехника*, 1978, №6. – С.15-16.
63. Косицын О.А., Суетинов Г.С., Овсянникова Е.А., Моделирование индикатрисы облученности плотно расположенных тел с шаровидной поверхностью // *Сборник научных трудов МГАУ (Агроинженерия)*, №3 (18). – С.20-21.

64. Мешков В.В. Основы светотехники: Учеб. Пособие для вузов. Ч. 1- 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1979. – 368 с.
65. Сайт компании Lighttools [Электронный ресурс]. URL: [www.lighttools.com/](http://www.lighttools.com/)  
Дата обращения: 14.01.2019.
66. Каталог компании Аланод [Электронный ресурс]. URL: [аланод.рф/](http://аланод.рф/) Дата обращения: 24.09.2018.
67. В. Константинов, Е. Вставкая, А. Вставский, М. Пожидай. Особенность эксплуатации светодиода // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – №5. – С. 56-57.
68. Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады НТП 10-95 [Электронный ресурс] URL: [http://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/8/8604/](http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/8/8604/) (дата обращения: 28.12.2018).
69. Естественное и искусственное освещение. Свод норм и правил [Электронный ресурс] URL: [http://www.know-house.ru/gost/sp\\_2013/sp\\_52.13330.2011.pdf](http://www.know-house.ru/gost/sp_2013/sp_52.13330.2011.pdf) (дата обращения: 11.12.2018).
70. Количество солнечной радиации [Электронный ресурс] URL: <http://voshodsolnca.ru/%D0%A2%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BA.html> (дата обращения: 09.12.2018).
71. Солнечный калькулятор [Электронный ресурс] URL: <https://www.pvlighthouse.com.au/calculators/solar%20spectrum%20calculator/solar%20spectrum%20calculator.aspx> (дата обращения: 09.12.2018).
72. Протасова Н.Н., Уеллс Дж. М., Добровольский М.В., Цоглин Л.Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения // Физиология растений. – 1990. – Т. 37. – вып. 2. – С. 386–396.
73. P.O. Lim, H.J. Kim, H.G. Nam Leaf senescence // Annual Review of Plant Biology. – 2007. – Vol. 58. - pp. 115-136.

- 74.H.-E. Khoo, K. Nagendra Prasad, K.-W. Kong, Y. Jiang, A. Ismail Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables // *Molecules*. – 2011. – Vol. 16. - pp. 1710-1738.
- 75.H.A. Bashir, A.-B.A. Abu-Goukh Compositional changes during guava fruit ripening // *Food Chemistry*. – 2003. – Vol. 80. - pp. 557-563.
- 76.M.S. Günthardt-Goerg, P. Vollenweider Linking stress with macroscopic and microscopic leaf response in trees: new diagnostic perspectives // *Environmental Pollution*. – 2007. – Vol. 147. - pp. 467-488.
- 77.J.W. Allwood, R. Goodacre An introduction to liquid chromatography-mass spectrometry instrumentation applied in plant metabolomic analyses // *Phytochemical Analysis*. – 2010. - Vol. 21. - pp. 33-47.
- 78.X. Pan, R. Welte, X. Wang Quantitative analysis of major plant hormones in crude plant extracts by high-performance liquid chromatography–mass spectrometry // *Nature Protocols*. – 2010. – Vol. 5. - pp. 986.
- 79.C. Bicchi, S. Drigo, P. Rubiolo Influence of fibre coating in headspace solid-phase microextraction–gas chromatographic analysis of aromatic and medicinal plants // *Journal of Chromatography A*. – 2000. – Vol. 892. - pp. 469-485.
- 80.M.E. Latorre, P. Narvaiz, A.M. Rojas, L.N. Gerschenson Effects of gamma irradiation on bio-chemical and physico-chemical parameters of fresh-cut red beet (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) root // *Journal of Food Engineering*. – 2010. – Vol. 98. - pp. 178-191.
- 81.Z. Basati, B. Jamshidi, M. Rasekh, Y. Abbaspour-Gilandeh Detection of sunn pest-damaged wheat samples using visible/near-infrared spectroscopy based on pattern recognition // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2018. – Vol. 203. - pp. 308-314.
- 82.C.S. Mangolim, C. Moriwaki, A.C. Nogueira, F. Sato, M.L. Baesso, A.M. Neto, G. Matioli Curcumin- $\beta$ -cyclodextrin inclusion complex: stability, solubility, characterisation by FT-IR, FT-Raman, X-ray diffraction and photoacoustic spectroscopy, and food application // *Food Chemistry*. – 2014. Vol. 153. - pp. 361-370.

