



На правах рукописи

Туранов Сергей Борисович

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ АДАПТИВНАЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ
СИСТЕМА ОБЛУЧЕНИЯ

Специальность 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и
комплексы

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (НИ ТПУ)

Научный руководитель: **Яковлев Алексей Николаевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, директор Инженерной школы новых производственных технологий ТПУ

Официальные оппоненты: **Андреев Юрий Михайлович**
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник,
ИМКЭС СО РАН, г. Томск

Шамирзаев Тимур Сезгирович
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-лучевой эпитаксии соединений АЗВ5
ИФП СО РАН, г. Новосибирск

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва", г. Саранск

Защита состоится «18» июня 2019 г. в 09:00 часов 00 мин. на заседании диссертационного совета Д212.268.01, созданного на базе Томского государственного университета систем управления радиоэлектроники и по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 40, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте <https://postgraduate.tusur.ru/urls/sau37ph2> и в библиотеке ТУСУР по адресу: 634045, г. Томск, ул. Красноармейская, 146.

Автореферат разослан «29» апреля 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, д.ф.-м.н.



А.Е. Мандель

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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.

2. Разработано программное обеспечение для расчета спектральных, энергетических и фито-характеристик облучательных установок. Данное программное обеспечение используется предприятием ООО «ФоТом».

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.

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

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 «Оптехника».

Достоверность 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, отражена научная новизна работы, определены положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен анализ литературных, патентных и маркетинговых исследований по рассматриваемой научной проблеме. Приведено сравнение оптических приборов и источников излучения (рисунок 1), используемых в промышленном облучении.

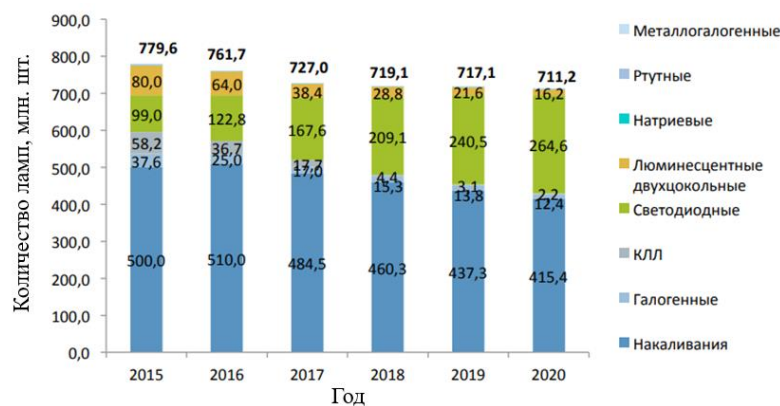


Рисунок 1 - Диаграмма прогноза развития источников излучения в РФ без учета влияния регулирования рынка, млн. шт.

Описаны основные недостатки существующих традиционных газоразрядных и светодиодных оптических приборов: отсутствие возможности гибкого управления количественными и качественными параметрами облучения, выход на рабочий режим в течение 5-15 мин., что исключает возможность мгновенной реакции на изменение внешних условий, взрывоопасность, неэкологичность. Показано, что большинство традиционных систем облучения, предназначено для стационарного облучения без возможности управления спектральным составом и интенсивностью излучения. Существующие системы автоматического управления параметрами облучения, не учитывают особенности и тип облучаемого объекта, как правило, позволяют управлять только общим уровнем освещённости, без возможности изменения интенсивности излучения в разных спектральных диапазонах, либо имеют

узконаправленную область использования и не могут применяться в широком ряде задач.

Во второй главе описаны методики и результаты экспериментальных исследований, представлена разработанная исследовательская установка (ИУ) – фитотрон (рисунок 2) и облучательная установка (ОУ) разработанная для фитотрона. ОУ представляет собой пластину с расположенными на ней печатными платами со светодиодами с одной стороны и радиаторами охлаждения с другой. 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.

