

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ»

На правах рукописи

ВАЛЕЕВ РУСЛАН АЛЬФРЕДОВИЧ

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

Специальность 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук, профессор
Кондратьева Н.П.

Ижевск 2014

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ И ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	12
1.1 Тенденция производства и потребления культуры малины	12
1.1.2 Существующие технологии микроклонального размножения	17
1.1.3 Влияние светового излучения на морфогенез растений в культуре меристемных растений	21
1.1.4 Существующие учения о фотосинтезе.....	23
1.1.5 Фотосинтетическая активная радиация, спектры, и их влияния на растения	28
1.2 Энергетические свойства светодиодов	36
1.3 Существующие облучательные установки.....	51
Выводы и задачи исследований.....	56
2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНОЙ МАЛИНЫ СОРТА «ГУСАР» ПО МИНИМУМУ ПРИВЕДЕННЫХ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ	58
2.1 Фотобиологическое действие оптического излучения	58
2.2 Моделирование процессов воздействия энергии оптического излучения на растения защищенного грунта по критерию минимума приведенных затрат.....	60
2.3 Необходимость эксэнергетического анализа преобразований энергии в сельскохозяйственном производстве	63
Выводы	74
3. ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА СВЕТОДИОДНУЮ СИСТЕМУ ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНОЙ МАЛИНЫ	75
3.1 Влияние температуры на характеристики светодиодов.....	75
3.1.1 Влияние температуры р-п перехода на световой поток.....	78
3.2 Актуальность применения программируемых логических контроллеров при автоматизации технологических процессов.....	83
3.3 Возможность применения светодиодов для облучения растений	90

3.4	Разработка светодиодной системы облучения для меристемных растений	93
3.5	Обоснование предлагаемой методики облучения для меристемных растений	96
3.5	Разработка алгоритма управления спектрального состава и уровня освещенности светодиодной облучательной установки	105
	Выводы	109
4.РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ		
		111
4.1.	Лабораторные эксперименты 2010 года	111
4.2.	Лабораторные эксперименты 2011-2013 года	114
	Выводы	119
5.ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ МАЛИНЫ		
		120
	Общие выводы по работе	124
	Литература	125
	Список иллюстрированного материала 1	139
	Список иллюстрированного материала 2	140
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1	142
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2	146
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3	147

ВВЕДЕНИЕ

Главное предназначение системы производства посадочного материала – это создание долголетних, ежегодно плодоносящих, удобных в эксплуатации, быстро окупающихся и стабильно приносящих прибыль, адаптированных к местным природно-климатическим и рыночным условиям, насаждений плодово-ягодных культур. Потребность садоводства России в посадочном материале, который отвечает современным стандартам, в последние 10...15 лет не удовлетворяется, что объясняется неблагоприятными экологическими факторами среды, а также жесткими экономическими реформами [7]. Кроме того, в последнее время возросла потребность в оздоровленном посадочном материале, что связано с широким распространением вирусных, фитоплазменных и грибных заболеваний. В полевых условиях не существует эффективных приемов массового оздоровления многолетних растений. Это ставит задачи получения оздоровленного посадочного материала плодовых и ягодных культур в достаточном количестве, что связано с высокими технологиями оздоровления и тестирования. В настоящее время в ряде стран Европы и Америки уже невозможно представить систему производства оздоровленного посадочного материала без использования методов культуры изолированных тканей [3].

Технологии клонального микроразмножения *in vitro* на лабораторном уровне разработаны в мире более чем для 2400 видов растений, в числе которых и культура малины. Однако лабораторий, использующих эти технологии, относительно немного. Это связано с тем, что не все, разработанные в сугубо лабораторных условиях методики, применимы непосредственно в производстве. Часто требуется решение отдельных задач для конкретных видов растений. Немаловажным является и вопрос экономической эффективности.

Малина – скороплодная и урожайная культура, ее плоды обладают уникальными питательными и лечебно-диетическими свойствами. Малина меньше других ягодных культур накапливает в плодах наиболее опасные экотоксиканты

(тяжелые металлы, радионуклеиды, гербициды и др.), что особенно важно для районов с неблагоприятной экологией. За последние годы научно-исследовательскими учреждениями России создан ряд новых высокопродуктивных сортов малины красной, максимально отвечающих современным требованиям, например, сорт «Гусар» [6], который выведен на Кокинском опорном пункте ВСТИСП, зимостойкий, урожайный, крупноплодный, с плодами десертного вкуса. Он отличается засухоустойчивостью, слабо поражается паутинным и малинным клещами, грибными болезнями, обладает низкой побегообразовательной способностью, способен продуцировать до 3...5 кг ягод с куста. Однако реализовать такую урожайность малины в сложных природно-климатических условиях Удмуртии удается редко. В связи с этим актуальной задачей является выращивание сортов с надежной экологической адаптацией, высоким уровнем хозяйственно-ценных признаков, пригодных к низкозатратным технологиям возделывания [4].