- 83.N. Gierlinger, M. Schwanninger The potential of Raman microscopy and Raman imaging in plant research // *Spectroscopy*. – 2007. – Vol. 21. - pp. 69-89.
- 84.J. Jehlička, P. Vitek, H.G.M. Edwards, M.D. Hargreaves, T. Čapoun Fast detection of sulphate minerals (gypsum, anglesite, baryte) by a portable Raman spectrometer // *Journal of Raman Spectroscopy*. – 2009. – Vol. 40. - pp. 1082-1086.
- 85.D. Lauwers, A.G. Hutado, V. Tanevska, L. Moens, D. Bersani, P. Vandenabeele Characterisation of a portable Raman spectrometer for in situ analysis of art objects // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2014. – Vol. 118. - pp. 294-301.
- 86.M. Gnyba, J. Smulko, A. Kwiatkowski Portable Raman spectrometer-design rules and applications // *Bull. Pol.* – 2011. – Vol. 59. - pp. 325-329.
- 87.H. Schulz, M. Baranska Identification and quantification of valuable plant substances by IR and Raman spectroscopy // *Vibrational Spectroscopy*. - 2007. – Vol. – 43. - pp. 13-25.
- 88.R. Baranski, M. Baranska, H. Schulz Changes in carotenoid content and distribution in living plant tissue can be observed and mapped in situ using NIR-FT-Raman spectroscopy // *Planta*. – 2005. – Vol. 222. - pp. 448-457.
- 89.S.J. Eichhorn, A. Dufresne, M. Aranguren, N.E. Marcovich, J.R. Capadona, S.J. Rowan, C. Weder, W. Thielemans, M. Roman, S. Renneckar, W. Gindl, S. Veigel, J. Keckes, H. Yano, K. Abe, M. Nogi, A.N. Nakagaito, A. Mangalam, J. Simonsen, A.S. Benight, A. Bismarck, L.A. Berglund, T. Peijs Review: current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites // *Journal of Materials Science*. – 2009. Vol. 45 (1).
- 90.D. Klemm, B. Heublein, H.-P. Fink, A. Bohn Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material // *ChemInform*. – 2005. – Vol. 36.
- 91.S. Fischer, K. Schenzel, K. Fischer, W. Diepenbrock Applications of FT Raman spectroscopy and micro spectroscopy characterizing cellulose and cellulosic biomaterials // *Macromolecular Symposia*. – 2005. – Vol. 223. - pp. 41-56.
- 92.M.F. Rosa, E.S. Medeiros, J.A. Malmonge, K.S. Gregorski, D.F. Wood, L.H.C. Mattoso, G. Glenn, W.J. Orts, S.H. Imam Cellulose nanowhiskers from coconut

- husk fibers: effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior // *Carbohydrate Polymers* . – 2010. – Vol. 81. - pp. 83-92.
- 93.M. Szymańska-Chargot, J. Cybulska, A. Zdunek Sensing the structural differences in cellulose from apple and bacterial cell wall materials by Raman and FT-IR spectroscopy // *Sensors*. – 2011. – Vol. 11. - pp. 5543-5560.
- 94.R.M. El-Abassy, P. Donfack, A. Materny Visible Raman spectroscopy for the discrimination of olive oils from different vegetable oils and the detection of adulteration // *Journal of Raman Spectroscopy*. – 2009. – Vol. 40. - pp. 1284-1289.
- 95.F. Stagnari, A. Galieni, G. Cafiero, M. Pisante Application of photo-selective films to manipulate wavelength of transmitted radiation and photosynthate composition in red beet (*Beta vulgaris* var. *conditiva* Alef.) // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2014. – Vol. 94. - pp. 713-720.
- 96.V.E. de Oliveira, H.V. Castro, H.G.M. Edwards, L.F.C. de Oliveira Carotenes and carotenoids in natural biological samples: a Raman spectroscopic analysis // *Journal of Raman Spectroscopy*. – 2009. – Vol. 41. - pp. 642-650.
- 97.C. Sandquist, J.L. McHale Improved efficiency of betanin-based dye-sensitized solar cells // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. – 2011. – Vol. 221. - pp. 90-97.
- 98.I. Belhadj Slimen, T. Najar, M. Abderrabba Chemical and antioxidant properties of betalains // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2017. – Vol. 65. - pp. 675-689.
- 99.D.M. Marmion *Handbook of U.S. Colorants: Foods, Drugs, Cosmetics, and Medical Devices* John Wiley & Sons (1991).
100. J. De Gelder, K. De Gussem, P. Vandenabeele, L. Moens Reference database of Raman spectra of biological molecules // *Journal of Raman Spectroscopy*. – 2007. – Vol. 38. - pp. 1133-1147.
101. Ma B., Rodriguez R.D., Bogatova E., Turanov S., Valiev D., Sheremet E. Non-invasive monitoring of red beet development *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 212, c. 155-159.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

## Отчет о патентных исследованиях

Таблица А1 - Патентная документация по тематике «Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства»

