

На правах рукописи

**Валеев Руслан Альфредович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ  
РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕТОДИОДНЫХ УСТАНОВОК**

05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование  
в сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена на кафедре «Автоматизированный электропривод» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА)

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Кондратьева Надежда Петровна**

**Официальные оппоненты:**

**Овчукова Светлана Александровна, д.т.н., профессор** кафедры электроснабжения и технической диагностики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет»

**Широбокова Татьяна Александровна, к.т.н., доцент** кафедры технологии и строительства и жилищно-коммунального хозяйства негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Камский институт гуманитарных и инженерных технологий»

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Башкирский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ)

Защита состоится « 24 » июня 2014 года в 9:30 часов на заседании диссертационного совета Д 006.037.01 в Государственном научном учреждении Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ) по адресу: 109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, д.2.  
Телефон: (499) 171-19-20

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ ВИЭСХ.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Некрасов Алексей Иосифович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время затраты на энергоресурсы составляют значительную долю в себестоимости сельскохозяйственной продукции. Искусственное освещение является одним из важнейших и энергоемких факторов при выращивании растений. На сегодняшний день в осветительных установках расходуется около 30% всей генерируемой электрической энергии, т.е. почти 280 млрд. кВт\*ч.

Достоинства оптического излучения (ОИ) как фактора энергетического и регуляторного воздействия на биологические объекты общеизвестны: экологическая чистота и возможность решения различных технологических задач. Получение требуемых параметров пространственного распределения потока, его спектрального распределения и интенсивности облучения характеризуют ОИ, как средство эффективного воздействия.

Учеными в области электрификации сельскохозяйственного производства Р.Г. Бутенко, Л.Г. Прищепом, И.Ф. Бородиным, Д.С. Стребковым, Н.Н. Протасовой, И.И. Свентицким, А.К. Лямцовым, А.М. Башиловым, С.А. Растимешиним, Ю.М. Жилинским, В.М. Леманом, Г.С. Сарычевым, А.А. Тихомировым, А.П. Примаком, В.Н. Карповым, В.П. Шарупичем, С.А. Овчуковой, А.П. Коломийцем, Л.К. Алферовой, Н.Ф. Кожевниковой, В.А. Козинским, О.А. Косицыным, Н.П. Кондратьевой, Малышевым В.В., R. McCree, P. Mekkel, B. Singh, M. Fischer, J. Bonnet, P. Harris и другими доказана эффективность применения ОИ для получения дополнительной растениеводческой продукции, сформулированы, обоснованы и предсказаны разнообразные по характеру новые возможные пути интенсификации производства растений и рационального использования электрической энергии при искусственном облучении растений.

Воздействие отдельных спектральных составляющих и интенсивности падающего на растение света активно изучалась во второй половине XX века. В результате проведенных исследований было доказано, что наиболее благоприятными для выращивания светолюбивых растений являются интенсивности в пределах 150...220 Вт/м<sup>2</sup>, а наиболее эффективный состав излучения имеет следующее соотношение энергий по спектру: 30% – в синей области (380...490 нм), 20% – в зелёной (490...590 нм) и 50% – в красной области (600...700 нм).

При этом искусственно воздействуя на растения различным по спектральному составу излучением и величиной облученности, можно удлинять или сокращать его вегетационный период, что позволит значительно сократить расходы на тепловую и электрическую энергию при выращивании растений. Поэтому обоснование и выбор наиболее эффективного по спектру источника излучения, величины облученности для конкретной культуры является актуальной задачей.

Исследования и разработки по теме диссертационной работы выполнялись в течение нескольких лет в соответствии с отраслевой научно-технической программой № 01201350385 «Исследования и разработка электротехнологий на предприятиях АПК» проводимой по заказу Министерства сельского хозяйства и

продовольствия Удмуртской республики.

**Целью работы** является повышение эффективности облучательных установок для меристемных растений малины сорта «Гусар», за счет применения энергосберегающей автоматизированной светодиодной системы облучения, позволяющей снизить электропотребление и повысить продуктивность растений.

**Объектом исследования** является система, состоящая из меристемной культуры малины сорта «Гусар», технических средств облучения и технологических мероприятий, позволяющая повысить продуктивность выращиваемых растений.

**Предметом исследования** являлось изучение процессов воздействия оптических электрооблучательных установок на меристемные растения малины.

**Задачи исследования:**

1. Провести аналитический обзор зарубежной и отечественной литературы по использованию светодиодных облучательных установок с разным спектральным составом при выращивании растений в защищенном грунте.
2. Разработать математическую модель, позволяющую обосновать параметры системы и спектральный состав облучения меристемной малины сорта «Гусар».
3. Обосновать режимы работы, разработать алгоритм функционирования и программу управления для светодиодной облучательной установки, позволяющий оптимизировать спектр излучения.
4. Разработать методику определения величины эффективной облученности для оценки облучательных установок с разной спектральной плотностью излучения на основе эксэргии.
5. Провести лабораторные и производственные испытания и выполнить технико-экономическую оценку применения светодиодных облучающих установок при выращивании культуры малины сорта «Гусар».

**Научная новизна** работы состоит в том, что впервые:

1. Теоретически и экспериментально установлена целесообразность разработки светодиодных облучательных установок для выращивания меристемной культуры малины сорта «Гусар», позволяющая снизить электропотребление и повысить продуктивность растений.
2. Разработана математическая модель по обоснованию контролируемых и регулируемых параметров процесса функционирования системы облучения меристемной малины сорта «Гусар».
3. Обоснованы режимы работы системы, предложен алгоритм функционирования и программа управления светодиодной облучательной установки.
4. Предложена методика определения величины эффективной облученности для оценки облучательных установок с разной спектральной плотностью излучения на основе эксэргии.
5. Получен патент Российской Федерации на полезную модель № 127286 «Светодиодная система для облучения меристемных растений».

**Достоверность результатов исследований** подтверждена совпадением результатов расчетов по предложенным автором методикам с данными испытаний светодиодной установки, положительным результатом применения на

практике предложенной установки и повышения эффективности данной технологии облучения.