Анализ специализированной литературы показывает, что к низкозатратным технологиям возделывания пригодны современные сорта ремонтантного типа, которые обладают высокой урожайностью, крупноплодностью, экологической адаптивностью. Это - уникальные ягодные растения, способные в отличие от обычных растений малины плодоносить на однолетних побегах. Вместе с этим многие ремонтантные формы малины обладают низким потенциалом вегетативного размножения по сравнению с летними сортами, что затрудняет их размножение и использование. Решить эту задачу ускоренного размножения ценного материала стало возможным благодаря применению метода клонального микроразмножения [8]. По сравнению с традиционными способами размножения малины - корневыми отпрысками, корневыми и зелеными черенками, этот способ имеет целый ряд несомненных преимуществ:

- высокий коэффициент размножения;
- возможность оздоровления посадочного материала от ряда вредоносных микроорганизмов, вирусных инфекций;
- получение генетически однородных корнесобственных растений [10].

За последние десятилетия в нашей стране и за рубежом были проведены многочисленные исследования по совершенствованию метода клонального микроразмножения с целью производства высококачественного посадочного материала. Однако биологические особенности ремонтантных форм малины, связанные с их сложным межвидовым происхождением, стали причиной низкой эффективности предлагаемых биотехнологических методов размножения малины на некоторых этапах культивирования *in vitro*. В связи с этим возникла необходимость совершенствования процесса клонального микроразмножения новых ремонтантных форм малины.

Внедрение новых ремонтантных сортов малины в отечественное садоводство, несомненно, будет способствовать поднятию уровня круглогодичного потребления ягодной продукции – важнейшего условия повышения качества и продолжительности жизни населения нашей страны.

В Удмуртской Республике посадочный материал также выращивается в специализированных меристемных лабораториях. Процесс выращивания меристемы достаточно трудоемкий и энергоемкий. В связи с резким удорожанием электрической энергии в диссертационной работе решается задача научного обоснования разработки технических решений обеспечивающих оптимизацию спектрального состава облучателей для меристемных растений культуры малины, способствующих увеличению выхода продукции и снижению энергетических затрат.

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. Получе-

ние 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, V. 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/м², 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 про-

граммой № 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 установкой.
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» Минобразования и науки 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.

1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ И ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1.1 Тенденция производства и потребления культуры малины

Наиболее подробно история культуры малины изложена в отечественной литературе в работах ученых Р. П. Бологовской М. А. Розановой, зарубежной литературе в работах ученых Х. П. Хедрик, Дж. Ш. Шумейкер, Д. К. Оурецки и др [23]. Малина в диком состоянии встречается очень часто, она была известна у древних римлян уже в III веке до нашей эры. Древние греки и римляне собирали ягоды дикорастущей малины в лесах, используя их как лакомство и лечебное средство. В тех местах настойка из цветов малины считалась одним из наиболее верных противоядий от укусов змей и скорпионов [18].

В I веке нашей эры Плиний писал, что дикая малина ведет свою родословную с горы Ида (о. Крит), что, скорее всего, и побудило К. Линнея дать этому растению ботаническое название «*Rubus idaeus*». Одно из первых письменных упоминаний о культуре находим у Катона (III век до н.э.). Римский ученый Палладиус уже в IV веке нашей эры называл малину садовым растением – патриции возделывали ее в своих садах за городом, на дачах и при городских домах [33].

Первые сведения о культуре малины в Европе встречаем в середине XVI века. В 1548 году английский ботаник William Turner писал: «она растет в некоторых садах в Англии». В 1629 году в Англии одним из первых Паркинсон в своей работе, посвященной малине, приводит сведения о сортах этой культуры с красными и белыми ягодами. В конце XVIII века появляются первые сведения о ремонтантных сортах красной и белой малины [16].