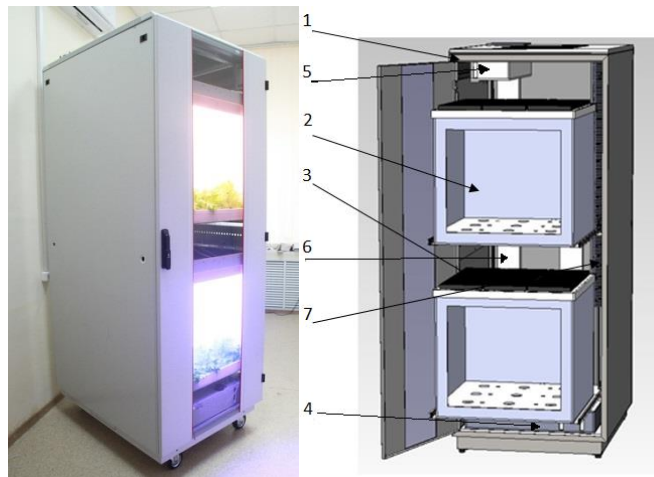


Рисунок 2 - Исследовательская установка, где 1 – корпус ИУ, 2 – ячейки фитотронов, 3 светильники с независимой регулировкой режима облучения растений, 4,5 – система полива (нижний и верхний баки); 6 – система микроклимата (влажность, температура), 7 - электронная система питания и управления.

Также в этой главе представлена разработанная методика расчета спектральных и энергетических характеристик ИУ Фитотрон. Для расчетов энергетического потока ОУ, 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 α_1 и α_n .

В заключительной части главы, рассмотрена возможность использования оптико-электронной системы в тепличном растениеводстве – одной из перспективных областей применения. На основе разработанной ИУ проведен ряд экспериментов по облучению тепличных культур по результатам, которых сформирован эффективный динамический (изменяемый во времени) спектрально-энергетический режим облучения (рисунок 3).

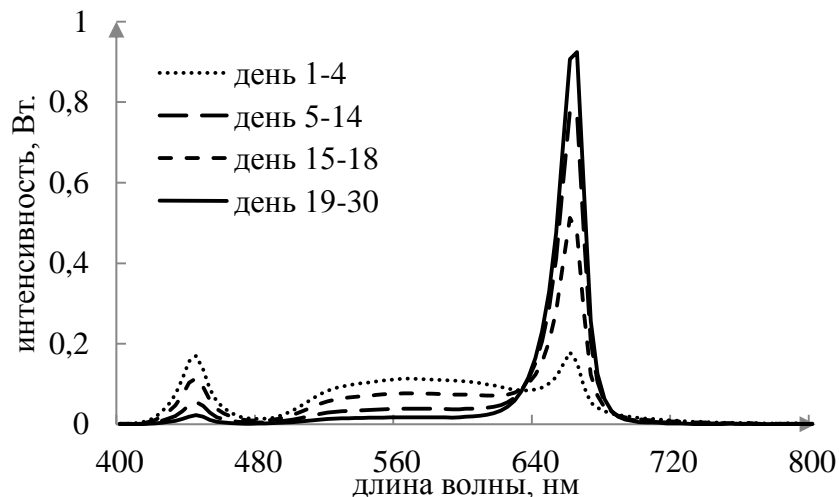


Рисунок 3 - Адаптивный спектрально-энергетический режим облучения

Разработанный режим облучения позволяет снизить потребление электроэнергии облучательной установкой в 2,7 раз по сравнению с традиционными газоразрядными оптическими приборами, за счет оптимизации количественных (интенсивность) и качественных (спектральный состав) параметров облучения.

Третья глава посвящена разработке оптико-электронной системы адаптивного облучения. Требования к системе вытекают из анализа ее роли, адаптивности и универсальности ее применения, а также возможностей для снижения потребления электрической энергии. Разрабатываемая оптико-электронная адаптивная система облучения предназначена для

использования в составе облучательных установок самого разного профиля в качестве управляемого по спектру и потоку основного или дополнительного источника излучения.