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

1. Математическая модель, описывающая влияние спектральной плотности излучения на продуктивность культуры малины сорта «Гусар», позволяющая обосновать контролируемые и регулируемые параметры системы.
2. Режимы работы системы, алгоритм функционирования и программа управления для облучательных установок с разным спектральным составом излучения.
3. Методика определения величины эффективной облученности, позволяющая оценить облучательные установки с разной спектральной плотностью излучения на основе эксэргии.
4. Автоматизированная система облучения, на базе светодиодных светильников, обеспечивающая наибольшую эффективность в технологии выращивания растений.
5. Результаты исследований, лабораторных и производственных испытаний и технико-экономическая оценка эффективности представленной облучательной системы, позволяющие определить эффективный технологический процесс выращивания растений в защищенном грунте.

#### **Практическая значимость работы:**

1. Разработана облучательная система для выращивания растений.
2. Разработаны научно обоснованные практические рекомендации, предназначенные для использования в меристемных лабораториях при выращивании меристемной малины.
3. Результаты исследований использованы при проектировании облучательных установок, применяемых в ГНУ Удмуртский НИИСХ.
4. Результаты научной работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА.

#### **Апробация** основных результатов по теме диссертации.

Результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на научных конференциях и конкурсах: конкурс «Умник» (Ижевск 2011), 8-ая Международная научно-техническая конференция «Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике» (Москва, 2012), конкурс «Умник» (Ижевск 2012), конкурс «Инновационному развитию Удмуртской Республики - потенциал молодых ученых» (Ижевск, 2012), 2-ой тур Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых в номинации «Технические науки» (Уфа, 2013), Международная научно-практическая конференция «Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы» (Ижевск, 2013).

Основные положения диссертации опубликованы в 11 печатных работах, в том числе две работы в издании, указанном в «Перечне рецензируемых журналов» Минобрнауки РФ, получен патент РФ на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе, списка литературы и приложений.

Работа изложена на 149 страницах текста, содержит 60 рисунков, 14 таблиц и три приложения на 9 страницах.

Список использованной литературы включает 146 наименований, из которых 16 на иностранном языке.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследований, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «Анализ технологий выращивания меристемных растений и источников оптического облучения»** рассмотрена современная технология выращивания меристемной малины и вопросы влияния светового излучения на растения.

По статистике Продовольственной и сельскохозяйственной организации при ООН к началу 21-го века выращивалось около 300 тыс. т. ягод малины в год. При этом 48,4 % производства ягод сосредоточено в странах Западной Европы (Сербия, Польша, Германия, Венгрия, Великобритания и др.); 39,6 % - приходится на долю России, Белоруссии, Украины и других СНГ; 10,4 % ягод малины производят США и Канада и 1,6 % - Новая Зеландия, Австралия, Аргентина и Чили.

Одним из аспектов актуальности выращивания малины является ее лечебно-диетические качества. В зависимости от сорта и условий выращивания в плодах малины содержится 7...11 % сахаров, среди которых преобладают хорошо усвояемые фруктоза и глюкоза, 0,5...0,8 % белка, 0,6...0,9 % пектина, 1,2...2,3 % органических кислот.. Ценной составной частью плодов малины являются такие биологически активные вещества, как аскорбиновая кислота (до 50 мг), катехины (до 80 мг), антоцианы (100...250 мг), витамины В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, Е и другие. Из минеральных соединений в малине довольно много железа (1200 мг), цинка (200 мг), меди (170 мг) и марганца (210 мг на 100 г сырого продукта).

Малина меньше других ягодных культур накапливает в плодах наиболее опасные экотоксиканты (тяжёлые металлы, радионуклиды, гербициды и др.), что особенно важно для районов с неблагополучной экологией. Ягоды малины служат ценным сырьем для пищевой и кондитерской промышленности. Покупательский спрос на ягоды малины практически не ограничен.

Для размножения и оздоровления ягодных и других растений на сегодняшний день наиболее надежным и перспективным методом является выделение апикальных меристем, регенерация из них пробирочных растений и дальнейшее клональное микроразмножение в условиях изолированной культуры. Верхушечные меристемы не содержат патогенных микроорганизмов, поэтому растения, полученные от них, являются здоровыми.

Применение биотехнологических приемов позволяет получить за короткий срок и в достаточном количестве посадочный материал, защищенный от грибных, фитоплазменных и вирусных заболеваний. Также достоинством

меристемной технологии является возможность получения в большом количестве вегетативного потомства трудно размножаемых в обычных условиях сортов и форм растений, получение растений с измененной ploидностью и трансгенные растения.

Искусственное электрооблучение растений в промышленных, селекционных, репродукционных, вегетационных, меристемных и других теплицах не может быть заменено каким-либо другим агротехническим приемом или способом выращивания. Одной из главных задач при выращивании растений в защищенном грунте является правильный выбор источников излучения. В настоящее время в тепличных комплексах используются различные облучательные установки: лампы накаливания, лампы высокого давления типа ДРЛ, ДРИ, ДНАТ, люминесцентные лампы, главным недостатком которых является постоянный спектральный состав излучения.

Необходимо отметить, что в физиологии растений качественный состав света принято выражать по содержанию в нем тех лучей, которые оказывают наибольшее благоприятное воздействие на растения. Оптическое излучение, положительно влияющее на растения, по спектральному составу может быть разделено на три части: ультрафиолетовое (295...380 нм), видимое (свет) (380...780 нм) и ближнее инфракрасное излучение (780...1100 нм). В спектре солнечных лучей выделяют область фотосинтетической активной радиации (ФАР), используемой растениями в процессе фотосинтеза. Эти лучи длиной волны в диапазоне 380...710 нм.

В представленной диссертационной работе для выращивания растений нами разработаны облучатели нового поколения, с использованием светодиодов. Особенность этих облучателей, сконструированных на светодиодах состоит в том, что спектральный состав их световых потоков в наибольшей степени соответствует ФАР. При использовании облучателей из светодиодов продуктивность растений выше, чем при облучении традиционными люминесцентными лампами.

Растения в процессе эволюции приспособились к спектральному составу солнечного излучения. Энергия солнечного излучения – главный первоисточник энергии для растений. Солнечное излучение, попадающее на землю, состоит из электромагнитных колебаний с разной длиной волны. В течение дня спектральная плотность солнечного излучения изменяется. При уменьшении солнцестояния солнечный спектр обогащается длинноволновыми оранжево-красными лучами, а при нахождении солнца в зените – максимум приходится на коротковолновые сине-фиолетовые лучи.