Предмет поиска (объект исследований, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа Классификационный индекс	Заявитель (патентообладатель), страна. Номер заявки, дата приоритета, конвенционный приоритет, дата публикации	Название изобретения (полезной модели, промышленного образца)
1	2	3	4
Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства	Россия Пат. на пол. модель № 111972, МПК А01G13/00	Шматченко Виктор Тимофеевич, (RU), номер заявки, 2010118917 дата приоритета 11.05.2010, конвенционный приоритет нет, дата публикации 10.11.2010	Пространственная вертикальная теплица
	Россия Пат. на пол. модель № 186783 МПК А01G 9/20 (2006.01)	Петров Андрей Олегович (RU), Петров Иван Константинович (RU), Тогузов Сергей Александрович (RU), Васюков Сергей Владимирович (RU) номер заявки 2017143197 дата приоритета 11.12.2017 конвенционный приоритет нет, дата публикации 01.02.2019	Устройство управления светодиодным освещением для увеличения роста растений
	Россия Пат. на ИЗ №2575016 МПК F21V 5/04 (2006.01) F21V 7/00 (2006.01)	Конинклейке Филипс Электроникс Н.В. (NL) Каспер Ларс Кристиан (NL), Танасе Кристина (NL) номер заявки 2012141895/07 дата приоритета 23.02.2011 конвенционный приоритет нет, дата публикации 10.02.2016	Оптическое устройство, осветительное устройство и система для освещения межлистового полога растений
	Россия Пат. на ИЗ №2649855 МПК А01G 31/02 (2006.01)	Роквул Интернэшнл А/С (DK), Бауенс Пауль Жак Луи Юбер (NL), Хемпениус Эльке Гьялт (NL), Де Грот Якоб Франк (NL) номер заявки 2015138133 дата приоритета 07.02.2014 конвенционный приоритет нет, дата публикации 05.04.2018	Система для выращивания растений

## Продолжение таблицы А1

1	2	3	4
Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства	Россия Пат. на пол. Модель № 116011, МПК A01G9/00 A01G9/24 A01G31/02	Общество с ограниченной ответственностью "Агрофирма "ИПСО" (RU), номер заявки 2011150314/13 дата приоритета 09.12.2011, конвенционный приоритет нет, дата публикации 10.07.2000	Биокомплекс
	Россия Пат. на ИЗ № 2152666, МПК H01J65/04, H05B41/24	Общество с ограниченной ответственностью "Агрофирма "ИПСО" (RU), номер заявки 2011150314/13 дата приоритета 09.12.2011, конвенционный приоритет нет, дата публикации 10.07.2000	Безэлектродная лампа с контролируемым спектральным распределением
	Россия Пат. на ИЗ № 2247898, МПК A01G9/24 (2006.01) E04H5/08 (2006.01)	Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия" (ФГОУ ВПО АЧГАА) (RU), номер заявки 2003129738/28, дата приоритета 06.10.2003, конвенционный приоритет нет, дата публикации 10.03.2005	Устройство подвески и перемещения светильников в производственных помещениях
	Россия Пат. на ИЗ № 2281645, МПК A01G9/02 (2006.01) A47G7/08 (2006.01)	Киприянов Сергей Николаевич (RU), номер заявки 2004128309/12, дата приоритета 10.03.2006, конвенционный приоритет нет, дата публикации 20.06.2006	Устройство для размещения цветов и растений с подсветкой (варианты)
	Россия Пат. на ИЗ № 2281647 МПК A01G31/00 (2006.01) A01G9/18 (2006.01)	Киприянов Сергей Николаевич (RU), номер заявки 2004128309/12, дата приоритета 10.03.2006, конвенционный приоритет нет, дата публикации 20.06.2006	Способ гидропонного выращивания сз-растений
	Россия Пат. на ИЗ № 2324463 МПК A61G10/02 (2006.01)	Фирма "Эверест-агро" (UA), номер заявки 2004130741/14, дата приоритета 19.10.2004, конвенционный приоритет нет, дата публикации 20.05.2008	Способ искусственного создания оздоровительного климата мертвого моря и климатрон для его осуществления

Продолжение таблицы А1

1	2	3	4
Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства	Россия Пат. на ИЗ №2332006, МПК A01G31/06 (2006.01)	Валерий Николаевич (RU) номер заявки 2006138996/12, дата приоритета 07.11.2006, конвенционный приоритет нет, дата публикации 27.08.2008	Конвейерный способ выращивания растений "зеленая волна"
	Россия Пат. на ИЗ №2367139, МПК A01G1/00 (2006.01)	Шешуков Василий Иванович (RU), номер заявки 2007133938/12, дата приоритета 11.09.2007, конвенционный приоритет нет, дата публикации 20.09.2009	Фабрика на производстве картофеля
	Россия Пат. на ИЗ №2391812, МПК A01G9/00 (2006.01) A01G9/24 (2006.01)	Курочкин Геннадий Викторович (RU), Курочкина Галина Петровна (RU), номер заявки 2006110504/12, дата приоритета 24.03.2006, конвенционный приоритет нет, дата публикации 20.06.2010	Способ выращивания растений в условиях защищенного грунта, устройство для выращивания растений в условиях защищенного грунта и сборно-разборный многоярусный стеллаж для выращивания растений в условиях защищенного грунт
	Россия Пат. на ИЗ № 2474108, МПК A01G9/24 (2006.01)	Федеральное Государственное Образовательное Учреждение Высшего Профессионального Образования Новочеркасская Государственная Мелиоративная Академия (ФГОУ ВПО НГМА) (RU), номер заявки 2010118757/07, дата приоритета 13.05.2010 конвенционный приоритет нет, дата публикации 20.11.2011	Система энергоснабжения и внутрипочвенного орошения теплицы
	Россия Пат. на ИЗ № 2485394 МПК F21V21/00 (2006.01)	Общество с ограниченной ответственностью "АГИЛОН-М" (RU), номер заявки 2011114565/07, дата приоритета 06.04.2010, конвенционный приоритет нет, дата публикации 20.06.2013	Устройство для подвески светильника