В Германии культурная малина появилась в XVI веке, когда она была пере-

несена монахами из лесов в монастырские сады. Клузиус, отмечая, что малина начала культивироваться в средние века, пишет, что к началу XVII века в культуре существовали уже как красные, так и белые сорта [34]. Вместе с тем более широко культура малины начала развиваться в XVIII веке благодаря работам французских, английских и американских садоводов. Первый европейский сорт малины, под названием «Красная антверпенская», был выведен в 1799 году в Голландии. Он получил широкое распространение в странах Европы, был известен в Америке в 1806 году. Другой сорт – «Дважды плодоносящая», получен во Франции в 1806 году. Двадцать лет спустя в каталоге сортов малины, опубликованном в Лондоне, уже находим 25 названий сортов этой культуры [22].

В Америке одним из первых, кто начал торговать растениями малины, был Уильям Принц. В 1771 году в штате Нью-Йорк, США, он приступил к размножению первых сортов культуры, опубликовал ряд работ с подробными сведениями о малине [30]. В 1790 году в продаже было уже четыре сорта, два европейского происхождения, два от американских видов. При создании большинства сортов американской селекции была использована широко американская щетинистая малина «*Rubus strigosus*», главным образом за ее высокую зимостойкость. Вместе с тем садоводы США в начальный период отбирали среди растений, выращенных из привезенных семян, проводили скрещивания между наиболее перспективными формами. Таким образом, и европейские виды красной малины достаточно широко участвовали в выведении новых сортов малины в Америке. Признаки малины обыкновенной «*Rubus idaeus*», проявляются у большинства современных американских сортов, что объясняется в первую очередь широким проникновением европейских сортов красной малины на американский континент [1].

Популярность малины в Древней Руси нашла свое отражение в содержании былин, сказаний, преданий. Ее было много в лесах вокруг поселений, она была одним из излюбленных ягодных растений, в густых малинниках нередко скрывались любители ее ягод медведи. В то же время есть сведения, относящиеся к XII веку, по которым основатель Москвы суздальский князь Юрий Долгорукий заложил большое количество садов, среди культур в которых упоминалась и малина.

В то время малина широко использовалась в народе как потогонное средство, горячий напиток из ягод малины и клюквы, «взварец», хорошо утолял жажду [28].

Как отмечает Ф.Х. Бахтеев [36], в XVII веке в вотчине боярина Романова (село Измайлово) под Москвой был заложен большой плодово-ягодный «просяной сад», где среди других ягодных кустарников росла и малина, а в другом саду в том же Измайлово – «измайловском островке» – вдоль ограды сада были высажены кусты малины и смородины. Тогда же в Москве были заложены Верхний и Нижний набережные сады, в которых среди деревьев и кустарников разнообразных пород было найдено место и малине. Так, по описи 1702 года в Нижнем саду, кроме других садовых пород, было отмечено 10 кустов малины [33].

Сведения о сортах малины в России впервые появились в начале XIX века. В 1803 году Герман Цигрой опубликовал в Риге «Подробное руководство к заведению плодовых деревьев для нашего северного климата».

В XIX веке культура малины в России получает широкое развитие, растет количество сортов, возделываемых в стране. Так, если в 1831 году в литературе находим описание только 12 сортов малины, то в 1860 году описывают уже 150 сортов [23]. В это время здесь широко возделываются местные (народные, например, Усанка), европейские (Антверпенская красная, Английская, Дважды плодоносящая и др.), американские сорта (Мальборо, Латам, Кутберт).

В настоящее время современная культура малины имеет достаточно широкое распространение в большинстве стран Европы, в США, Канаде. В Северной Америке, на Аляске, она доходит до 64° северной широты, на севере Европы – до 61° северной широты.

В мире, по статистике Продовольственной и сельскохозяйственной организации при ООН к началу 21 – го века выращивалось около 300 тыс. т. ягод малины в год [23]. Основное товарное производство ягод сосредоточено в странах Западной Европы (Сербия, Польша, Германия, Венгрия, Великобритания и др.) – 48,4 %; 39,6 % – приходится на долю России, Белоруссии, Украины и других стран бывшего СССР; 10,4 % – ягод малины производят США и Канада; 1,6 % – Новая Зеландия, Австралия, Аргентина и Чили [11].

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. Органические кислоты малины (яблочная, лимонная, винная и другие) способствуют лучшему перевариванию пищи, особенно полезны при низкой кислотности желудочного сока. Кроме того, они губительно действуют на микроорганизмы, вызывающие кишечные инфекции. Особое место среди органических кислот малины занимает салициловая кислота. Она обладает бактерицидными свойствами и используется как потогонное, жаропонижающее и обезболивающее средство. Потогонные свойства малины полезны больным гипертонией, так как с потом удаляется значительное количество солей и снижается артериальное давление. Ягоды малины богаты клетчаткой (4,8...5,1%), которая стимулирует работу кишечника и способствует выведению холестерина из организма. Благоприятно влияют на пищеварение и пектиновые вещества. 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 В₆, В₁₂, 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) [25].