Анализ специальной литературы показывает, что солнечный свет (величина облученности, длительность воздействия в течение суток, сезонов года, высота стояния солнца над горизонтом) оказывают огромное влияние на длительность вегетации растений.

Во второй главе **«Разработка математической модели по обоснованию эффективного спектрального состава излучения меристемной малины сорта «Гусар»»** решается вопрос обоснования параметров системы и спектрального состава облучения меристемной малины сорта «Гусар».

Разработана структурно-функциональная схема, обосновывающая рациональный способ облучения меристемных растений культуры малины за счет эффективного спектрального состава, соответствующего наименьшим приведенным удельным затратам (рисунок 1).

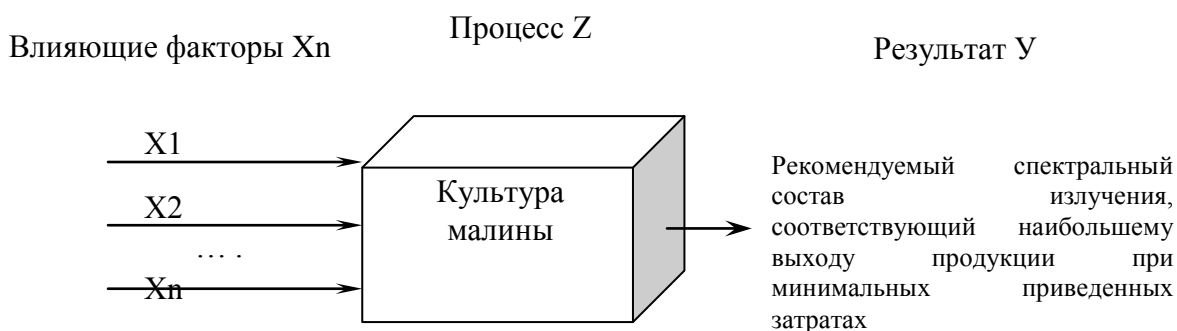


Рисунок 1- Структурно-функциональная схема воздействия энергии оптического излучения на биологический объект

В идеализированной модели воздействия энергии оптического излучения приняты следующие ограничения или допущения:  $x_1$  – определяет вид растения (исследования проводились для малины сорта «Гусар»),  $x_2$  – фаза развития (за основу принята технология выращивания, используемая в ГНУ УдНИИСХ п. Первомайский),  $x_3$  – характеризует питательный раствор;  $x_4$  – температуру воздуха;  $x_5$  – уровень облученности,  $x_6$  – спектр излучения, а также комплекс дополнительных факторов, определяющих жизнедеятельность биологического объекта не только в период облучения, но и в предшествующие и последующие за облучением периоды.

В математической модели принимаются все уровни указанных факторов, которые устанавливаются в ГНУ УдНИИСХ для меристемной культуры малины сорта «Гусар». Изучено влияние спектральной плотности излучения на продуктивность культуры малины. Модель предусматривает зависимость между воздействием спектра оптического излучения и продуктивностью культуры малины. Критерием эффективности электрооблучения принимается минимум приведенных удельных затрат.

$$\frac{ПЗ}{\sum m} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где ПЗ – приведенные затраты;  $\sum m$  – количество пробирок с растениями.

Приведенные затраты определяются из выражения:

$$ПЗ = Z_{обл} + Z_{в}, \quad (2)$$

где  $Z_{обл}$  - затраты, связанные с применением облучательных установок;  $Z_{в}$  - затраты, идущие на выращивание растений, не связанные с облучением.

Затраты  $Z_{обл}$  определяются как сумма капитальных ( $E_n K$ ) и эксплуатационных ( $\sum Z$ ) затрат на оборудование.

Затраты на выращивание растений ( $Z_{в}$ ) определяются как:



$$Z_B = \frac{mC_{II}}{K_p} \quad (3)$$

Проведенные нами исследования позволили получить следующие графические зависимости, иллюстрирующие изменение площади листьев меристемной малины в зависимости от вида облучения (рисунок 2).

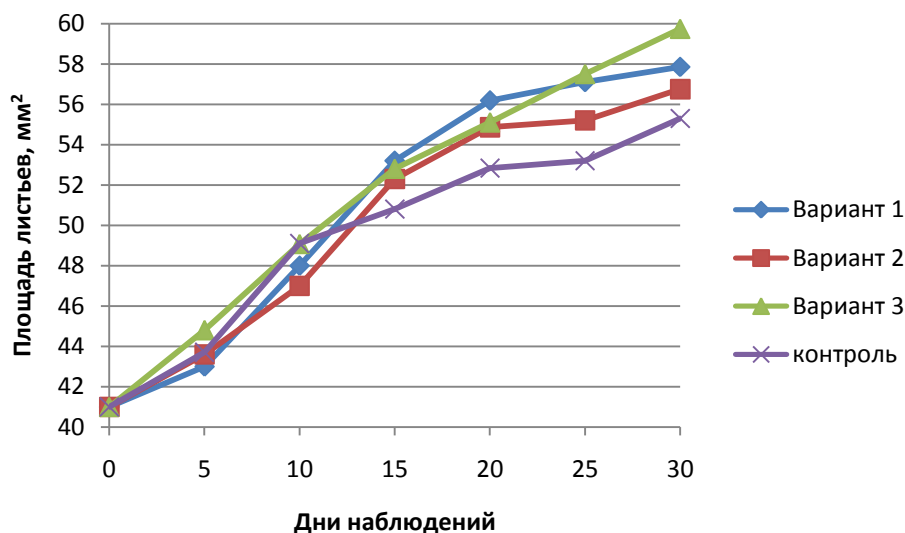


Рисунок 2 - Изменение площади листьев меристемной малины за 30 дней, где Вариант 1 - ОУ: соотношение красного и синего спектров излучения 66%:33%.; схема 2К.1С.; вариант 2 - ОУ с соотношением красного, синего и белого 33%:33%:33%., схема 1К.1С.1Б.; вариант 3 - ОУ с соотношением красного, синего и белого 50%:25%:25%., схема 2К.1С.1Б.; вариант 4 - Светильник марки ЛПО 3017 с люминесцентными лампами мощностью 2x36 Вт (контроль).

Из рисунка 2 видно, что все кривые имеют сложный характер и для получения высокой достоверности условно были разбиты на три участка и обработаны программой электронных таблиц Excel.