Продолжение таблицы А1

1	2	3	4
Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства	Россия Пат. на ИЗ № 2487527, МПК A01G9/14 (2006.01) E04H5/08 (2006.01)	Российская академия сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии) (RU), Антуфьев Игорь Александрович (RU), Номер заявки 2011137020/13, дата приоритета 08.09.2011, конвенционный приоритет нет, дата публикации 20.07.2013	Фабрика-теплица для интенсивного растениеводства (устройство и способ
	Россия Пат. на ИЗ № 2490868, МПК A01G7/04 (2006.01)	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (RU), Общество с ограниченной ответственностью "Пригородный" (RU), номер заявки 2011132260/13, дата приоритета 29.07.2011, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 27.08.2013	Способ повышения продуктивности и рентабельности выращивания огурца в условиях защищенного грунта на севере
	Россия Пат. на ПМ № 39183, МПК F21V9/10	Марков Валерий Николаевич (RU), номер заявки 2004111438/22 дата приоритета 16.04.2004, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 20.07.2004	Универсальный светодиодный осветитель с микропроцессорным управлением
	Россия Пат. на ПМ № 55249, МПК A01G9/00 (2006.01)	Курочкин Геннадий Викторович (RU), Курочкина Галина Петровна (RU), номер заявки 2006110453/22, дата приоритета 24.03.2006, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 10.08.2006	Устройство для выращивания растений в условиях защищенного грунта и сборно-разборный многоярусный стеллаж для выращивания растений в условиях защищенного грунта

## Продолжение таблицы А1

1	2	3	4
Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства	Россия Пат. на ПМ № 107020 МПК A01G9/00 (2006.01) F21S2/00 (2006.01)	Российская академия сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ) (RU), номер заявки 2010124684/15, дата приоритета 18.06.2010 конвенционный приоритет – нет, дата публикации 10.08.2011	Светодиодная система освещения растений (варианты)
	Россия Пат. на ПМ № 107325 МПК F21V13/00 (2006.01)	Мазаев Пётр Юрьевич (RU), номер заявки 2011108959/07, дата приоритета 10.03.2011 конвенционный приоритет – нет, дата публикации 10.08.2011	Светильник и осветительный прибор (варианты)
	Россия Пат. на ПМ № 137446 МПК A01G31/00 (2006.01)	Государственное научное учреждение Агрофизический научно-исследовательский институт Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ АФИ Россельхозакадемии) (RU), Общество с ограниченной ответственностью "Фитосфера" (RU), номер заявки 2013139499/13, дата приоритета 27.08.2013, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 20.02.2014	Устройство для выращивания растений
	Россия Пат. на ИЗ № 2229215 МПК A01G7/00	Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (RU), Стаценко Александр Петрович (RU), номер заявки 2002132220/12, дата приоритета 29.11.2002, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 27.05.2004	Способ повышения холодостойкости растений
	Россия Пат. на ИЗ № 2245025 МПК A01G9/24	Рыбкин Анатолий Петрович (RU), Казаков Виктор Петрович (RU), номер заявки 2002109550/12, дата приоритета 12.04.2002, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 27.01.2005	Камера-компакт для выращивания растений

Продолжение таблицы А1

1	2	3	4
Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства	Россия Пат. на ИЗ № 2248298 МПК В63В35/44, В60V1/00	Государственный Университет по Землеустройству (ГУЗ) (RU), номер заявки 2003112045/11, дата приоритета 25.04.2003, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 20.03.2005	Мобильный исследовательский комплекс
	Россия Пат. на ИЗ № 2391812 МПК A01G9/00 (2006.01)	Курочкин Геннадий Викторович (RU), Курочкина Галина Петровна	Способ выращивания растений в условиях защищенного грунта
	Россия Пат. на ИЗ № 2402200 МПК A01G31/02 (2006.01) A01G9/02 (2006.01)	Общество с ограниченной ответственностью "РАСТЕНИЯ" (RU), Кирюхина Ирина Анатольевна (RU) , номер заявки 2009131013/21, дата приоритета 17.08.2009, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 27.10.2010	Фитостена с полихроматическими стимуляторами роста растений
	Россия Пат. на ИЗ № 2403279 МПК C12M1/00 (2006.01) C12M3/00 (2006.01) A01G33/00 (2006.01)	БИОЛЕКС ТЕРАПЬЮТИКС ИНК. (US), номер заявки 2005141420/13, дата приоритета 25.05.2004 , конвенционный приоритет – нет, дата публикации 10.11.2010	Биореактор для обеспечения роста растительного материала и способ его осуществления
	Россия Пат. на ИЗ № 2428473 МПК C12N5/04 (2006.01)	Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство образования и науки Российской Федерации (RU), Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет (ТГУ) (RU), номер заявки 2009135316/09, дата приоритета 22.09.2009, конвенционный приоритет – 23.09.2008 US 61/136,652, дата публикации 10.03.2011	Способ получения биологически активных веществ в клеточной культуре <i>atrage ne speciosa weinm</i>

