

УДК 631.234:628.9(043.3)

На правах рукописи



Батурин Андрей Иванович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ
РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ ИМПУЛЬСНЫМИ
LED-ФИТОУСТАНОВКАМИ**

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ижевск – 2023

Работа выполнена на кафедре автоматизированного электропривода Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ).

Научный руководитель: **Кондратьева Надежда Петровна**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
Удмуртский ГАУ, кафедра автоматизированный
электропривод, профессор

Официальные оппоненты: **Ракутько Сергей Анатольевич**,
доктор технических наук, доцент, главный научный
сотрудник Института агроинженерных и экологических
проблем - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Суринский Дмитрий Олегович
кандидат технических наук, доцент кафедры
энергообеспечение сельского хозяйства, ФГБОУ ВО
ГАУ Северного Зауралья

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ижевский государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова»

Защита состоится 20 декабрь 2023 г. в 10:00 часов на заседании
диссертационного совета 35.2.043.03 при Федеральном государственном бюджетном
образовательном учреждении высшего образования «Удмуртский государственный
аграрный университет» (ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ) по адресу: 426069, Российская
Федерация, г. Ижевск, улица Студенческая, дом 11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ и
на официальном сайте <https://udsau.ru/> в разделе «Диссертационные советы».

Автореферат размещен на сайте Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации <http://vak.minobrvauki.gov.ru/> 18 октябрь 2023 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, скрепленные гербовой печатью, просим
направлять ученому секретарю диссертационного совета 35.2.043.03 по адресу: 426069,
Российская Федерация, г. Ижевск, улица Студенческая, дом 11, а также на E-mail:
9048336842@mail.ru.

Автореферат разослан « » 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук



Широбокова
Татьяна Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. По данным Российского Энергетического Агентства осветительными и облучательными установками в целом расходуется около 30% всей генерируемой электрической энергии в стране. Поэтому эффективное расходование электрической энергии каждой светодиодной фитоустановкой приведёт ее к ощутимой экономии. Эффективное использование световой энергии зависит от спектрального состава светодиодной фитоустановки, величины облученности, продолжительности фотопериода и режима облучения.

В работе предложен энергосберегающий импульсный режим облучения меристемных растений земляники, основанный на особенностях процесса фотосинтеза. При этом сделан упор на определение длительности светового импульса, т.к. анализ специальной литературы показал, что длительность светового импульса для определенной культуры подбирается индивидуально. В качестве исследуемой культуры использовалась земляника садовая, т.к. она является богатым источником витамина С. В пяти ягодах средней величины витамина С столько же, сколько в одном крупном апельсине. Для получения хорошей урожайности необходим качественный посадочный материал, который является дефицитом на данный момент, что объясняется неблагоприятными климатическими условиями. Так как с одного куста земляники, выращенного из здорового меристемного растения, можно получить до 1 кг ягод в год, что на 200-300 грамм больше, чем у обычных растений, необходимо провести испытания импульсного режима на меристемных растениях земляники садовой. Предложенный импульсный режим облучения позволяет снизить от 40 до 50% затраты на потребление электроэнергии при сохранении качества выращиваемого меристемного посадочного материала земляники.

В Удмуртской Республике меристемную землянику выращивают в Удмуртском научно-исследовательском институте сельского хозяйства структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр

Уральского отделения Российской академии наук» в лаборатории садоводства и питомниководства. Для облучения меристемной земляники применяют лампы, которые работают в непрерывном режиме, при этом около 17% в себестоимости выращивания меристемных растений приходится на облучение, поэтому повышение эффективности облучения меристемных растений является актуальной задачей.

Степень разработанности. Учеными в области электрификации сельскохозяйственного производства А.Ф. Клешниним, Р.Г. Бутенко, Л.Г. Прищепом, И.Ф. Бородиним, Д.С. Стребковым, И.И. Протасовой, И.И. Свентицким, А.К. Лямцовым, А.М. Башиловым, Ю.М. Жилинским, В.М. Леманом, А.А. Тихомировым, А.П. Примаком, В.Н. Карповым, В.П. Шарупичем, С.А. Овчуковой, В.А. Козинским, О.А. Косицыным, Н.П. Кондратьевой, С.А. Ракутько, В.Ф. Сторчевым, Ю.А. Судником, Л.Ю. Юферевым, М.В. Беяковым, Д.О. Суринским, Д.А. Филатовым, R. McCree, P. Meldcel, B. Singh, M. Fischer, J. Bonnet, P. Harris и другими доказана эффективность применения оптического излучения для получения дополнительной растениеводческой продукции.

Влияние импульсного режима на меристемное растение земляники садовой изучено недостаточно, поэтому повышение эффективности облучения меристемных растений земляники садовой импульсными LED-фитоустановками является актуальной задачей.

Целью работы является повышение эффективности светодиодных (LED) фитоустановок для меристемных растений земляники садовой за счет обоснования параметров импульсного режима облучения, позволяющего снизить потребление электроэнергии при сохранении качества выращиваемого меристемного посадочного материала земляники.

Задачи исследования:

1. Провести анализ специальной отечественной и зарубежной литературы по применению импульсного режима облучения и технических средств для его реализации.

2. Разработать математическую модель, позволяющую обосновать наиболее эффективные параметры импульсного режима облучения при выращивании меристемных растений земляники садовой.