При облучении растений облучательной установкой с соотношением светодиодов 2К.1С уравнения имеют вид:

$$S_{2К.1С.} = \begin{cases} 1,75 t^2 - 3,75t + 43,5 \text{ при } 5 < t < 15 \text{ при } R^2 = 1 \\ -1,11 t^2 + 8,53t + 40,58 \text{ при } 15 < t < 25 \text{ при } R^2 = 1 \\ -0,58 t^2 + 1,175t + 55,09 \text{ при } 25 < t < 35 \text{ при } R^2 = 1. \end{cases} \quad (4)$$

При облучении растений облучательной установкой с соотношением светодиодов 1К.1С.1Б уравнения имеют вид:

$$S_{1К.1С.1Б} = \begin{cases} 0,55 t^2 + 0,65t + 40,1 \text{ при } 5 < t < 15 \text{ при } R^2 = 1 \\ -1,37 t^2 + 9,41t + 38,96 \text{ при } 15 < t < 25 \text{ при } R^2 = 1 \\ -0,605 t^2 - 1,475t + 55,73 \text{ при } 25 < t < 35 \text{ при } R^2 = 1. \end{cases} \quad (5)$$

При облучении растений облучательной установкой с соотношением светодиодов 2К.1С.1Б уравнения имеют вид:

$$S_{2к.1с.1б} = \begin{cases} 0,76 t^2 + 0,47t + 0,82_{\text{при}_5} < t < 15_{\text{при}} R^2 = 1 \\ -0,715 t^2 + 5,875t + 43,91_{\text{при}_15} < t < 25_{\text{при}} R^2 = 1 \\ -0,08 t^2 + 2,64t + 52,54_{\text{при}_{25}} < t < 35_{\text{при}R^2} = 1. \end{cases} \quad (6)$$

При облучении растений светильниками ЛПО 3017 с лампами ЛБ 2х36 Вт уравнения имеют вид:

$$S_{\text{конт}} = \begin{cases} 1,35 t^2 - 1,35t + 41_{\text{при}_5} < t < 15_{\text{при}} R^2 = 1 \\ 0,17 t^2 + 1,19t + 47,74_{\text{при}_15} < t < 25_{\text{при}} R^2 = 1 \\ 0,87 t^2 - 2,25t + 54,22_{\text{при}_{25}} < t < 35_{\text{при}R^2} = 1. \end{cases} \quad (7)$$

Анализ данных показал, что при использовании светодиодной облучательной установки с соотношением красного, синего и белого 50%:25%:25% удалось получить наибольшую продуктивность, тем самым увеличить число выращиваемых растений и уменьшить приведенные удельные затраты.

Для анализа сложной системы формирования урожая, состоящей из большого количества переменных и параметров, принят приток той части энергии ОИ, которая потенциально пригодна для преобразования растениями в процессе фотосинтеза, называемый эксэргией ОИ ( $e_c$ ). Эксэргия – максимальная фотосинтезная эффективность монохроматического излучения:

$$e_c = 0,95 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda)_c k(\lambda)_\phi dt d\lambda, \quad (8)$$

где 0,95 - максимальная спектральная эффективность фотосинтеза;  $t_1, t_2$  - период времени;  $\lambda_1, \lambda_2$  - длина волны;  $\varphi(\lambda)_c$  - спектральная плотность источника оптического облучения;  $k(\lambda)_\phi$  - относительная эффективность фотосинтеза, которая одинакова для всех хлорофиллосодержащих растений, поэтому величина ее будет одной и той же для всех видов фотосинтезирующих растений. Энергию излучения целесообразно выражать в Эйнштейнах (Эн). 1 Эн равен энергии, переносимой молярным числом (Na) фотонов с данной длиной волны, т.е.

$$1 \text{ Эн} = Na \cdot h \cdot \nu = E_m, \quad (9)$$

где  $E_m$ - энергия молярного числа фотонов.

Анализ специализированной литературы показал, что оптическое излучение рассматривают в лучистых величинах. Это чисто физические измерения, они не учитывают особенностей воздействия излучения на растения.

Нами предложено ввести понятие величины эффективной облученности для оценки облучательной установки с разной спектральной плотностью излучения. Исходя из этого, предлагается критерий:

$$Q = \frac{0,95 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda)_c k(\lambda)_\phi dt d\lambda}{\text{ПЗ}} \rightarrow \text{max}. \quad (10)$$

При использовании установки с соотношением светодиодов 2К.1С.1Б.

$$Q_{2к.1с.16} = \frac{0,95 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \begin{cases} 0,76 t^2 + 0,47 t + 0,82_{\text{при } 5 < t < 15_{\text{при } R^2 = 1}} \\ -0,715 t^2 + 5,875 t + 43,91_{\text{при } 15 < t < 25_{\text{при } R^2 = 1}} \\ -0,08 t^2 + 2,64 t + 52,54_{\text{при } 25 < t < 35_{\text{при } R^2 = 1}} \\ 1,35 t^2 - 1,35 t + 41_{\text{при } 5 < t < 15_{\text{при } R^2 = 1}} \\ 0,17 t^2 + 1,19 t + 47,74_{\text{при } 15 < t < 25_{\text{при } R^2 = 1}} \\ 0,87 t^2 - 2,25 t + 54,22_{\text{при } 25 < t < 35_{\text{при } R^2 = 1}} \end{cases} k(\lambda)_{\phi} dt d\lambda}{P_{3к.1с.16}} = 0,07 \frac{\text{Эн}}{\text{руб}}. \quad (11)$$

При использовании светильников ЛПО 3017 с лампами ЛБ 2x36 Вт.

$$Q_{\text{контроль}} = \frac{0,95 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \begin{cases} 1,35 t^2 - 1,35 t + 41_{\text{при } 5 < t < 15_{\text{при } R^2 = 1}} \\ 0,17 t^2 + 1,19 t + 47,74_{\text{при } 15 < t < 25_{\text{при } R^2 = 1}} \\ 0,87 t^2 - 2,25 t + 54,22_{\text{при } 25 < t < 35_{\text{при } R^2 = 1}} \\ 1,35 t^2 - 1,35 t + 41_{\text{при } 5 < t < 15_{\text{при } R^2 = 1}} \\ 0,17 t^2 + 1,19 t + 47,74_{\text{при } 15 < t < 25_{\text{при } R^2 = 1}} \\ 0,87 t^2 - 2,25 t + 54,22_{\text{при } 25 < t < 35_{\text{при } R^2 = 1}} \end{cases} k(\lambda)_{\phi} dt d\lambda}{P_{\text{контроль}}} = 0,012 \frac{\text{Эн}}{\text{руб}}. \quad (12)$$

В результате проведенных исследований наименьшие приведенные затраты и наибольшая продуктивность была получена у светодиодной установки с соотношением красного, синего и белого 50%:25%:25%., схема 2К.1С.1Б. Величина эффективной облученности также оказалась максимальной равной 0,07 Эн /руб.