Продолжение таблицы А1

1	2	3	4
Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства	Россия Пат. на ИЗ № 2451442 МПК A01C1/00 (2006.01) A01N59/02 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Томский государственный университет" (ТГУ) (RU), номер заявки 2010149934/13, дата приоритета 07.12.2010, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 27.05.2012	Способ обогащения селеном овощей и злаков
	Россия Пат. на ИЗ № 2453829 МПК G01N21/64 (2006.01)	Учреждение Российской академии наук Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН) (RU), номер заявки 2010139735/28, дата приоритета 27.09.2010, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 20.06.2012	Способ дистанционного определения функционального состояния фотосинтетического аппарата растений
	Россия Пат. на ИЗ № 2487527 МПК A01G9/14 (2006.01) E04H5/08 (2006.01)	Федеральное Российская академия сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии) (RU), Ангуфьев Игорь Александрович (RU), номер заявки 2011137020/13, дата приоритета 08.09.2011, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 20.07.2013	Фабрика-теплица для интенсивного растениеводства (устройство и способ)
	Россия Пат. на ИЗ № 2490868 МПК A01G7/04 (2006.01)	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (RU), Общество с ограниченной ответственностью "Пригородный" (RU), номер заявки 2011132260/13, дата приоритета 29.07.2011, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 27.08.2013	Способ повышения продуктивности и рентабельности выращивания огурца в условиях защищенного грунта на севере

## Продолжение таблицы А1

1	2	3	4
Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства	Россия Пат. на ИЗ № 2493694 МПК A01G9/20 (2006.01) A01G7/00 (2006.01) A01G1/00 (2006.01) A01G31/00 (2006.01)	Рыженко Борис Филиппович (RU), Шубаев Марк Ильсафович (RU), номер заявки 2011135706/13, дата приоритета 29.08.2011, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 27.09.2013	Способ выращивания растений в закрытом пространстве
	Россия Пат. на ИЗ № 2522656 МПК A01G9/20 (2006.01) F21V7/00 (2006.01)	Думицкий Владимир Иванович (RU), номер заявки 2012103284/13, дата приоритета 31.01.2012, конвенционный приоритет – нет, дата публикации 20.07.2014	Светильник
	Патент США №8,855,279, МКИ G06Q 10/00	Consert Inc. (San Antonio, TX), Номер заявки 12/900,884, дата приоритета 08.10.2010, конвенционный приоритет 28.10.2007, дата публикации 07.10.2014	Apparatus and method for controlling communications to and from utility service points
	Патент США №8,852,335, МКИ В32В 1/02	Sacred Green, Inc. (Chehalis, WA), номер заявки 13/590,021, дата приоритета 08.10.2010, конвенционный приоритет 21.08.2008, дата публикации 07.10.2014	Compostable container for storing fluids
	Патент США №8,847,007, МКИ A01H 1/02 A01H 1/04	Cheju National University Industry - Academic Cooperation Foundation (Jeju-si, KR) The Industry & Academic Cooperation in Chungnam National University (Daejeon, KR), номер заявки 13/000,011, дата приоритета 17.06.2009, конвенционный приоритет - 11.05.2011, дата публикации 30.09.2014	Method for preparing a genetically modified grass having infertileness

## Продолжение таблицы А1

1	2	3	4
Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства	Патент США №8,844,192, МКИ А01М 1/04; А01М 1/145;	Ball Horticultural Company (West Chicago, IL), номер заявки 13/507,929, дата приоритета 2010, конвенционный приоритет - 24.02.2009 [JP], дата публикации 30.09.2014	Herbicidal compositions comprising 4-amino-3-chloro-5-fluoro-6-(4-chloro-2-fluoro-3-methoxyphenyl)pyridine-2- -carboxylic acid or a derivative thereof and microtubule inhibiting herbicides
	Патент США №8,839,551 МКИ А01G 9/14;	Swann; James J. Portola CA US, номер заявки 13/175,666, дата приоритета 2010, конвенционный приоритет - нет, публикации 30.09.2014	Self-regulating greenhouse
	Заявка США №20130063930 МКИ F21S 8/00;	Dubuc; Eden Quebec C, номер заявки 13/227584 дата приоритета 08.09.2011 конвенционный приоритет нет, дата публикации 14.03.2013	Light emitting diode (led) light fixture for a greenhouse and a greenhouse incorporating a led light fixture
	Заявка США №20130047503 МКИ А01G 7/04	VALOYA OY Helsinki FI C, Номер заявки 13/695518, дата приоритета 08.02.2012, конвенционный приоритет - нет, дата публикации 28.02.2013	Method and means for enhancing greenhouse lights
	Заявка США №20100296278 МКИ А01G 7/04	Hortilux Schreder B.V. Monster NL, Номер заявки 12/445620, дата приоритета 24.10.2007 конвенционный приоритет - нет, дата публикации 25.11.2010	Plant illumination device and greenhouse provided with a plant illuminating device
	Заявка США №20100020554 МКИ F21V 19/00	Hortilux Schreder B.V. Monster NL, Номер заявки 12/439658, дата приоритета 11.09.2007 конвенционный приоритет - нет, дата публикации 28.01.2010	Greenhouse lighting system
	Заявка США №20090272030, МКИ А01G 9/14	Hortilux Schreder B.V. Monsier NL, номер заявки 11/718128, дата приоритета 17.10.2005, конвенционный приоритет - нет, дата публикации 05.11.2009	Greenhouse lighting
	Заявка США №20070163170, МКИ А01G 7/045	ADE & COMPANY INC. CA, номер заявки 11/518423, дата приоритета 11.09.2006, конвенционный приоритет нет, публикации 19.07.2007	Lighting system for a greenhouse