Благодаря богатому биохимическому составу плоды малины успешно используются для профилактики и лечения сердечно-сосудистых, желудочных, простудных и других заболеваний. Они являются хорошим отрезвляющим средством при алкогольном опьянении. В ягодах малины содержатся вещества, регулирующие функции щитовидной и предстательной желез. Восточная медицина издавна использует малину при лечении бесплодия, полового бессилия, неврастении и других болезней. В плодах малины обнаружено особое лечебное вещество – бета-ситостерин, которое предупреждает отложение холестерина в стенках сосудов и, следовательно, возникновение склероза. По содержанию бета-ситостерина малина уступает только плодам облепихи. Доказано высокое крове-

творное влияние ее ягод, предупреждающее лейкемию [71].

Выявлены высокая антиокислительная способность и антиканцерогенные свойства плодов малины, что связано с высоким содержанием в них фенолов и флавоноидов [43]. Установлено, что по уровню антиоксидантов (антоцианов, фенолов, элладжиковой кислоты) малина превосходит большинство плодовых и ягодных культур, включая чернику, бруснику и голубику, получивших признание на мировом рынке именно за эти свои свойства [67].

Ягоды малины служат ценным сырьем для пищевой и кондитерской промышленности. Из них готовят высококачественные варенье, джемы, компоты, натуральные соки, наливки. Ягоды широко используют для сушки и замораживания. Покупательский спрос на ягоды малины практически не ограничен [83].

Целебными свойствами обладают не только ягоды малины, но и другие органы растения (листья, соцветия, стебель, корни). В листьях малины, например, содержание витамина С в 8...10 раз выше, чем в ягодах. Не случайно, в народной медицине широко используются различные отвары из листьев, соцветий и других частей растений при лечении ряда заболеваний [32].

Малина – отличное медоносное растение. По нектаропродуктивности она превосходит все ягодные культуры. В каждой цветке малины накапливается 16...28 мг нектара, что обеспечивает получение до 100...120 кг мёда с 1 га насаждений. Закладывая плантации малины сортами с разным сроком созревания урожая, можно обеспечить медосбор в течение 2,5...3 месяцев, в том числе и поздне-осенний период на ремонтантных растениях [43].

Отечественными селекционерами достигнуты крупные успехи в создании новых сортов малины, лучшие из которых способны продуцировать до 3...5 кг ягод с куста (30...35 т/га). На Кокинском опорном пункте Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства (Брянская область) под научным руководством академика Россельхозакадемии И.В. Казакова разработано принципиально новое направление в отечественной селекции малины – создание сортов ремонтантного типа, плодоносящих на однолетних побегах в конце лета – начале осени. Здесь, начиная с 70-х годов прошлого столетия

сделана хозяйственно-биологическая и селекционная оценка более 300 межвидовых ремонтантных форм, и на этой генетической основе получено свыше 250 тысяч сеянцев от контролируемых скрещиваний, свободного опыления и инбридинга. Практическим результатом выполненных исследований является создание более 20 первых отечественных сортов малины ремонтантного типа, из которых 8 включены в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию, остальные проходят государственное и производственное испытание. Сорта отличаются крупноплодностью (до 8...12 г), высокой и стабильной урожайностью (до 20...25 т/га), экологической адаптивностью, технология их выращивания низкозатратна и экологически безопасна. Возделывание ремонтантных сортов с ежегодным подзимним скашиванием надземной части растений и полным отказом от использования пестицидов обеспечивает им экологотехнологическую и экономическую привлекательность [78].

Внедрение новых ремонтантных сортов малины в отечественное садоводство, несомненно, будет способствовать поднятию уровня круглогодичного потребления ягодной продукции – важнейшего условия повышения качества и продолжительности жизни населения нашей страны.

1.1.2 Существующие технологии микрклонального размножения

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 [87].

Применение биотехнологических приемов позволяет:

- получить за короткий срок и в достаточном количестве посадочный материал, защищенный от грибных, фитоплазменных и вирусных заболеваний;
- быстро размножить ценный клон растения (сорт);
- работать в лабораторных условиях круглый год и планировать выпуск растений к определенному сроку;
- получить в большом количестве вегетативное потомство трудноразмножаемых в обычных условиях сортов и форм растений;
- длительно сохранять растительный материал в условиях *in vitro*, а также обменивать его в международном масштабе без риска заражения карантинными вредителями и болезнями;
- получать растения с измененной ploидностью и трансгенные растения.