«Система» (рисунок 4) в автоматическом режиме обеспечивает необходимое, оптимальное по спектру и достаточное по потоку самостоятельное или дополнительное к солнечной радиации, а также к существующему искусственному освещению (от других источников) излучение с учетом температуры и влажности среды, времени года и других внешних факторов. На сегодняшний день, эти возможности обеспечиваются применением: специальных светодиодных оптических приборов, системы управления, мониторинга и обратной связи, управляющей параметрами излучения и наличием научно обоснованной «базы данных» оптимальных параметров облучения.



Рисунок 4 – Блок-схема реализации адаптивной оптико-электронной системы облучения

Во второй части главы представлены результаты разработки энергоэффективного способа облучения вертикально расположенных объектов (рисунок 5), применение которого позволяет снизить потребление электрической энергии облучательными установками на 15-20%, по сравнению с традиционными газоразрядными и светодиодными оптическими приборами, за счет оптимизации распределения облученности по поверхности объектов. Перпендикулярная облученность на площадке,

нормальной по направлению распространения луча I_0 , обратно пропорциональна r^2 , при этом I_0 должна быть постоянной в любой расчетной точке перпендикулярной ей плоскости:

$$E_N(r) = I_0 / r^2$$

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

Функция перпендикулярной облученности от угла облучения α :

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

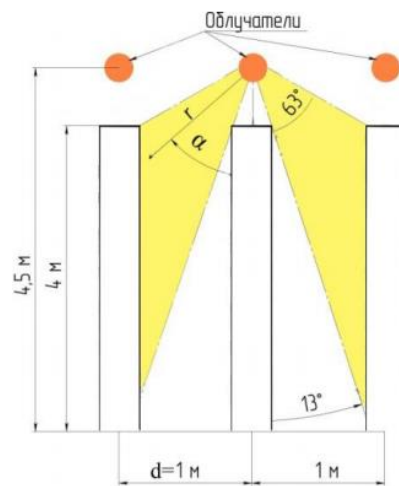


Рисунок 5 - Схема облучения

А также предложен способ проектирования светодиодного оптического прибора, на основе зеркальных оптических элементов, обеспечивающих реализацию разработанного распределения облученности (рисунок 6-7).

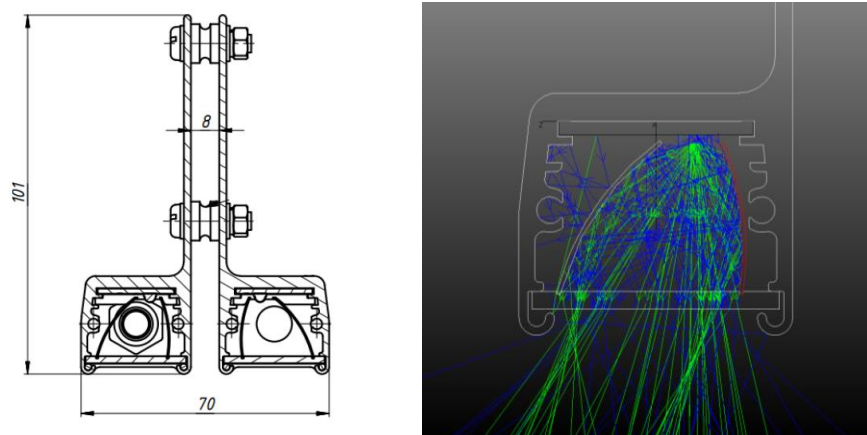


Рисунок 6 - Конструкция оптического прибора (а) и ход лучей в модуле оптического прибора (б)

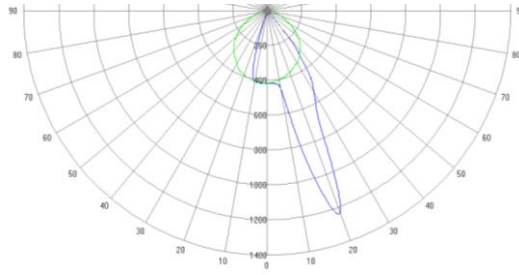


Рисунок 7 - Распределение силы света модуля оптического прибора

Проведённые тепловые расчеты разработанного оптического прибора (рисунок 8) показали, что прибор работает в оптимальном температурном режиме, максимальная температура печатной платы в точке пайки светодиода $46,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, то есть температура р-п перехода не превышает $85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