В третьей главе «Обоснование и разработка технических средств на светодиодную систему облучения меристемной малины» представлены технические научно обоснованные решения для конструкции светодиодной облучательной системы.

Для исследования воздействия спектра излучения на меристемные растения культуры малины сорта «Гусар» была создана светодиодная облучательная система (рисунок 3).

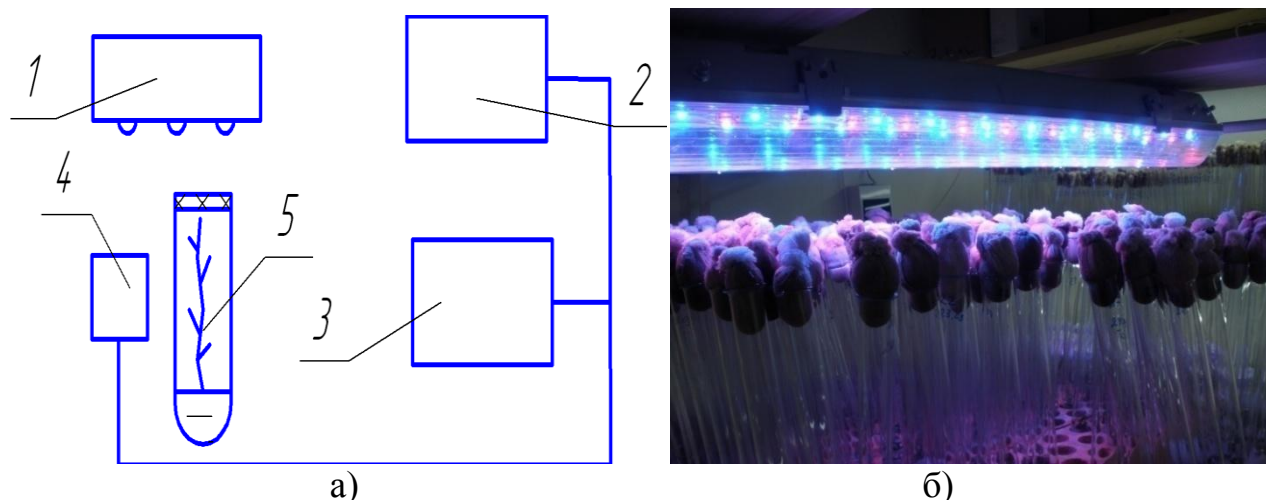


Рисунок 3 - Схема светодиодной облучательной системы (а) и общий вид светодиодной облучательной установки (б),

где 1 - светодиодный светильник; 2 - блок питания; 3 - Zelio logic; 4 - датчик освещенности и цветовой температуры; 5 - пробирка с растением

Предлагаемая система облучения меристемных растений работает следующим образом (рисунок 4).

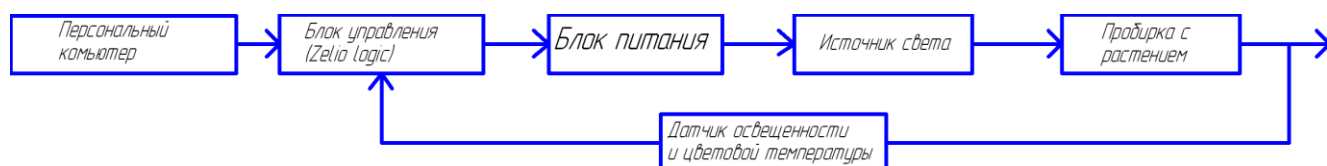


Рисунок 4 - Функциональная схема светодиодной облучательной системы

Сигнал с датчика освещенности и цветовой температуры, размещенного в зоне расположения выращиваемых растений, поступает на Zelio logic, полученное значение сравнивается с заданным и при несовпадении пропорционально корректируется. С Zelio logic заданный сигнал подается на блок питания, который вырабатывает управляющее воздействие на светодиодный светильник, поддерживая тем самым заданный спектральный состав в зоне выращивания растений.

Наиболее важную роль в жизни растений играет видимая часть солнечного излучения, так как многие физиологические процессы в растениях не могут проходить без видимого излучения. Спектральный состав солнечного излучения, прежде всего, зависит от высоты стояния солнца над горизонтом (таблица 1).

Таблица 1 - Спектральный состав солнечного излучения в зависимости от высоты стояния солнца над горизонтом

Области оптического излучения (нм)	Высота солнца, °				
	0,5	10	30	50	90
Ультрафиолетовая (295-380)	0	1	2,7	3,2	4,7
Видимая (380-780)	31,2	41	43,7	43,9	45,3
В том числе:					
фиолетовая (380-430)	0	0,8	3,8	4,5	5,4
синяя (430-490)	0	4,6	7,8	8,2	9
зеленая (490-570)	1,7	5,9	8,8	9,2	9,2
желтая (570-600)	4,1	10	9,8	9,7	10,1
красная (600-780)	25,4	19,7	13,5	12,2	11,5
Инфракрасная (780-340)	68,8	58	54,6	52,3	50
Всего	100	100	100	100	100

Современные светодиоды перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового. Диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет от 610 до 760 нм, в оранжевой – от 590 до 610 нм, в жёлтой – от 570 до 590 нм, в зелёной – от 500 до 570 нм, в голубой – от 450 до 500 нм. Таким образом, составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом.

В условиях защищенного грунта, так же как и в естественной обстановке, поздней осенью, зимой и ранней весной ограничивающим фактором являются интенсивность радиации и длина дня. В этот период для нормального роста и

развития растений необходимо дополнительное искусственное освещение.