## Продолжение таблицы А1

1	2	3	4
Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства	Заявка США №2014029974 9, МКИ G01J 1/04 G01J001/04	G Leader Technology Ames IA, Номер заявки 14/245052, дата приоритета 04.04.2014, конвенционный приоритет - нет, дата публикации 09.10.2014	Using An Active Light Sensor to Quantify Plants
	14. Заявка США № 014025078, МКИ A01G 7/04 A01G007/04	G BlueSky Grow Lights, LLC Las Vegas NV US, номер заявки 14/264011, дата приоритета 28.04.2014, конвенционный приоритет Нет, дата публикации 11.09.2014	Novel light sources and methods for illuminating plants to achieve effective plant growth
	Заявка США № 2014018650 0, МКИ A23L 3/28 1 A23L003/28	Lu; Sangwei; (Kensington, CA), Номер заявки 14/139638, дата приоритета 23.12.2013, конвенционный приоритет - нет, публикации 03.07.2014	Devices and methods for reducing the microbial load on an object using a uv light source
	Заявка США № 20140152194, МКИ A01G 7/04 A01G007/04;	Lu; Beyer; James H., Ann Arbor MI US, номер заявки 14/092922 дата приоритета 27.11.2013, конвенционный приоритет - нет, дата публикации 05.06.2014	Light emitting diode grow light for plant growing applications
	Заявка США №2013033454 5, МКИ H01L 33/44 20100101 H01L033/44;	Lu; Beyer; James H., Ann Arbor MI US, номер заявки 13/522326, дата приоритета 18.06.2012, конвенционный приоритет - нет, дата публикации 19.12.2013	Surface light source and display device
	Заявка США №2013032941 7, МКИ F21V 9/00 20060101	BLUESKY GROW LIGHTS, LLC Las Vegas NV US, номер заявки 13/490184, дата приоритета 06.06.2012, конвенционный приоритет - нет, публикации 12.12.2013	Novel light sources and methods for illuminating plants to achieve effective plant growth
	Заявка США №2013032694 6, МКИ A01G 7/04 20060101 A01G007/04	BLUESKY GROW LIGHTS, LLC, номер заявки 13/490158, дата приоритета 06.06.2012, конвенционный приоритет – нет	Novel light sources and methods for illuminating plants to achieve effective plant growth
	Заявка США №2013029126 7, МКИ A01H 5/00 20060101 A01H005/00	Wilmington DE, номер заявки 13/506571, дата приоритета 30.04.2012, конвенционный приоритет - нет, дата публикации 31.12.2013	Salvia plant named 'Lemon Light

Таблица А2 - Патентная документация Японии по тематике «Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства»

Номер заявки	Название заявки
2013 - 233109	Agricultural linked greenhouse
2013 - 074887	Carbon dioxide feeder to horticultural facility utilizing carbon dioxide in flue gas
2012 - 231795	Greenhouse for plant cultivation
2012 - 179031	Plant cultivation greenhouse for cold district
2012 - 170456	Luminaire for restraining activity of obstacle animal and plant, and method for manufacturing the same
2012 - 044873	Facility for plant growth
2012 - 028293	Lighting fixture for compensating lack of sunshine in bare ground cultivation or greenhouse cultivation
2012 - 024058	Lighting method and lighting system for insect pest attraction
2011 - 188788	Method for cultivating plant
2011 - 182657	Plant cultivation greenhouse
2011 - 177055	Plant cultivation greenhouse
2011 - 172522	Greenhouse shading device
2010 - 259374	Method for cultivating plant
2010 - 252692	Agricultural greenhouse
2010 - 246397	Method and apparatus for cultivating plant
2010 - 220560	Plant cultivation greenhouse, and thermal storage method in the greenhouse
2010 - 166845	Installation for plant cultivation
2010 - 130986	Method for cultivating plants
2010 - 124758	Plant curing and raising/managing apparatus
2009 - 268377	Plant cultivation greenhouse
2009 - 106168	Ultraviolet irradiation device for plant
2008 - 263905	Short-day device
2003 - 235353	Device for growing plant
2003 - 061503	Method for rearing animal and plant
2001 - 128566	Simplified light transmission material for cultivating plant, and structure for cultivating plant
2001 - 120080	Simple greenhouse for culture

Продолжение таблицы А2

2000 - 184824	Planter cover for simple greenhouse
2000 - 166407	Multistage nutritious liquid cultivation and vegetable gardening system using sunshine by plastic light cable
08 - 308384(1996)	Control of plant environment utilizing liquid carbonic acid
08 - 023793(1996)	Spectral greenhouse
07 - 155072(1995)	Net for protected horticulture and greenhouse set therewith
04 - 108320(1992)	Shading regulatory system
02 - 283213(1990)	Cultivation of blanched welsh onion
55 - 022642(1980)	Method and covering material for prevention of celery dermatitis