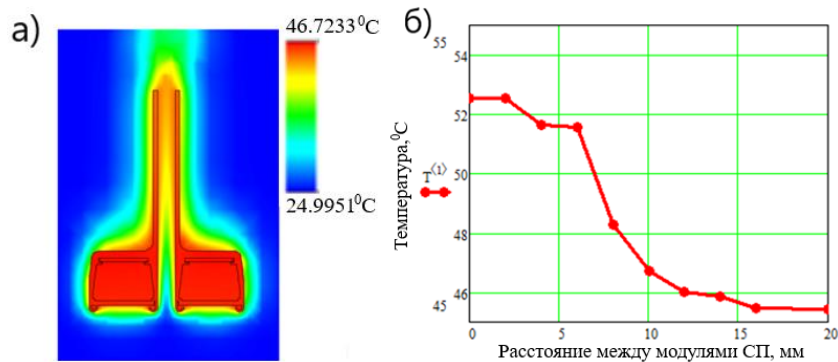


Рисунок 8 - Результаты теплового расчета оптического прибора (а)

зависимость температуры корпуса от расстояния между модулями (б)

В третьей части главы обоснован выбор светодиодов и подобрано спектрально распределение (рисунок 9) для разрабатываемого светодиодного оптического прибора (СОП). А также проведено сравнение полученного спектрального распределения со спектром излучения традиционных дуговых натриевых излучателей (ДНаТ) и спектром отражения зеленого листа.

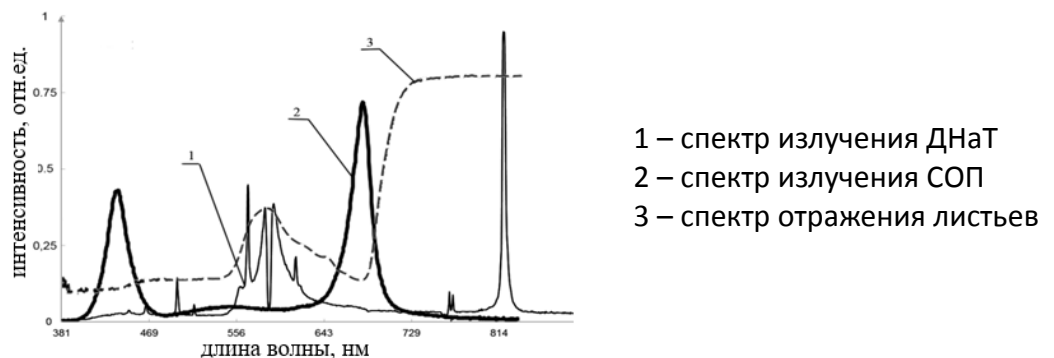


Рисунок 9 - Сравнение спектров излучения ДНаТ и СОП со спектром отражения зеленого листа

Приведено исследование зависимости параметров естественной облученности как функции времени (рисунок 10). Показано, что спектральный состав солнечной радиации на широте данной местности величина детерминированная, поэтому не имеет смысла включать измерение спектрального состава в систему мониторинга облучательных установок. Изменение плотности потока солнечной радиации сильно зависит от погодных условий и носит случайный характер. В течении года данный поток может изменяться в 5-7 раз, а в течение дня в 20-25 раз. По этой причине для организации необходимых и достаточных значений облучения требуется постоянно отслеживать значения плотности потока солнечной радиации.