Процесс клонального микроразмножения растений состоит из следующих этапов [23]:

- введение в стерильную культуру;
- собственно размножение методом культуры тканей в асептических условиях;
- укоренение растений в условиях *in vitro*;
- адаптация растений к нестерильным условиям в теплице с дальнейшим доращиванием в теплицах или открытом грунте.

Изолированные меристемы выращивают в стерильных условиях на ряде последовательно меняющихся питательных сред. В результате получают растения с корневой системой, пригодные для посадки в почву.

В нашей стране метод разработан и успешно применяется, но сама технология культивирования нуждается в усовершенствовании. Одним из основных элементов в современных интенсивных технологиях возделывания важных садовых культур, является применение регуляторов роста растений. Наряду с другими факторами оптимизации, огромная роль принадлежит световым воздействиям, роль которых в процессе производства безвирусного посадочного материала изу-

чена недостаточно [23]. Использование новых существующих приемов световой биотехнологии внесет ценный вклад в совершенствование процесса получения оздоровленного посадочного материала через культуру изолированных тканей и органов.

Одним из перспективных методов микроклонального размножения является меристемная технология. Меристема (от греч. *meristos* – «делимый») – ткань растений, в течение всей жизни сохраняющая способность к образованию новых клеток. За счет меристемы деревья и цветы растут, образуют новые листья, стебли, корни, цветки. В процессе роста меристемная ткань в определенной степени сохраняется в некоторых частях растения: в корнях, в узлах побега, в почках, в основаниях черешков листьев и т. д. Меристемная технология предполагает размножение и выращивание растений *in vitro*: «спящая почка» растения обрабатывается антибактериальными и противовирусными препаратами и проращивается в пробирке на субстрате из удобрений. Этот первый этап («введение») — самый сложный: на то, чтобы прорастить «маточную» почку, может уйти несколько лет [45].

У материнского растения берется кусочек подходящей растительной ткани, обладающей способностью к интенсивному делению клеток. В большинстве случаев речь идет о способных к росту тканях точек роста побегов и корней. Эти меристемы дезинфицируют, очищая от грибков и бактерий, а затем переносят в стерильную питательную среду.

Важнейшими компонентами питательного раствора являются вода, минеральные вещества, органические субстанции, а также определенные витамины и растительные гормоны. С помощью агар-агара (вещество, добываемое из красных водорослей), питательной среде придается желеобразное состояние, так что меристемы не погружаются на дно. Теперь частички ткани развиваются благодаря делению клеток, и образуется скопление не определяемых как каллус клеток (наплыв). Эти ткани можно выращивать далее, снова перенеся их в новую питательную среду.

Если в питательной среде содержится растительный гормон, способствующий образованию ростков, то из этих размноженных вегетативным путем отдельных клеток начинают развиваться очень маленькие растения, которые по достижении соответствующего размера переносят в новую питательную среду для стимуляции формирования корней. Частично используют питательную среду, содержащую разнообразные гормоны, с помощью которых сразу формируются побеги и корневая система.

Как только растения становятся достаточно большими, их разделяют, используя снова, либо вынимают из мензурок или пробирок, и из стерильной среды переводят в оранжереи, где продолжают их культивацию до товарного размера (рисунок 1.1). Большой проблемой выращивания тканей остается инфицирование такими микроорганизмами, как бактерии и грибки, которые быстро разрушают культуры.

Меристемным способом не производятся редкие или дорогостоящие виды, а также обычные растения, которые легко размножить простым черенкованием. Помимо упомянутых причин общего характера производителями дополнительно называется более компактный и кустистый габитус меристемных растений по сравнению с обычными методами выращивания, отчего меристемные растения пользуются лучшим спросом.