Нами разработан алгоритм управления облучательной установкой (рисунок 5) с возможностью регулирования интенсивности светового потока и изменения спектрального состава, за счет регулировки интенсивности излучения светодиодов в различных цветовых диапазонах. Это направление работы – важный шаг в применении светодиодных светильников для повышения энергоэффективности светодиодного освещения и увеличения товарного производства в тепличном хозяйстве. Используя светодиоды, можно при меньших затратах электроэнергии подавать растениям свет с необходимым диапазоном длин волн.

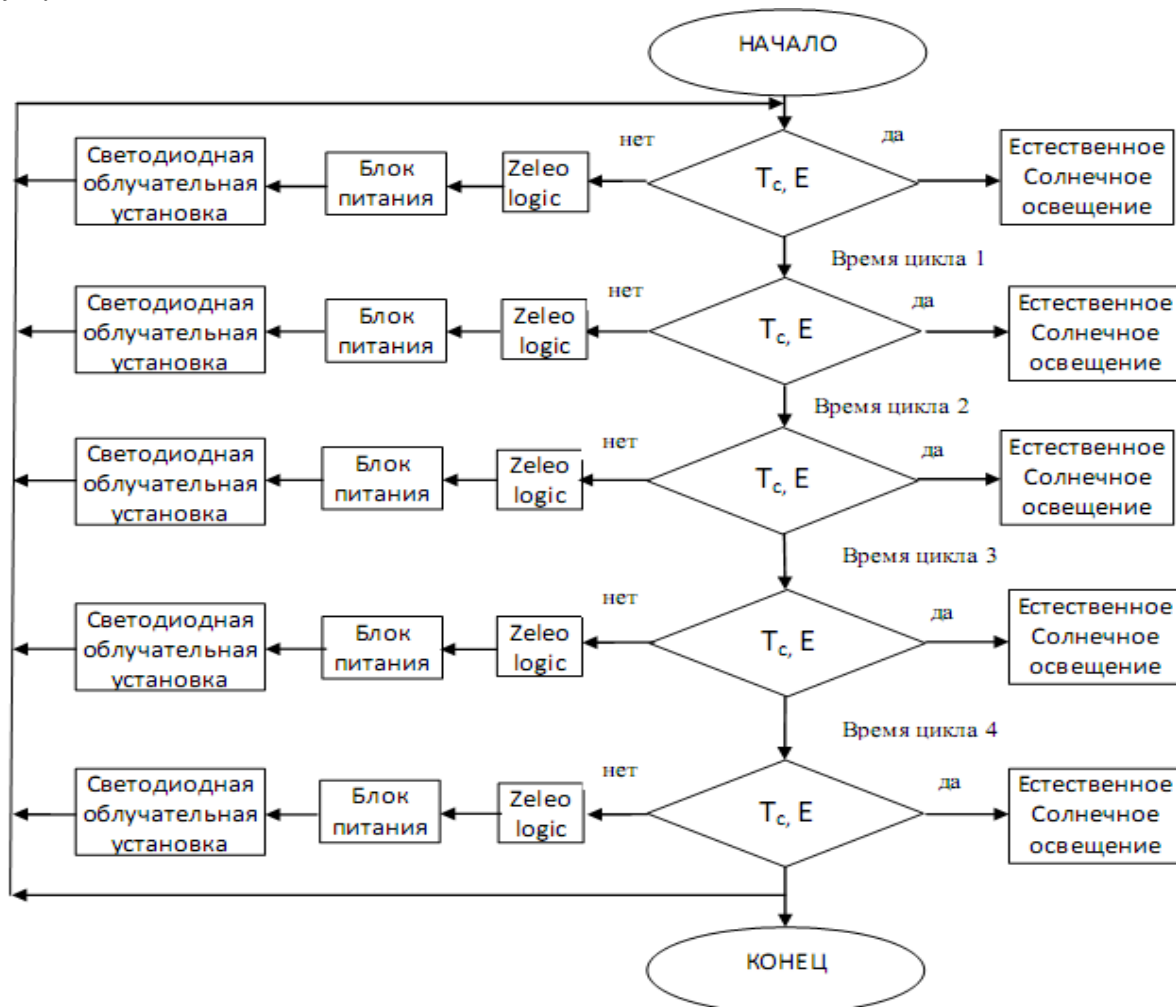


Рисунок 5 - Алгоритм управления светодиодной облучательной установкой

Предлагаемый нами алгоритм управления позволяет поддерживать заданный спектральный состав излучения и освещенность, которые приближены к видимой части солнечного спектра.

Разработанный алгоритм управления реализован с помощью программируемых логических контроллеров. На основании выше приведенного алгоритма работы системы управления освещенностью и спектральным составом была разработана программа в языке FBD для программируемых логических контроллеров представленная в виде блоков на рисунке 6.