3. Разработать методику определения темпов роста площади зеленых листьев меристемных растений, позволяющую оценить эффективность импульсного режима.

4. Разработать энергосберегающую LED фитоустановку для облучения меристемных растений земляники садовой, с возможностью изменения параметров режима облучения. Провести лабораторные и производственные испытания.

5. Определить экономическую эффективность применения импульсного режима облучения на LED фитооблучательных установках при выращивании меристемных растений земляники садовой.

Объект исследования. Система, состоящая из меристемных растений земляники садовой, технических средств облучения и технологических мероприятий, позволяющих получить здоровый посадочный материал при минимальных расходах на электроэнергию.

Предмет исследования. Изучение процессов воздействия импульсного режима облучения светодиодными (LED) установками на меристемные растения земляники садовой.

Методология и методы исследования. Методика базируется на едином подходе к предмету исследования в качестве единого объёма теоретических и практических результатов с использованием физических, математических, статистических и экономических методик, с применением программного обеспечения MS Excel, КОМПАС, Maple, теоретических основ электроники, электротехники, современного измерительного оборудования и приборов.

Научная новизна исследований:

1. Обоснованы параметры энергосберегающего импульсного режима облучения меристемных растений земляники садовой для светодиодной фитоустановки.

2. Разработана математическая модель, позволяющая обосновать наиболее эффективный импульсный режим излучения при выращивании меристемных растений земляники садовой.

Теоретическую и практическую значимость представляют:

1. Параметры энергосберегающего импульсного режима облучения меристемных растений земляники садовой.

2. Математическая модель, позволяющая обосновать наиболее эффективный режим работы LED фитоустановки при выращивании меристемных растений земляники садовой.

3. Методика определения темпов роста площади зеленых листьев меристемных растений земляники садовой.

4. Разработанная энергосберегающая LED фитоустановка для облучения меристемных растений земляники садовой, с возможностью изменения параметров режима облучения.

5. Результаты диссертационного исследования, использованы в УдмФИЦ УрО РАН при проектировании светодиодных облучательных установок.

Положения, выносимые на защиту:

1. Новый импульсный энергосберегающий режим облучения меристемных растений земляники садовой для LED фитоустановки, позволяющий снизить потребление электроэнергии при сохранении качества выращиваемого посадочного материала.

2. Математическая модель, позволяющая обосновать наиболее эффективный режим работы LED фитоустановки при выращивании меристемных растений земляники садовой.

3. Методика определения темпов роста растений земляники садовой, позволяющая оценить эффективность параметров импульсного режима облучения.

4. Энергосберегающая LED фитоустановка для облучения меристемных растений земляники садовой с возможностью изменения параметров режима облучения.

Степень достоверности полученных результатов.

Достоверность подтверждена совпадением результатов расчетов по предложенным автором методикам с данными испытаний фитооблучательной установки, положительными результатами при применении на практике предложенных светодиодных фитооблучательных установок, что подтверждается актами и протоколами испытаний.

Апробация научных исследований. Основные положения диссертационной работы были апробированы на: международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ, 2023 г. Россия, Ижевск; международной научно-технической конференции «Энергообеспечение АПК», 2022 г., Москва; национальной научно-практической конференции молодых ученых. 2021 г., Ижевск; национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию плана ГОЭРЛО «Актуальные вопросы энергетики АПК», 2021 г., Ижевск; международной научно-практической конференции. «Перспективы развития аграрных наук», 2021, Чебоксары; «International AgroScience Conference, AgroScience 2021», 2021 г., Cheboksary.

Структура диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 4 приложений. Объем работы составляет: 118 страниц, 36 рисунков, 28 таблиц. Список литературы включает 131 источник в том числе 7 иностранных.

Представленные материалы диссертационной работы соответствуют научной специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса. Пункты паспорта специальности: 1. Электрофизические свойства сельскохозяйственных биологических объектов, продуктов и материалов как объектов электротехнологий. Электрические, электромагнитные и магнитные воздействия на свойства продуктов, материалов и биологических объектов в технологических процессах АПК; 2. Электротехнологии, освещение и облучение в технологических процессах АПК; 4. Имитационное моделирование, информационные и автоматизированные системы контроля и

управления электрооборудованием и технологическими процессами АПК, включая электрифицированные бытовые процессы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении диссертационной работы обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, представлена степень разработанности, объект и предмет исследования, а также научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, приведена степень достоверности полученных результатов, апробация научных исследований и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Обзор литературы по применению LED фитоустановок в защищенном грунте» приведено обоснование возможности применения импульсного режима облучения, обоснование спектра облучения и проведен анализ существующих источников излучения, а также технический анализ средств и схем управления для реализации импульсного режима облучения.

Возможность применения импульсного облучения основана на особенностях процесса фотосинтеза, который состоит из световых и темных реакций. Процесс фотосинтеза протекает при активном участии хлорофилла.

При чередовании импульсного режима облучения длительностью 30 секунд и с 15 секундным непрерывным облучением CO_2 – газообмен остается практически на том же уровне по сравнению с непрерывным облучением.

В сфере облучения растений в защищенном грунте в настоящее время имеется достаточно обширный ассортимент светильников, однако спектр их излучения не позволяет адаптировать установку к конкретному растению, а также такие установки не предназначены для изменения режима облучения.