Таблица А3 - Патентная документация Европейского патентного ведомства (ЕПО) по тематике «Оптические и оптико-электронные приборы и системы облучения для тепличного растениеводства»

Название	Изобретатель:	Заявитель:	СРС:	МПК:	Информация о публикации:	Дата приоритета:
A phosphoric horticultural light	AIKALA LARS [FI] KIVIMÄKI ILKKA [FI] (+1)	VALOYA OY [FI]	F21K9/56	A01G7/04 A01G9/20 C09K11/70 (+3)	WO2014140416 (A1) 2014-09-18	2013-03-14
Energy-active farmstead	DUTKA STEPAN MYKOLAI OVYCH [UA] DEREVIANKO VOLODYMYR IVANOVYCH [UA] (+1)	DUTKA STEPAN MYKOLAIO VYCH [UA] DEREVIANKO VOLODYMYR IVANOVYCH [UA] (+1)	Y02E10/40	A01G9/14 A01G9/24 F24J2/02 (+1)	UA94796 (C2) 2011-06-10	2009-08-28
Efficient solar agricultural greenhouse	ZHAO JIE	ZHAO JIE		A01G9/14 A01G9/24	CN103749211 (A) 2014-04-30	2014-02-19

## Продолжение таблицы А3

Intelligent glass greenhouse	XIA SHAOFAN G SUI CHUNRON G (+1)	XINGTAI UNIVERSITY		A01G9/14	CN203467320 (U) 2014-03-12	2013-10-06
Planting method for double cropping lotus roots	CHEN JUN	CHEN JUN	CPC:	A01G1/00	CN103563587 (A) 2014-02-12	2012-07-26
Optical concentrator module atmospheric radiation from the sun "ocmaron"	MINEV EMIL [BG] DIMITROV TEODOSIY [BG] (+3)	SOLAR GENIPONIK A AD [BG]	Y02E10/40	F24J2/00	BG111082 (A) 2013-05-31	2011-11-15
System of power supply and subsoilwater irrigation of greenhouse	VASIL'EV ALEKSEJ MIKHAILO VICH, DENISOV VLADIMIR VIKTOROV ICH	FEDERAL'NOE GOSUDARSTVENNOE OBRAZOVATEL'NOE UCHREZHDENIE VYSSHEGO PROFESSIONAL'NOGO OBRAZOVANIJA NOV		A01G9/24	RU2011118164 (A) 2012-11-10 RU2474108 (C2) 2013-02-10	2011-05-05
Temperature regulation glass for multi-span greenhouse	YOUNIAN WANG GUANGLU SHI (+4)	UNIV BEIJING AGRICULT		A01G9/24	CN202535814 (U) 2012-11-21	2012-01-17
Arched greenhouse glass steel frame	YOUNIAN WANG GUANGLU SHI (+4)	UNIV BEIJING AGRICULT		A01G9/14	CN202524824 (U) 2012-11-14	2012-01-16
Energy-efficient sunlight greenhouse	TINGSHEN G XU	TINGSHENG XU		A01G9/14 A01G9/24	CN202496255 (U) 2012-10-24	2012-03-23

Продолжение таблицы А3						
Insulation wind-resistant snow-resistant ecological greenhouse	GUOGUI WU	GUOGUI WU		A01G9/14 A01G9/18 A01G9/20 (+4)	CN102726252 (A) 2012-10-17	2011-04-12
Glass steel frame of hoop greenhouse	YOUNIAN WANG GUANGLU SHI (+4)	UNIV BEIJING AGRICULT		A01G9/14	CN102577883 (A) 2012-07-18	2012-01-16
Greenhouse, greenhouse covering, filter system, lighting system, conducting system, use and feeder apparatus	KLEINWAECHTER JUERGEN [DE]	KLEINWAECHTER JUERGEN [DE] SUNVENTION INTERNAT GMBH [DE]	A01G9/1438 A01G9/18 A01G9/243	A01G13/02 A01G9/14 A01G9/18 (+4)	US2012174477 (A1) 2012-07-12	2006-02-24

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Акты использования и внедрения  
результатов диссертационного исследованияОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«Том-Текс»

---

634009, г. Томск, ул. Войкова, д 51, стр. 15  
ИНН 7017039305; КПП 701701001;  
Р/с 40702810004000007662; к/с 30101810500000000816;  
Банк: Сибирский филиал ПАО «Промсвязьбанк» г. Новосибирск

---

## АКТ

об использовании результатов диссертационной работы  
Туранова Сергея Борисовича в ООО «Том-Текс»

Оценка эффективности облучательных установок для теплиц и точный расчет их квантовых и энергетических характеристик является актуальной задачей для «Том-Текс». В работе предприятия использована разработанная Турановым С.Б. «Методика расчета спектральных, энергетических и квантовых характеристик облучательных установок для теплиц». Применение данной методики позволяет оперативно, без использования специализированного оборудования проводить расчет квантовых и энергетических характеристик облучательных установок для теплиц и оценивать их эффективность на основе полученных данных. Использование данной методики значительно сократило временные затраты на выполнение указанных работ.