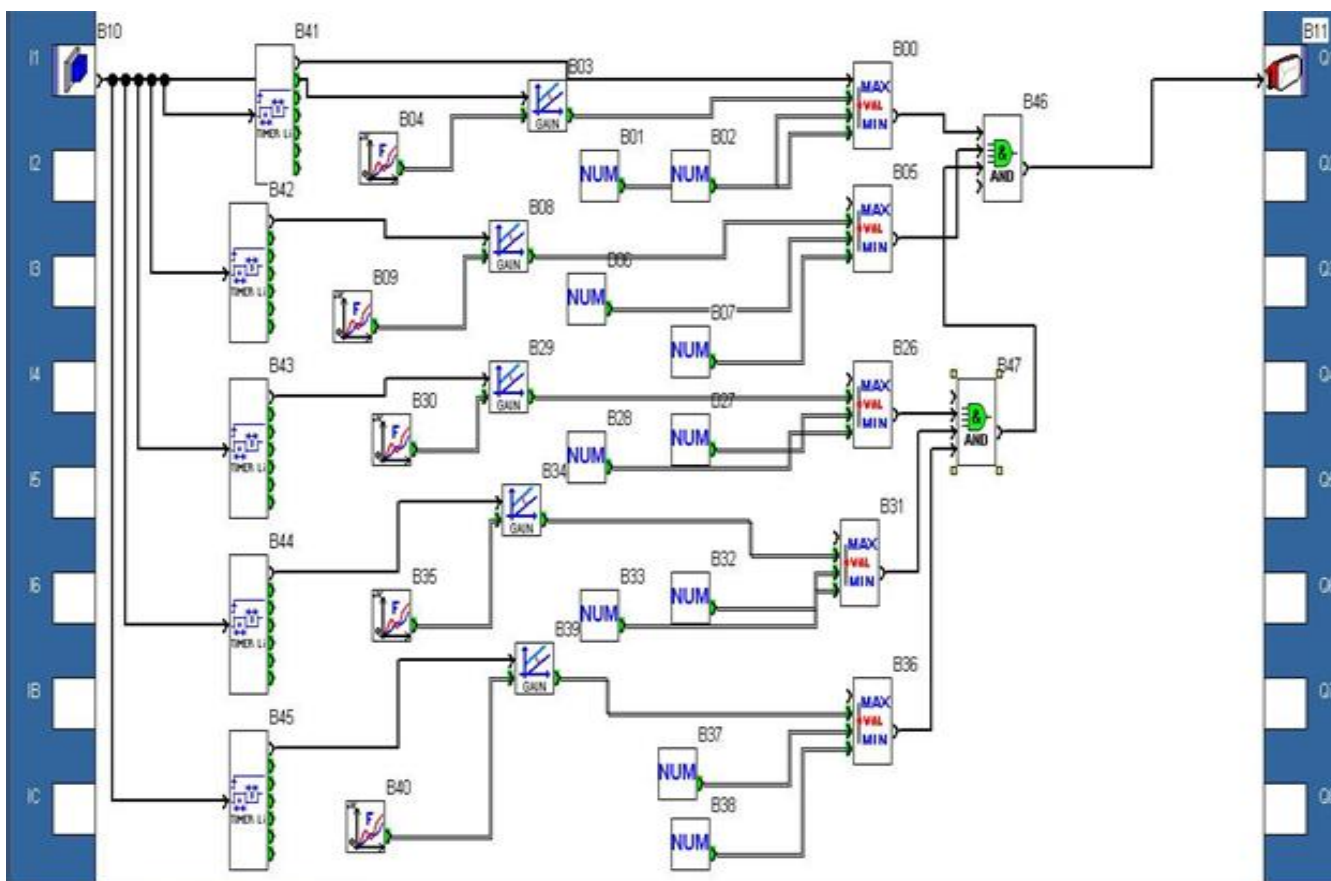


Рисунок 6 - Программа для управления освещенностью и спектральным составом в языке программирования FBD

Разработанная программа включает в себя 5 режимов освещенности и спектрального состава, которые поддерживаются в течение дня в технологии выращивания растений.

В четвертой главе «**Результаты лабораторных и производственных испытаний**» представлены результаты двухлетних исследований по воздействию светодиодного облучения на растения. Производственные испытания проходили в меристемной лаборатории ГНУ УдНИИСХ с. Первомайский, экспериментальным растением была взята культура малины сорта «Гусар».

Сравнивались четыре варианта: светодиодная облучательная установка, с соотношением красного и синего излучения 66%:33%., (схема 2К.1С), светодиодная облучательная установка с соотношением красного, синего и белого излучения 33%:33%:33%., (схема 1К.1С.1Б.), светодиодная облучательная установка с соотношением красного, синего и белого излучения 50%:25%:25%., (схема 2К.1С.1Б.), светильник марки ЛПО 3017 с люминесцентными лампами мощностью 2x36 Вт, контроль.

В меристемной лаборатории поддерживались следующие параметры микроклимата: температура воздуха  $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , влажность воздуха 80%, фотопериод - 16 часов в сутки. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Изменение площади листьев меристемной малины при различных способах облучения, мм<sup>2</sup>

Виды облучения	Пятидневки						
	0	1	2	3	4	5	6
2К.1С.	41,5±1,2	43±1,45	48±1,62	53,2±1,48	56,18±1,38	57,1±1,67	57,85±1,49
1К.1С.1Б.	41,3±1,17	43,6±1,51	47±1,51	52,3±1,63	54,86±1,35	55,2±1,73	56,75±1,62
2К.1С.1Б.	42,05±1,9	44,8±1,43	49,07±1,43	52,8±1,52	55,1±1,48	57,5±1,75	59,74±1,68
контроль	41±1,85	43,7±1,48	49,1±1,57	50,8±1,46	52,84±1,52	53,2±1,49	55,3±1,8
дни	0	5	10	15	20	25	30

Также были получены данные о длине стебля исследуемых растений, количестве листьев и степени развития корневой системы в баллах (таблица 3).

Таблица 3 - Результаты опытов по облучению меристемной малины

Характеристики растений	Способ облучения			
	1К.1С.1Б.	2К.1С.1Б.	2К.1С.	контроль
Длина стебля, см.	4,9	4,8	4,75	5,1
Количество листьев, шт.	7,45	7,5	5,85	5,57
Степень развития корневой системы, в баллах	2,7	2,7	2,25	2,06

Из таблиц 2 и 3 видно, что при облучении светодиодной облучательной установкой с соотношением красного, синего и белого излучения 2:1:1 меристемной малины сорта «Гусар» была получена наиболее высокая продуктивность, а срок деления клеток (пролиферации) удалось сократить на 7 дней.

**В пятой главе «Технико-экономическая оценка эффективности»** показана технико-экономическая оценка проведенных мероприятий.

Таблица 4 - Оценка технико-экономической эффективности замены ламп ЛПО 3017 на светодиодный светильник

Показатель	Размерность	Обозначение	Вариант	
			Базовый	Проектир
Количество ламп и светодиодных матриц	шт.	N	30,00	15,00
Цена одной ОУ	руб.	Цоу	1 000,00	3 500,00
Цена одной лампы и светодиодной матрицы	руб.	Цл	40,00	1 000,00
Объем производимой продукции	пробирка	A	3 600,00	3 600,00
Мощность одной лампы	кВт	Рл	0,07	0,04
Коэффициент потерь мощности в ПРА		Кпра	1,20	1,00
Стоимость 1 кВт.ч электроэнергии	руб/кВт.ч	СкВт	2,56	2,56
Коэффициент, учит.расходы на монтаж		Км	0,20	0,20
Коэффициент, учит.транспорт.расходы		Кт	0,12	0,12
Срок службы лампы	час.	Тл	13 000,00	50 000,00
Срок службы арматуры	час.	Тар	8 760,00	8 760,00
Время работы ОУ в году	час.	Траб	4 800,00	4 800,00
Зарплата электромонтера	руб.	ЗП	10 000,00	10 000,00
Нормат.коэфф.эффект. капиталовложений		Ен	0,15	0,15
Цена продукции	руб./проб	Цд	100	100,00