Светодиоды являются более эффективными источниками света для облучения растений благодаря своей спектральной гибкости, энергоэффективности, длительному сроку службы, безопасности, возможности регулировки яркости и режима облучения, а также компактному размеру.

Принимая во внимание результаты исследований ученых по импульсному облучению растений, поставлены цели и задачи исследования по повышению эффективности импульсных светодиодных фитоустановок для облучения меристемных растений земляники садовой.

Во второй главе «Разработка математической модели для обоснования параметров импульсного режима облучения меристемных растений земляники садовой» разработана математическая модель, позволяющая обосновать длительность импульса экспериментальной фитоустановки равной 1 секунде.

Для того, чтобы определить связь темпов роста листьев земляники садовой и длительности импульса облучательной установки необходимо преобразовать фотонные единицы в радиометрические единицы. Для этого воспользуемся методикой конвертации Уильяма Биггса.

Требуемая радиометрическая величина представляет собой интеграл интенсивности облучения на конкретных длинах волн в диапазоне 400-700 нм:

$$W_T = \int_{400}^{700} W_\lambda d\lambda, \quad (1)$$

где W_T – суммарная мощность светового облучения, Вт/м², W_λ – интенсивность облучения конкретной длины волны, Вт/(м²·нм), λ – длина волны, нм.

На конкретной длине волны λ количество фотонов составляет:

$$N_\lambda = \frac{W_\lambda}{hc/\lambda}, \quad (2)$$

где N_λ – количество фотонов, проходящих через единицу объема пространства в секунду, м⁻³·с⁻¹; $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света.

По закону фотохимической эквивалентности, одна молекула вступает в реакцию только при поглощении одного кванта света. Поэтому один моль вещества должен поглотить N фотонов, где $N = 6,023 \cdot 10^{23}$ – число Авогадро. Тогда, если R – плотность потока фотонов, считываемая площадью датчика в мкмоль·с⁻¹·м⁻², что будет являться тождественным количеству фотонов на м² (1 мкмоль·с⁻¹·м⁻² \equiv $6,023 \cdot 10^{17}$ фотонов с⁻¹·м⁻²), получим:

$$6,023 \cdot 10^{17} (R) = \int_{400}^{700} \frac{W_{\lambda}}{hc/\lambda} d\lambda, \quad (3)$$

где R – плотность потока фотонов, $\text{мкмоль} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$.

Зная цифровые характеристики длин волн (Φ отн. – фотометрическое представление спектра на каждой длине волны) исследуемой установки, снятые спектральным прибором «ТКА-ВД» (рисунок 1), используя формулы с (1)-(4) произведем расчеты.

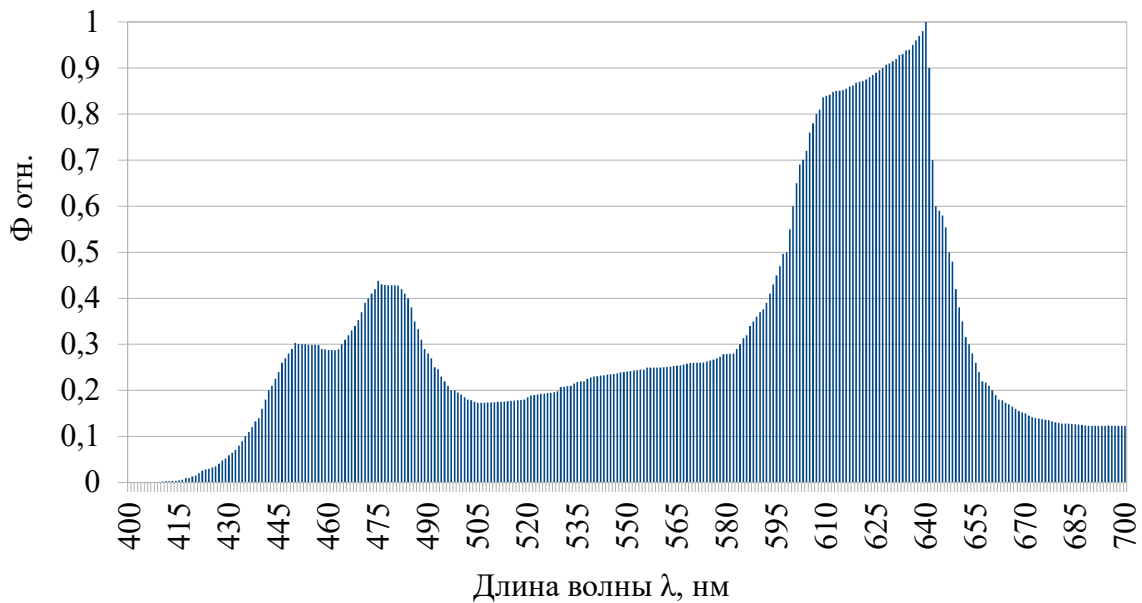


Рисунок 1 – Спектральный состав исследуемой фитооблучательной установки

Для исследуемой фитоустановки, работающей в непрерывном режиме облучения получили: суммарная мощность светового облучения $W_T = 14,1 \text{ Вт/м}^2$; плотность потока фотонов $R = 68,2 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; освещенность $E = 4000 \text{ лк}$.