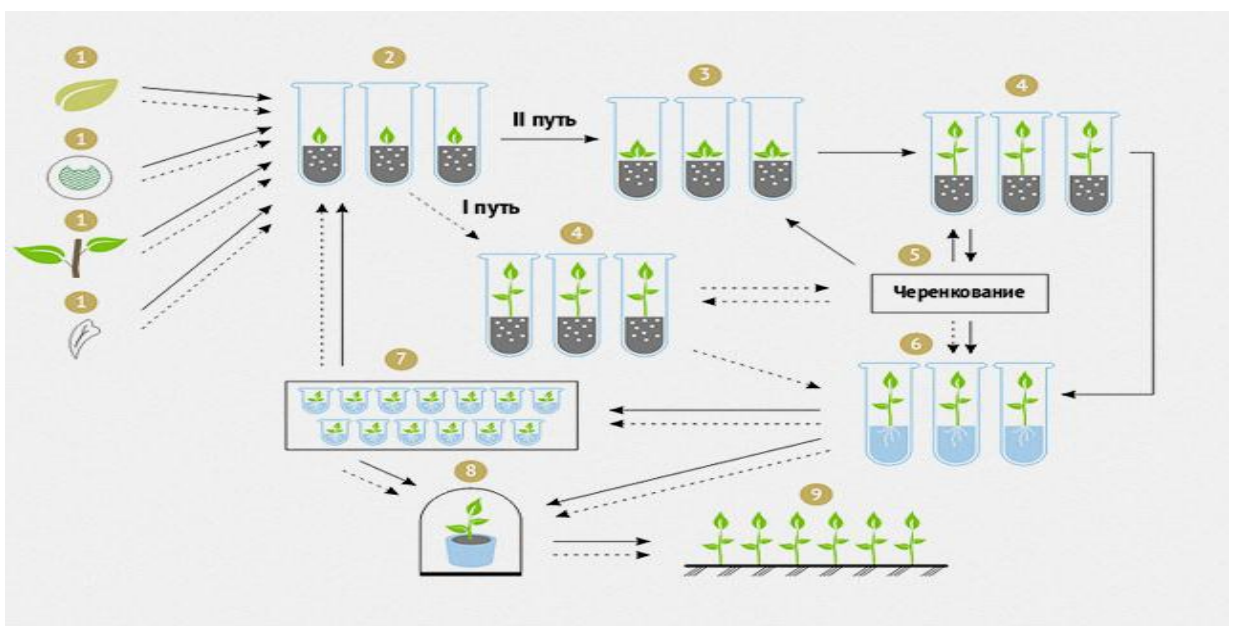


Рисунок 1.1 Схема меристемной технологии

где 1,2 – ведение меристемной ткани, 3 – пробирочному растению 10 дней, 4 – пробирочному растению 20 дней, 5 – черенкование, 6 – пробирочному растению 30 дней, 7 – высадка в горшки с питательной средой, 8 – укоренение и адаптация, 9 – подращивание.

Преимущества растений, полученных микроклональным размножением:

- Растения устойчивы к различным заболеваниям. Они не поражаются вирусами, даже если меристемные ткани были взяты у зараженного растения, так как вирус не поражает меристемы на верхушках побегов;
- Урожайность меристемных саженцев выше. Например, с обычного куста клубники можно собрать 200...300 г ягод, а с меристемного – до 1 кг;
- Микроклональное размножение дает возможность получения высокого количества однородных растений за время, при котором не даст того же результата ни один другой метод (около 10 тысяч саженцев в год от одного маточного растения);
- Меристемное размножение становится единственно возможным в больших промышленных масштабах, если для размножения берутся растения, которые стерильны и не дают семенного потомства.

1.1.3 Влияние светового излучения на морфогенез растений в культуре меристемных растений

В настоящее время светотехническая промышленность как отечественная, так и зарубежная выпускает широкий ассортимент ламп, которые можно использовать для облучения растений в защищенном грунте, однако спектр их излучения имеет ограниченную область.

Необходимо отметить, что в технологии выращивания растений спектральный состав света принято выражать по содержанию в нем тех волн, которые оказывают наибольшее физиологическое воздействие на растения. Оптическое излучение, положительно влияющее на растения, по спектральному составу может быть разделено на три части: ультрафиолетовое (295...380 нм), видимое (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 (380...710 нм) [98].

Спектральный состав света оказывает большое влияние на процессы роста, регенерации и ризогенеза *in vitro* и является одним из главных факторов биопродуктивности растений. Существуют следующие данные относительно влияния качества света на рост, регенерацию и метаболизм растений.

В. Barkiwska и L. Michalczuk [13] отмечают, что наилучшего качества корней и надземных органов вишни и голубики возможно достичь, используя спектр синего цвета.

Учеными Л.В. Алексеенко и В.А. Высоцким [15] выявлено, что красный и синий цвет ускоряют образование корневой системы растений *in vitro*. При этом синий участок спектра существенно влияет на суммарную длину корней.