Таблица 5- Данные расчета экономической эффективности

Показатель	Размерность	Обозначение	Вариант	
			Базовый	Проектируемый
Капитальные вложения	руб.	К	39 600	69 300
Эксплуатационные затраты	руб.	ЭЗ	193 644	166 624
Стоимость потребления электроэнергии	руб.	Сэ	31 850	6 636
Амортизационные отчисления	руб.	Са		
на лампы	руб.	Сал	11	35
на арматуру	руб.	Саарм	19 679	16 932
Затраты на ЗП электромонтера	руб.	Сзп	120 000	120 000
Затраты на текущий ремонт, 12,5%	руб.	Стр	4 950	8 663
Прочие затраты, 10%	руб.	Спр	17 154	14 360
Приведенные на затраты	руб.	ПЗ	199 584	177 019
Урожайность, пробирки	проб/год	У	1 666	2 084
Приведенные затраты на единицу прод.	руб./проб		120	85
Годовой экономический эффект	руб.	Гээ		22 564,55
Срок окупаемости	год	Т		3,07
Фактический коэффициент окупаемости		Еф		0,326
Снижение затрат на единицу продукции	руб./проб			35

В результате проведенных технико-экономических расчетов были определены следующие параметры: при использовании метода светодиодного облучения в сравнении лампами ЛПО-3017 меристемных растений малины приведенные затраты уменьшились на 22 564 рубля, затраты на производство одной пробирки сократились на 35 рублей, срок окупаемости светодиодной облучательной установки составил 3,07 года.

#### Общие выводы по работе

1. Анализ литературных источников показал, что для повышения эффективности облучения растений культуры малины сорта «Гусар», необходимо создание энергосберегающей системы облучения на основе светодиодов.
2. Разработанная математическая модель позволяет обосновать контролируемые и регулируемые параметры процесса функционирования системы, и определить наиболее эффективный спектральный состав излучения источника облучения.
3. Разработанный алгоритм функционирования и программа управления светодиодной облучательной установки, поддерживающие требуемый спектральный состав облучения, позволяют корректировать спектр излучения в пределах от 380 до 780 нм.
4. Предложена методика определения величины эффективной облученности, которая позволяет оценить облучательные установки с разной спектральной плотностью излучения на основе эксэргии.
5. Разработанная светодиодная облучательная установка, обеспечивающая требуемый спектр излучения в соотношении красного, синего и белого 50%: 25%: 25%, с освещенностью 6 клк, позволяет сократить потребление электрической энергии на 50% и повысить продуктивность меристемной малины сорта «Гусар» на 20%.



6. Годовой экономический эффект при использовании светодиодной облучательной установки составил 22 564 рубля при сроке окупаемости 3,07 года.

### **Основные публикации по теме диссертационной работы:**

#### **а) публикации в рецензируемых изданиях**

1. Валеев, Р.А. Использование светодиодных осветительных установок (LED) при выращивании меристемных растений / Валеев Р.А., Кондратьева Н.П. Кондратьева М.Г. // Известия Международной академии аграрного образования (МАО). 2012. Выпуск № 14. Том 2. – С. 373-375.
2. Валеев, Р.А. Светодиодные облучательные установки для меристемных растений / Валеев Р.А., Кондратьева Н.П., Кондратьев Р.Г. // Известия Международной академии аграрного образования (МАО). 2013. Выпуск №16. Том 1. – С. 23-25.
3. Патент РФ №127286 на полезную модель, МПК7: А01G 9/20. Светодиодная система для облучения меристемных растений / Валеев Р.А., Юран С.И., Кондратьева Н.П., Владыкин И.Р. Логинов В.В., Кондратьев Р.Г., Маркова М.Г. / заявка на изобретение № 2012130687/13 от 17.07.2012. – Оpubл. 27.04.2013. ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА.

#### **б) Публикации в других изданиях:**

1. Валеев, Р.А. Светодиодный светильник для меристемных растений / Валеев Р.А., Кондратьева Н.П. //Научно-информационное издание «Наука Удмуртии». 2012. Выпуск № 4.–С. 24-26.
2. Валеев, Р.А. Результаты опытов по влиянию спектра излучения светодиодов на меристемные растения / Валеев Р.А., Кондратьева Н.П. // Материалы 8-й Международной научно-практической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 2 – Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2012. – С. 212-218.
3. Валеев, Р.А. Светодиодные облучательные установки для теплиц Удмуртской Республики / Валеев Р.А., Кондратьева Н.П. // Вестник Ижевской ГСХА. №1(30). 2012. – С. 38-41.
4. Валеев, Р.А. Лампы и светильники для теплиц Удмуртской Республики / Валеев Р.А., Кондратьева Н.П. // Вестник Ижевской ГСХА. №1(34). 2013. – С. 73-75
5. Валеев, Р.А. Возможность использования светодиодных rgb-технологий в тепличных комплексах / Валеев Р.А., Кондратьева Н.П. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука – инновационному развитию АПК в современных условиях» Том 2. Ижевск: ФГБОУ ИжГСХА, 2013. – С.44-46.
6. Валеев, Р.А. Анализ солнечного спектра / Валеев Р.А., Кондратьева Н.П. // Материалы Международная научно-практическая конференция «Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы» Том 2. – Ижевск: ФГБОУ ИжГСХА, 2013. – С. 50-53.

7. Валеев, Р.А. Возможность регулирования спектрального состава светодиодных облучательных установок при помощи микроконтроллеров / Валеев Р.А., Кондратьева Н.П. // Материалы Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы». Том 2. Ижевск: ФГБОУ ИжГСХА, 2013. – С. 53-56.
8. Валеев Р.А. Обоснование необходимости эксэргического анализа преобразований энергии в сельскохозяйственном производстве / Валеев Р.А., Кондратьева Н.П. // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. №1. – С.12-13.

Подписано в печать 01.03.2014 г.

Бумага офсетная Гарнитура Times New Roman Формат 60x84/16

Объем 1 печ.л. Заказ № 0182-10.Тираж 100 экз.

Отпечатано ООО «Знак Ижевск»

428004, УР, г.Ижевск, ул.Советская, 22а, тел. (3412) 666-242