Плотность потока фотонов R_0 за период облучения в течение пяти пятидневок с работой по 16 часов в сутки составит:

$$R_0 = 25TR, \quad (4)$$

где T – время облучения в сутки, с; 25 – период выращивания земляники, дней.

Следовательно, плотность потока фотонов за период облучения составит:

$$R_0 = 25 \cdot 16 \cdot 3600 \cdot 68,2 = 98,208 \text{ моль/м}^2,$$

при этом прирост площади листьев под установкой, работающей в непрерывном режиме облучения, составил: $\Delta S = 86 \text{ мм}^2$.

Тогда, как доза облучения при длительности светового импульса 0,5 с $R_{0,5}$ под LED имп.0,5 ФОУ составит:

$$R_{0,5} = 25R \left(T - \frac{T}{T_k} \cdot \frac{T_I T_S}{T_t + T_S} \right), \quad (5)$$

получаем:

$$R_{0,5} = 25 \cdot 68,2 \left(16 \cdot 3600 - \frac{16 \cdot 3600}{45} \cdot \frac{30 \cdot 0,5}{1 + 0,5} \right) = 49,92 \text{ моль/м}^2,$$

при этом прирост площади листьев под этой установкой составил $\Delta S = 70 \text{ мм}^2$, что недостаточно для перевода растения на следующий этап выращивания корней. Тогда средняя плотность потока фотонов R' под LED имп0,5 ФОУ составит:

$$R' = \frac{RR_{0,5}}{R_0} = 34,67 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}. \quad (6)$$

Зависимость увеличения площади листа от длительности светового импульса облучательной установки, работающей в предлагаемом режиме облучения, может быть описана неоднородным дифференциальным уравнением:

$$\frac{dS}{dt} + kSTR(t) = f(t), \quad (7)$$

где k – константа скорости фотосинтетического потока, $\text{м}^2 \text{мкмоль}^{-1} \text{с}^{-1}$.

В условиях установившегося режима, примем $f(t)$, равной постоянной величине k_1 , $\text{м}^2 \text{с}^{-1}$.

Тогда решение уравнения (7) имеет вид:

$$S = S^* + S^{**}, \quad (8)$$

где S^* – знакопеременное общее решение однородного уравнения (8) при $k_l = 0$; S^{**} – частное решение уравнения (8) при $k_l = \text{const}$.

Принимая во внимание выражение (5), и решая однородное дифференциальное уравнение получим полное решение искомого уравнения:

$$S = K_1 - 70 \cdot 10^{-6} \cdot e^{3,57 \cdot (-0,67 \ln(1-T_S) - T_S - 0,23)}, \quad (9)$$

где K_I – эмпирическая постоянная процесса облучения растений, определяемая численно из краевых условий при импульсном режиме облучения, $K_I = 86 \cdot 10^{-6}$.

Для поиска наиболее эффективного импульсного режима облучения для выращивания земляники садовой исследовали функцию (9) на экстремумы. Критерием оптимизации является величина S , условием оптимизации является стремление величины S к максимальному значению ($S \rightarrow \max$).

Для исследования функции на экстремум найдем производную:

$$\frac{dS}{dT_s} = \left(70 \cdot 10^{-6} \cdot 3,57 \cdot \left(1 - \frac{0,67}{1 - T_s} \right) \right) e^{-3,57 \cdot (-0,67 \ln(1 - T_s) - T_s - 0,23)} \quad (10)$$

Приравниваем производную к нулю $\frac{dS}{dT_s} = 0$ и решаем относительно T_s , откуда получим $T_s = 0,98$ с. То есть, необходимое условие экстремума выполняется. Из $\frac{d^2S}{dT_s^2} < 0$ следует, что при $T_s = 0,98$ с, S принимает максимальное значение.

Из математической модели (10) видно, что максимальный прирост площади зеленых листьев меристемной земляники будет при длительности светового импульса равного 1 с, что необходимо проверить экспериментальным путем.

Третья глава «Обоснование и разработка технических решений для реализации импульсного режима облучения»

Объектами исследований являлись меристемные растения земляники садовой сорта «Корона» и сорта «Брайтон». Влияние импульсного режима облучения на рост меристемных растений земляники исследовалось на этапе наращивания площади листовой поверхности.

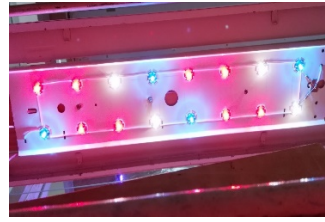
Фотопериод составлял 16 часов, то есть установки работали с 6 часов утра до 22 часов ночи.

В первом режиме источником излучения были светильники с разрядными лампами низкого давления, которые используются в лаборатории УдмНИИ СХ структурного подразделения ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН при выращивании меристемных растений земляники (рисунок 2, а).

Второй режим – импульсный. На рисунке 2, б показано фото экспериментального LED фитооблучателя, работающего в импульсном режиме с длительностью импульса света в 0,5 с (LED имп.0,5 ФОУ).



а)



б)

Рисунок 2 – Сравнимые фитооблучатели

а) – разрядный с лампой Osram L 10W/640 (контроль);

б) – LED фитооблучатель, работающий в импульсном режиме

Третий режим – LED фитооблучатель, также импульсный. Но с учетом математической модели в этой установке увеличена T_s – длительность импульса излучения до 1 с (LED имп.1 ФОУ), что позволит в момент световой стадии фотосинтеза поглотить большее количества энергии света хлорофиллом и, соответственно, в темновой стадии будет преобразовываться большее количество энергии, необходимой для роста и развития растения (рисунок 3).