В исследованиях А.А. Шипуновой и В.А. Высоцкого, выявлен положительный эффект культивирования эксплантов плодовых и ягодных культур на этапе пролиферации в условиях облучения синим цветом, как в отношении увеличения количества побегов, так и с точки зрения улучшения их качества [23].

При сочетании белого и красного света наблюдается максимальная высота «Юкки слоновой» в условиях стерильной культуры, а отдельно красный цвет ингибирует скорость укоренения и наибольшее количество образования корней [45].

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что спектральные характеристики источника излучения для технологии выращивания *in vitro* остаются практически неизученными. В связи с этим необходимо выявить избирательную реакцию растений при микроклональном размножении, на примере культуры малины

сорта «Гусар», на облучение их светом различного спектрального состава, а также подобрать наиболее эффективный режим освещения, при котором формируется благоприятный условия для роста и развития растений.

Таким образом, используя особенности искусственного облучения в закрытых помещениях, можно добиться более эффективного использования факторов внешней среды и создать оптимальные фитоценозы, отличающиеся высокой продуктивностью [55].

В представленной диссертационной работе для выращивания растений нами разработаны облучатели нового поколения, с использованием светодиодов. Особенность облучателей, сконструированных на светодиодах состоит в том, что спектральный состав их световых потоков приближен к ФАР.

1.1.4 Существующие учения о фотосинтезе

Электросветокультура является прогрессивной технологией, направленной на дальнейшее повышение эффективности растениеводства защищенного грунта.

У растений имеются системы фоторецепторов, обеспечивающие поглощение энергии по всей области ФАР, т. к. они являются единственными организмами на Земле, которые самостоятельно синтезируют органические вещества из неорганических. Этот процесс носит название фотосинтеза.

Важнейшей особенностью процесса фотосинтеза является то, что он протекает с использованием энергии солнечного света. Лучистая энергия – это энергия электромагнитных колебаний, которая характеризуется определенной длиной волны, частотой колебания и скоростью распространения. Эти величины связаны между собой следующим образом:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1.1)$$

где λ – длина волны, c – скорость света, ν – величина постоянная, равная $3 \cdot 10^{10}$ см/с, ν – частота колебаний. Длина волны измеряется в нанометрах, а частота колебаний – в герцах.

Собственно свет, или область электромагнитных колебаний, воспринимаемая человеческим глазом, лежит в пределах длины волн от 400 до 700 нм (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 Спектр восприятия человеческого глаза

Более короткие волны характерны для ультрафиолетовых лучей, а более длинные – для инфракрасных. Известно, что при пропускании луча света через призму он разлагается на отдельные участки, имеющие различную окраску (спектр). В пределах видимого света в зависимости от длины волны окраска лучей различна. Обладая волновыми характеристиками, свет проявляет и корпускулярные свойства [55]. Лучистая энергия излучается и распространяется в виде отдельных дискретных единиц – квантов или фотонов. Квант света обладает энер-

гией, которая прямо пропорциональна частоте колебаний и обратно пропорциональна длине волны:

$$E = h \cdot \nu \quad (1.2)$$

где h – постоянная Планка.

Анализ этой формулы показал, что величина энергии квантов для разных участков спектра будет различна: чем короче длина волны, тем больше энергия кванта.

С учетом первого закона фотохимии, только поглощенные лучи могут быть использованы в химических реакциях. В том случае, если реагирующие молекулы бесцветны и не поглощают свет, фотохимические реакции могут идти только в присутствии специальных веществ – сенсibilизаторов. Сенсibilизаторы – вещества, поглощающие энергию света и передающие ее на ту или иную бесцветную молекулу.

Положение о том, что в процессе фотосинтеза могут быть использованы только поглощенные лучи солнечного света, впервые получило экспериментальное подтверждение в опытах К. А. Тимирязева [45]. До этого господствовало ошибочное представление, что наибольшее значение в процессе фотосинтеза имеют желтые лучи солнечного спектра, которые хлорофиллом не поглощаются. К. А. Тимирязев показал, что процесс усвоения CO_2 на свету представляет собой фотохимический процесс и подчиняется законам фотохимии. В процессе фотосинтеза на место связей, обладающих малым запасом энергии, таких, как O-H, C-O, создаются связи C-C, благодаря которым свободная энергия системы повышается. Эта энергия представляет собой трансформированную солнечную энергию [43].