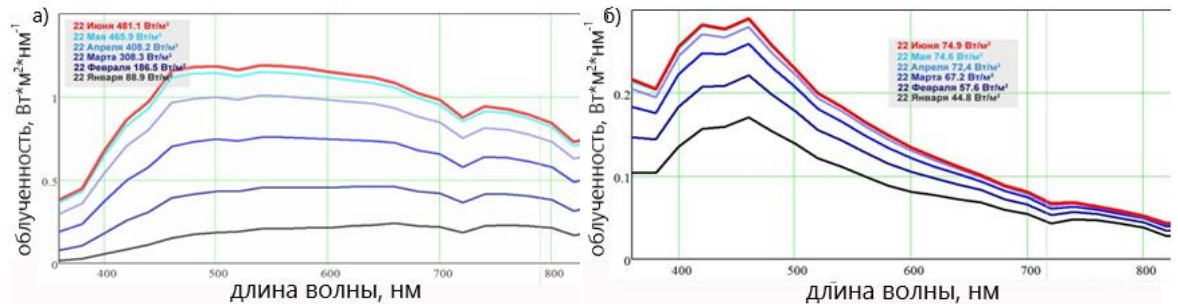


Рисунок 10 - Распределение энергетической облученности горизонтальной поверхности в течение года, а – от прямого солнечного света
б – от рассеянного света

Проанализированы возможные варианты реализации системы управления, обратной связи и мониторинга: DALI, ШИМ модуляции, аналогового управления 0-10В и интерфейса DMX512. Предложена комбинированная система управления, обратной связи и мониторинга на базе протокола DALI и ШИМ (рисунок 11). Разработана библиотека базовых функций протокола DALI для микропроцессора семейства STM32. Разработана концепция комбинированной системы управления, позволяющая обеспечить контроль облученности. Разработанная система может обслуживать 32×20 оптических приборов и имеет возможности кратного расширения (масштабирования) как со стороны увеличения шин DALI (первый множитель), так и с помощью репитеров ШИМ (второй множитель).

Приведено экономическое обоснование эффективности применения системы управления, обратной связи и мониторинга.

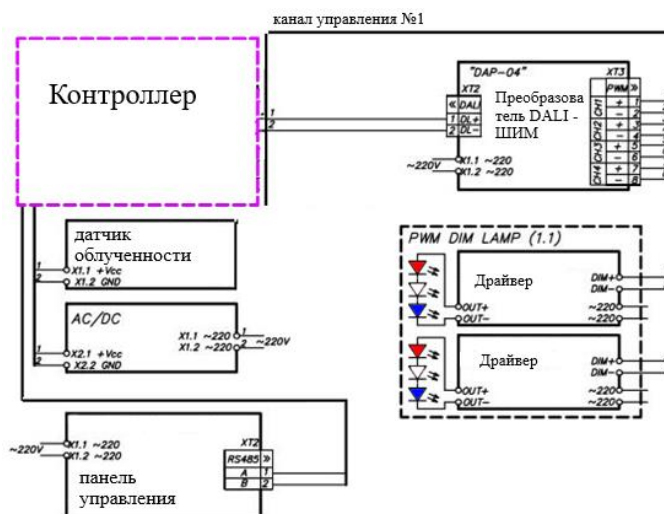


Рисунок 11 - Фрагмент комбинированной системы управления, обратной связи и мониторинга

Приведены результаты исследования спектров комбинационного рассеяния биологических объектов методами Рамановской спектроскопии (рисунок 12). Проанализированы полученные спектры и сделаны выводы, что данный метод может быть использован для неинвазивного изучения биологических объектов и получения данных по его возрасту и химическому составу.

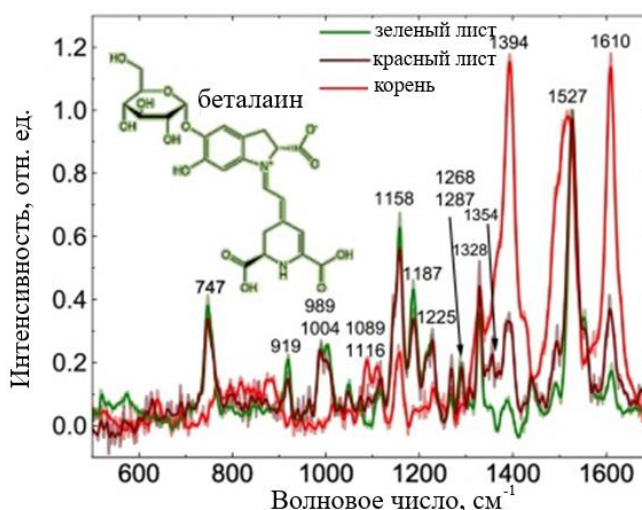


Рисунок 12 - Спектр комбинационного рассеяния изучаемых биологических объектов

В заключительной части главы приводится обоснование необходимости базы данных спектрально-энергетических режимов облучения, а также предлагается способ ее реализации.