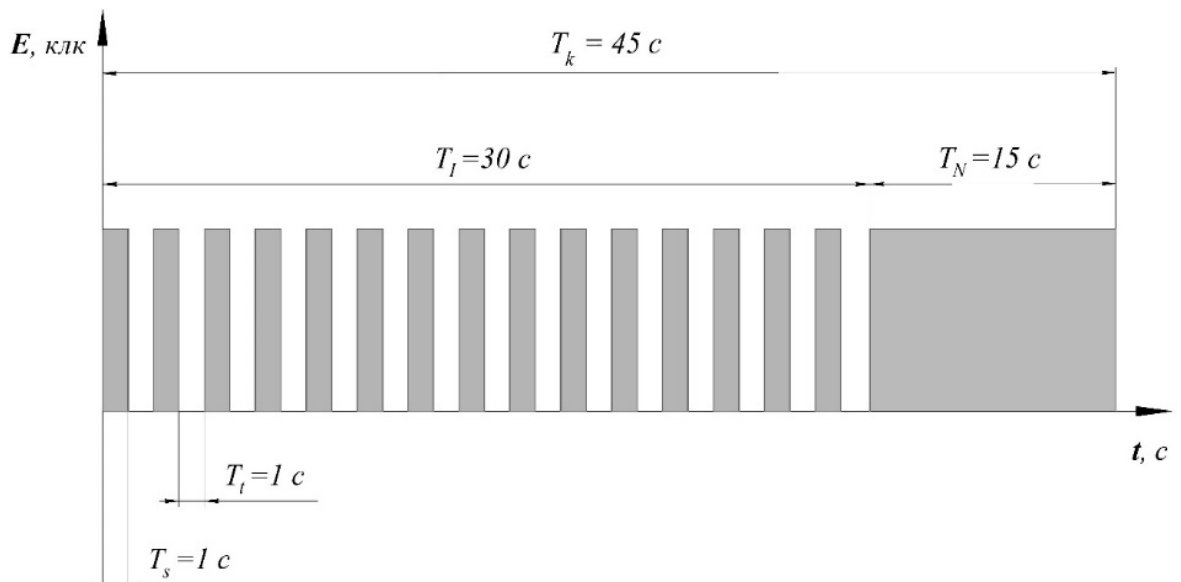


Рисунок 3 – Параметры импульсного режима, реализованного LED-фитоустановками для облучения меристемных растений земляники с длительностью импульса в 1 с

где T_s – длительность импульса излучения, 1 с; T_t – длительность темновой паузы, 1 с; T_I – длительность импульсного облучения, 30 с; T_N – длительность непрерывного облучения, 15 с; T_k – период режима облучения, 45 с.

Четвертый режим – LED фитооблучатель с идентичным спектральным составом, что и у экспериментальных установок, работающий в непрерывном режиме облучения (LED непр. ФОУ).

Для реализации работы LED фитоустановки в импульсном режиме была разработана блок схема (рисунок 4).

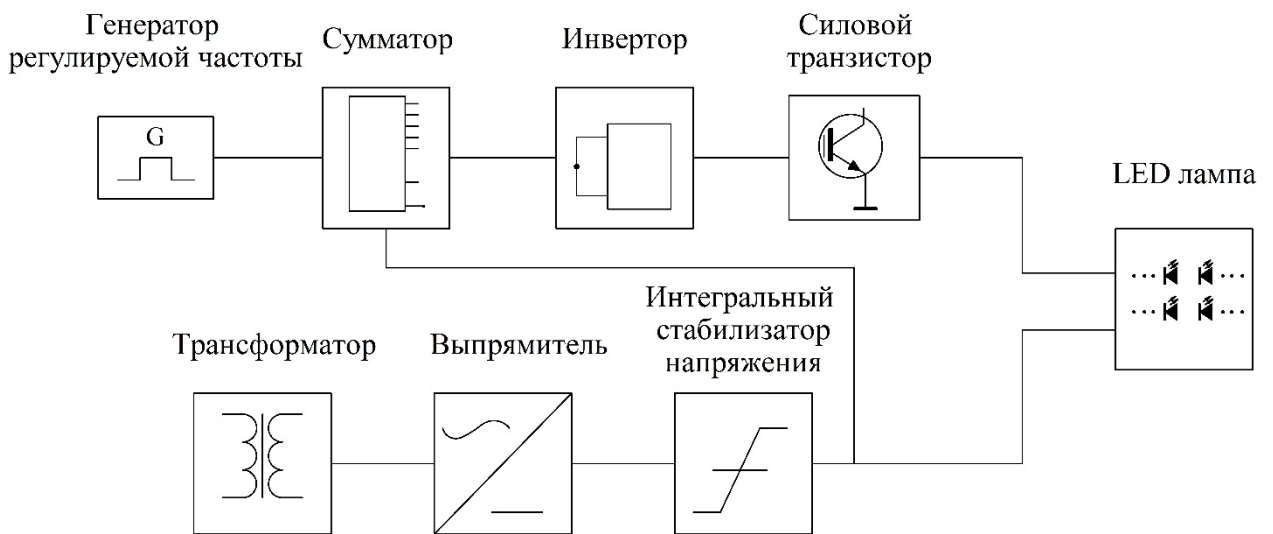


Рисунок 4 – Блок схема работы импульсной LED фитоустановки

Импульсная LED фитоустановка состоит из: генератора сигналов с возможностью регулировки частоты, сумматора, инвертора, силового ключа, линейного источника питания, а также самих LED ламп.