Директор ООО «Том-Текс»  
26 мая 2016 г.



Жигалев И. А.

Рисунок Б1 – Скан-копия акта об использовании результатов диссертационного исследования в ООО «Том-текс»

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«Технологии Сибири»

634034, г.Томск, ул. Полины Осипенко, 33-24  
ИНН 7017284360; КПП 701701001;  
р/с 40702810034000459701; к/с 30101810500000000816;  
Банк : Сибирский филиал ПАО «Промсвязьбанк» г. Новосибирск; БИК 045004816

E-mail: [teh-sib@mail.ru](mailto:teh-sib@mail.ru)

АКТ

об использовании результатов диссертационной работы  
Туранова Сергея Борисовича «Энергоэффективные адаптивные  
светодиодные облучательные системы для закрытого грунта»  
в ООО «Технологии Сибири»

Настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационной работы Туранова С.Б., а именно техническое предложение на разработку энергоэффективных адаптивных светодиодных облучательных систем для закрытого грунта использованы в деятельности предприятия ООО «Технологии Сибири». Использование данного технического предложения позволило сократить время и затраты на проведение натурных испытаний, а также на разработку облучательной системы для закрытого грунта.

Директор ООО «Технологии Сибири»

19 апреля 2016 г.



Елфимов М.Б.

## Общество с ограниченной ответственностью «КВАНТ»

ООО «КВАНТ», 634536 г. Томск, д. Лоскутово, ул. Гагарина, 56-61, тел. 8-952-884-49-98  
ИНН 7017385471 КПП 701701001; р/с 40702810906290006500, ОГРН 1157017016738  
ОАО «Томскпромстройбанк», 634061, г. Томск, пр. Фрунзе 90, БИК 046902728, к/с  
30101810500000000728

Email: kvant.70@ya.ru

АКТ  
об использовании результатов диссертационной работы  
Туранова Сергея Борисовича в ООО «Квант»

Настоящим актом подтверждается, что в целях повышения эффективности работы в компании ООО «Квант», были использованы алгоритм и методика оценки эффективности облучательных установок для закрытого грунта в области фотосинтетически активной радиации, разработанные Турановым С.Б. в ходе написания диссертационной работы. Данные методика и алгоритм позволили сократить время, затрачиваемое на расчеты квантового и энергетического потоков световых приборов для теплиц.

Директор ООО «КВАНТ»  
25 апреля 2016 г.



Р. Г. Ахметшин

Рисунок Б3 – Скан-копия акта об использовании результатов диссертационного исследования в ООО «КВАНТ»



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «РОССИЙСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ» (АО «НИИПП»)

☒ Россия, 634034, г. Томск, ул. Красвоармийская, 99а, ИНН/КПП 7017084932/701701001  
☎ (382-2) 288-288 (приемная), факс (382-2) 55-50-89.  
E-mail: niipp@niipp.ru www.niipp.ru

Исх. № 2017 от 13.08. 2019 г.

### АКТ

об использовании результатов диссертационной работы  
Туранова Сергея Борисовича в АО «НИИПП», г. Томск

Настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Туранова С.Б. «Энергоэффективная адаптивная оптико-электронная система облучения» обладают актуальностью, представляют практический интерес и были использованы в АО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (г. Томск) для организации производства и сборки адаптивных оптико-электронных систем облучения.

Первая партия указанных систем в количестве 162 шт. произведена и отгружена в 2019 г.

/ ~~Директор по научной работе~~  
~~И.о. директора по~~  
~~научной работе~~



—Е.А. Монастырев

А. В. Васильев

Рисунок Б4 – Скан-копия акта об использовании результатов диссертационного исследования в АО «НИИПП»



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЦННТ ТПУ

Яковлев А.Н.

«11» февраля 2019 г.

**СПРАВКА****об использовании результатов диссертационной работы  
Туранова Сергея Борисовича  
в учебном процессе**

Результаты диссертационной работы Туранова Сергея Борисовича успешно используются в Отделении материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий Томского политехнического университета при чтении лекций и проведении практических и лабораторных работ по дисциплинам «Основы светотехники», «Проектирование оптических приборов», «Источники излучения, световые и оптические приборы», а также при проведении курсов повышения квалификации по теме «Конструирование энергоэффективных световых приборов на основе светодиодов».

Руководитель ОМ

Клименов В.А.

Рисунок Б5 – Скан-копия акта об использовании результатов диссертационного исследования в учебном процессе ТПУ

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Свидетельства о регистрации ПрЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
**№ 2016617563**

**Расчет спектральных, энергетических и фито-  
характеристик облучательных установок**

Правообладатель: *федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет» (RU)*

Авторы: *Туранов Сергей Борисович (RU),  
Акимов Борис Владимирович (RU)*

Заявка № **2016614977**  
Дата поступления **17 мая 2016 г.**  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ **07 июля 2016 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**



Рисунок В1 – Скан-копия свидетельства о регистрации ПрЭВМ «Расчет спектральных, энергетических и фито-характеристик облучательных установок»



Рисунок В2 – Скан-копия свидетельства о регистрации ПрЭВМ «Управление параметрами многоярусной гидропонной установки»