В заключении по результатам работы сделаны следующие выводы:

1. Разработан исследовательский комплекс «Фитотрон», позволяющий управлять спектрально-энергетическими характеристиками облучения. Данный комплекс позволяет проводить исследования влияния параметров облучения на биологические объекты.

2. Доказано, что использование адаптивной системы облучения позволит снизить потребление электрической энергии облучательными установками.

3. Предложен энергоэффективный способ равномерного облучения вертикально-расположенных объектов, применение которого позволяет снизить потребление электрической энергии облучательными установками за счет оптимизации распределения облученности на поверхности объекта.

4. Разработан оптический прибор обеспечивающий эффективный теплоотвод и оптимальные параметры облучения.

5. Разработана комбинированная распределенная автоматическая масштабируемая система управления параметрами облучательных установок на основе использования интерфейса DALI и преобразователей DALI – ШИМ, использование которой позволяет повысить эффективность облучательных установок за счет управления, адаптации и оптимизации параметров облучения.

6. Разработан способ построения энергоэффективной оптико-электронной системы адаптивного облучения, работа которой основана на необходимости облучения в каждый момент времени заданным спектральным составом и интенсивностью излучения. Система позволит выполнять широкий ряд научно исследовательских работ в различных областях науки и техники, а также может применяться для решения прикладных задач.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. 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. – 2019. – Vol. – 212. – p. 155-159.
2. 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
3. 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). – p. 012045.
4. 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. – p. 830-834.
5. Grechkina T.V., Korepanov V.I., Omarkhan A.Sh., **Turanov S.B.** Energy-efficient LED irradiator for greenhouse cropping // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 156. – p. 012044, 5.
6. Baktybaev A.A., **Turanov S.B.**, Romanenko S.A., Toleotaev K.A. Effective modernization of the optical irradiating system in greenhouse // Key Engineering Materials. – 2016. - Vol. 769. - p. 388-393.
7. Яковлев А.Н., Козырева И.Н., **Туранов С.Б.** Физические основы создания светодиодных облучателей заданного спектрального состава // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 9/3. – С. 93-96.
8. 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.
9. 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.

10. Яковлев А.Н., **Туранов С.Б.**, Козырева И.Н. Способы оценки фотосинтетически активной радиации // Сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «СТТ -2014»: Изд-во ТПУ. - 2014. - Т. 1. - С. 149-150.

11. 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.

12. Яковлев А.Н., Козырева И.Н., **Туранов С.Б.** Методы оценки качественных характеристик светодиодных световых приборов для растений // Полупроводниковая светотехника – 2014. № 6. – С. 56-57.

13. Яковлев А.Н., Козырева И.Н., **Туранов С.Б.** К вопросу сертификации светодиодной продукции в России // Полупроводниковая светотехника: научный журнал. – 2014. – № 4. – С. 22-23.

14. **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.

15. 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.

16. **Туранов С.Б., Яковлев А.Н. Козырева И.Н. Кругликова Л.Л.** Исследование спектральных характеристик одиночных листьев растений // Сборник международной выставки декоративного и технического освещения, электротехники и автоматизации зданий «InterLight» 2012, Москва.

17. **Туранов С.Б., Козырева И.Н. 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.

18. **Бактыбаев А.А., Туранов С.Б.** 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.

19. **Бактыбаев А.А., Туранов С.Б.** 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.

20. **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

21. 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.

22. **Туранов С.Б.**, Былков Д.В. Ресурсоэффективная модульная космическая оранжерея со светодиодным освещением // 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.

23. **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.

24. Хоцкова Л.В., Астафурова Т.П., **Туранов С.Б.**, Буренина А.А. 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.

25. Ямбуров М. С., Астафурова Т.П., **Туранов С.Б.**, Буренина А.А. 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.

26. Ямбуров М. С., Астафурова Т.П., **Туранов С.Б.**, Буренина А.А. 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.