Общий вид собранной схемы управления экспериментальной фитоустановки представлен на рисунке 5.

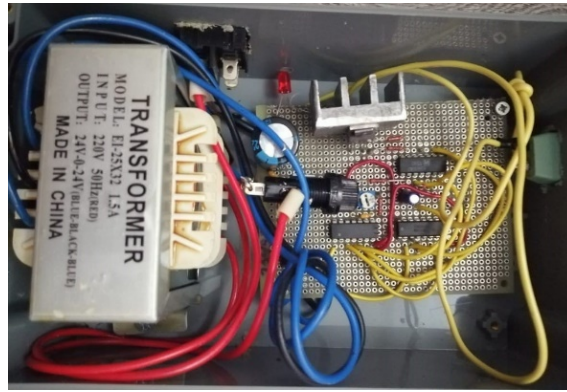


Рисунок 5 – Фото собранной схемы управления LED фитоустановкой

Спектр излучения разработанной LED фитоустановки был измерен спектрометром марки «ТКА-ВД» и имеет соотношение синего излучения к белому и красному как 25%, 25% и 50%.

В четвертой главе «Эффективность влияния различных облучательных установок на рост меристемных растений земляники садовой» приведены результаты опытов, которые показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение режимов облучения меристемных растений земляники садовой сорта «Корона»

Исследуемый показатель		Облучательные фитоустановки		
		LED имп.1 ФОУ	LED непр.ФОУ	ЛФОУ (контроль)
Время работы облучательной установки, ч		234,72	480	480
Мощность облучательной установки	кВт	0,03	0,03	0,042
	%	71,43	71,43	100
Расход электроэнергии	кВт·ч	7,04	14,4	20,16
	%	34,92	71,4	100
Изменение площади листьев	мм ²	105±5,2	86±4,3	93±4,7
	%	112,9	92,47	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт·ч/мм ²	0,07	0,17	0,22
	%	30,93	77,22	100

Из таблицы 1 видно, что на прирост площади листьев положительное влияние оказала установка LED имп.1 ФОУ: у сорта «Корона» оно составило $105 \pm 5,2 \text{ мм}^2$, в то время как в контроле – $93 \pm 4,7 \text{ мм}^2$, при этом удельные затраты электроэнергии составили 31% (в контроле 100%).

Для обоснования влияния режима облучения меристемных растений разработана структурно-функциональная схема (рисунок 6).

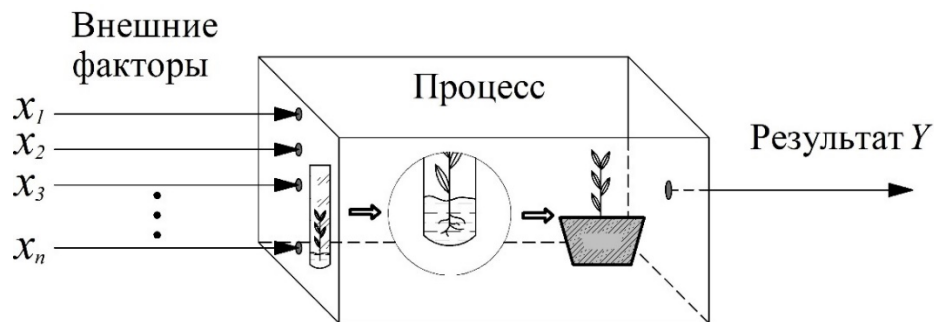


Рисунок 6 – Структурно-функциональная схема влияния режима облучения на меристемное растение

В идеальной модели влияния режима облучения на меристемное растение имеется ряд внешних факторов:

x_1 – вид растения (в данном случае земляника садовая); x_2 – этап выращивания по технологии, используемой УдмНИИ СХ структурным подразделением ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН; x_3 – температура в пробирке и лаборатории; x_4 – питательная среда в пробирке; x_5 – состав воздуха в пробирке и лаборатории; x_6 – спектральный состав облучения; x_7 – режим облучения (длительность светового импульса). Под результатом Y принимается наиболее эффективный режим облучения растений.

Темпы роста площади листьев на этапе пролиферации земляники садовой сорта «Корона» определяются делением площади последующего наблюдения на площадь предыдущего замера. Данные занесены в таблицу 2:

Таблица 2 – Рост листа земляники сорта «Корона» под LED имп.1 ФОУ

День измерения	Средняя площадь (S) листа, мм ²	Темп роста (x)	lg x
1-й	260±10,8	-	-
5-й	282±11,6	1,085	0,02
10-й	300±11,8	1,064	0,03
15-й	329±12,1	1,097	0,04
20-й	346±12,6	1,052	0,02

При вычислении средней геометрической воспользуемся логарифмами, формула (11).

$$lgG = \frac{\sum lg x}{N}. \quad (11)$$

Среднее геометрическое из значений таблицы 2 темпов роста земляники садовой сорта «Корона» под LED имп.1 ФОУ облучателем:

$$lg G = \frac{(0,02 + 0,03 + 0,04 + 0,02)}{4} = 0,03,$$

отсюда $G = 1,07$.

Исходя из полученных данных эффективность облучательной фитоустановки на влияние темпов роста листа земляники садовой сорта «Корона» оказалось выше у исследуемой LED имп.1 ФОУ с длительностью импульса в 1 с.

В пятой главе «Технико-экономическая оценка эффективности применения фитооблучательной установки, работающей в импульсном режиме облучения меристемных растений земляники садовой» используются общероссийские методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов.

Из таблицы 3 видно, что при использовании фитооблучательной установки LED имп.1 ФОУ в сравнении с облучательной установкой ЛФОУ (контроль) при выращивании меристемных растений годовой экономической эффект составит 127 078,47 руб.

Таблица 3 – Данные расчета экономической эффективности

Показатель	Размерность	Обозначение	Вариант	
			LED имп.1 ФОУ	ЛФОУ (контроль)
Капитальные вложения	руб.	К	90288	41500
Эксплуатационные затраты	руб.	ЭЗ	243 051,52	238 152,83
Стоимость потребленной электроэнергии	руб.	С _э	5 339,52	7 475,33
Амортизационные отчисления на фитооблучатель	руб.	С _а	31	108
Амортизационные отчисления на арматуру	руб.	С _{арм}	14 577	2 422
Затраты на заработную плату электромонтера	руб.	С _{зп}	204 000	204 000
Затраты на текущий ремонт	руб.	С _{тр}	11 286	5 187,5
Прочие затраты	руб.	С _{пр}	22 395	21 400
Приведенные затраты	руб.	ПЗ	256 594,72	244 377,83
Приведенные затраты на единицу продукции	руб./растение	ПЗ _{пр}	32,69	48,86
Годовой экономический эффект	руб.	Г _{ээ}	127 078,47	
Срок окупаемости	год	Т	2,02	
Разница затрат на единицу продукции	руб./растение		16,17	

Затраты на производство одного растения сократились на 16,17 руб. Срок окупаемости данной установки составил 2,02 года.

Заключение

1. Анализ специальной литературы показывает, что земляника обладает целебными свойствами. Меристемные растения, обеспеченные оптимальными условиями выращивания, имеют более высокую урожайность, чем обычные растения.

2. Предложена математическая модель, описывающая влияние режима облучения на темпы роста меристемной земляники, которая показала, что комбинированный режим облучения с длительностью импульса света в 1 секунду позволяет уменьшить время выращивания меристемной земляники и снизить удельные затраты примерно на 31%.

3. Применение импульсного режима облучения с использованием LED имп.1 ФОУ в клональном микроразмножении земляники способствовало: существенному увеличению укореняемости микрочеренков земляники. Укореняемость земляники садовой сорта «Корона» составила 95 % под LED имп.1 ФОУ, а под ЛФОУ (контроль) – 90%; увеличению числа нормально развитых листьев земляники садовой сорта – 5,6 шт под LED имп.1 ФОУ, когда под ЛФОУ (контроль) – 4,5 шт и, как следствие, обеспечило - увеличение длины корней до 21 мм; увеличение площади листовой поверхности микрорастений сорта «Корона» с 262,2 мм² до 348,0 мм²;

4. Эксперименты по влиянию режимов облучения на рост и развитие земляники садовой сорта «Корона» и ремонтантной сорта «Брайтон» проводились в микроклональной лаборатории на базе УдмНИИ СХ структурного подразделения ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН с 2016 по 2020 гг. Затраты на производство одного растения сократились на 16,17. Ожидаемый экономический эффект составляет около 127 тыс. руб., при сроке окупаемости около 2 лет.

Рекомендации производству. Для экономии электроэнергии и сохранения качества земляники садовой рекомендуется в тепличных хозяйствах использовать LED фитоустановки, работающие в импульсном режиме облучения с длительностью импульса в 1 секунду.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Используя результаты моделирования и экспериментов, можно получать математические модели параметров работы LED фитоустановок для различных меристемных растений, выращиваемых в лабораториях и тепличных хозяйствах.

Список работ по теме диссертации

Публикации, рекомендованные перечнем ВАК и приравненных к ним

1. Батурин А.И. Сравнение влияния различных режимов облучения на увеличение площади листьев меристемных растений статистическими методами / Батурин А.И., Баранова И.А., Кондратьева Н.П., Батурина К.А. // Вестник НГИЭИ. 2022. № 5 (132). С. 55-64.

2. Батурин, А.И. Разработка системы автоматического управления электрооборудованием для реализации энергосберегающих электротехнологий / Батурин А.И., Кондратьева Н.П., Владыкин И.Р., Баранова И.А., Юран С.И., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. // Вестник НГИЭИ. 2018. № 6 (85). С. 36-49.

3. **Патент 2725486 Российская Федерация: МПК А01G 7/04, H02J 3/01.** Способ снижения энергоемкости светодиодной системы облучения (освещения) растений [Текст] / Батурин А.И., Филатов Д.А., Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Бузмаков Д.А.; заявитель и патентообладатель Филатов Д.А. – № 2019117195; заявл. 03.06.2019; опубл. 02.07.2020 Бюл. № 19.

4. **Свидетельство гос. рег. программы для ЭВМ RU2019617574.** Программа аддитивного смешивания цветов у ленточных RGB светодиодов для получения требуемого спектра излучения для меристемных растений [Текст] / Батурин А.И., Кондратьева Н.П., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Бузмаков Д.А.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «ИжГСХА» (RU) – № 2019617574; заявл. 28.05.2019; опубл. 17.06.2019 Бюл. № 6.

В изданиях, рецензируемых в системе цитирования Web of Science

1. Baturin, A. Effect of irradiation on the growth and rooting of a climbing rose in vitro / Baturin, A, Kondrateva N., Bolshin R., Krasnolutsckaya M., Baturina K., Dukhtanova N., Kirillin N., Ovchucova S., Zaitsev P., Somova E., Markova M. // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International AgroScience Conference, AgroScience 2021" 2021. С. 012007.

Публикации в других изданиях (всего 12 работ):

1. Батурин, А.И. Обоснование эффективности применения энергосберегающего режима облучения растений / Батурин А.И., Н. П. Кондратьева, К. А. Батурина, И. А. Баранова // Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ. В 3 т., Ижевск, 28 февраля – 05 2023 года. Том 3. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2023. – С. 83-86

2. Батурин, А.И. Обоснование эффективности импульсного режима облучения статистическими методами обработки данных / Батурин А.И., Кондратьева Н.П., Баранова И.А., Батурина К.А. // В сборнике: Вклад молодых ученых в реализацию приоритетных направлений развития аграрной науки. материалы Национальной научно-практической конференции молодых ученых. Ижевск, 2021. С. 354-357.

3. Батурин, А.И. Влияние энергосберегающего режима облучения на растения земляники *in vitro* / Батурин А.И., Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, К. А. Батурина, М.Г. Краснолуцкая // Евразийское Научное Объединение. – 2021. – № 12-1(82). – С. 82-85.

4. Батурин, А.И. Обоснование мигающего светового режима облучения на развитие земляники / Батурин А.И., Кондратьева Н.П., Батурина К.А., Бигбашев М.Ю. // В сборнике: Актуальные вопросы энергетики АПК. Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию плана ГОЭРЛО. 2021. С. 36-41.

5. Батурин, А.И. Анализ эффективного цифрового управления электротехнологическими установками для экономии электроэнергии / Батурин А.И., Кондратьева Н.П., Большин Р. Г., Краснолуцкая М. Г., Шишов А. А., Батурина К. А., Радикова А. В., Ваштиев В. К. // Евразийское Научное Объединение. 2021. № 12-1 (82). С. 82-85.

6. Батурин, А.И. Цифровое управление безопасными агроэкологическими электротехнологиями / Батурин А.И., Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Шишов А.А., Батурина К.А., Радикова А.В., Ваштиев В.К. // Евразийское Научное Объединение. 2021. № 3-1 (73). С. 75-79.

7. Батури́н, А.И. Реализация безопасных агроэкологических электротехнологий с помощью цифровых технологий / Батури́н А.И., Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Шишов А.А., Батурина К.А., Ваштиев В.К., Радикова А.В. // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 72-2. С. 67-70.

8. Батури́н, А.И. Разработка ресурсо- и энергосберегающего электрооборудования для реализации энергоэффективных электротехнологий для воздействия на биологические объекты / Батури́н А.И., Кондратьева Н.П., Бузмаков Д.В., Осокина А.С., Маркова М.Г., Сомова Е.Н., Батурина К.А. // Агротехника и энергообеспечение. 2019. № 3 (24). С. 39-49

9. Батури́н, А.И. Энерго- и ресурсосберегающие облучательные установки для растений *invitro* / Батури́н А.И., Кондратьева Н.П., Корепанов Р.И. // В сборнике: Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Материалы IV Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах. Редколлегия: Э.Ю. Абдуллазянов [и др.]. 2018. С. 476-477.

10. Батури́н, А.И. Автоматическая система для комбинированного облучения меристемных растений / Батури́н А.И., Юран С.И., Баранова И.А. // В сборнике: Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Материалы IV Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах. Редколлегия: Э.Ю. Абдуллазянов [и др.]. 2018. С. 523-524.

11. Baturin, A.I. Power - and resource-saving electric lighting technologies in agricultural engineering for protected soil / Kondrateva N.P., Obolensky N.V., Bolshin R.G., Krasnolutskaya M.G. // В сборнике: Advances in Engineering Research. 2018. С. 364-369.

12. Baturin, A.I. Effect of pulse radiation of meristemic rose plants / N. P. Kondratyeva, R. G. Bolshin, M. G. Krasnolutskaya Baturina K.A., Kirillin N.K., Ovchukova S.A., Zaitsev P.V. // Перспективы развития аграрных наук : Материалы Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 16 апреля 2021 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2021. – Р. 61.

Батурин Андрей Иванович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ
РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ ИМПУЛЬСНЫМИ
LED-ФИТОУСТАНОВКАМИ**

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____
Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 1,0 Заказ № _____
Тираж 100 экз.
Редакционно-издательский центр УдГАУ.
429069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11
Тел. 8(3412) 59-88-11, e-mail: info@udsau.ru