К. А. Тимирязевым был разработан точный метод учета процесса фотосинтеза, основанный на одновременном определении объема поглощенного углекислого газа и выделенного кислорода в замкнутом сосуде (эвдиометре). Высокая чувствительность данного метода позволила определить фотосинтез в отдельных участках спектра, в которых благодаря малой их интенсивности, фотосинтез шел очень слабо. Опыты К. А. Тимирязева ясно показали, что процесс фотосинтеза

проходит именно в тех лучах, которые поглощаются хлорофиллом. Хлорофилл является оптическим сенсбилизатором, поглощающим энергию света. Определяя интенсивность процесса фотосинтеза в различных лучах солнечного спектра, К. А. Тимирязев показал, что наиболее интенсивное усвоение углекислого газа наблюдается в красных лучах. Затем по направлению к зеленой части спектра процесс фотосинтеза постепенно ослабевает. В зеленых лучах фотосинтез минимальный. Это и понятно, так как именно зеленые лучи хлорофиллом почти не поглощаются. В сине-фиолетовой части спектра наблюдается второй подъем интенсивности фотосинтеза [22]. Таким образом, если представить себе интенсивность фотосинтеза в виде кривой (рисунок 1.3).

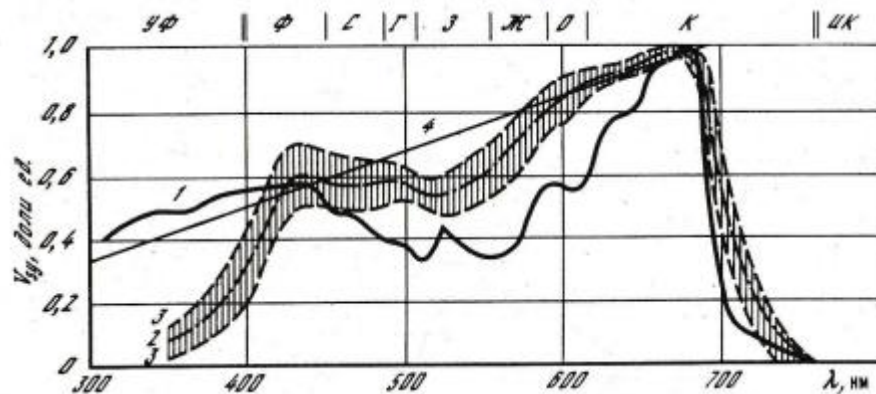


Рисунок 1. 3 Спектральная фотосинтезная эффективность

где 1 – расчетные данные (по И.И. Свентицкому); 2 – среднее значение экспериментальных данных шести зарубежных авторов; 3 – доверительный интервал; 4 – спектральная плотность фотонной облученности при источнике ОИ с равноэнергетическим спектром.

Ряд пиков интенсивности фотосинтеза соответственно отдельным линиям поглощения хлорофилла не наблюдаются, так как хлорофилл в хлоропластах находится в такой концентрации, при которой линии поглощения частично сливаются и образуются два основных максимума. Интенсивность процесса фотосинтеза в различных участках спектра получила название спектра действия. Можно сделать вывод, что спектр поглощения хлорофилла и спектр его действия в процессе фотосинтеза совпадают. Дальнейшие исследования внесли определенные

уточнения как в отношении лучей, поглощаемых разными формами хлорофилла, так и в отношении их влияния на процесс фотосинтеза.

Показателем эффективности использования солнечной радиации растениями является коэффициент полезного действия (КПД). КПД – это отношение количества энергии, запасенной в продуктах фотосинтеза или образовавшейся в фитомассе урожая, к количеству использованной радиации [21]:

$$\text{КПД} = g \cdot y \cdot 100 \cdot \Sigma Q \quad (1.3)$$

где g – калорийность растений (ккал/г), y – биологический урожай общей сухой фитомассы (г/см²), $2Q\phi$ – сумма ФАР за вегетационный период (ккал/см²).

Под ФАР понимается участок солнечного спектра, поглощаемый пигментами зеленого листа (380...740 нм). КПД выражается либо по отношению к падающей, либо по отношению к поглощенной растениями ФАР. Если рассматривать планету Земля в целом, то КПД падающей ФАР составляет около 0,2%. Следовательно, КПД фотосинтеза в естественных условиях ничтожно мал. Для разных растений и в разных условиях выращивания КПД поглощенной ФАР составляет следующие величины: кукуруза 2,5...5,7, ячмень 2,6...4,0, рис 2,5...4,4, озимая пшеница 1,1...6,3 (Х. Г. Туминг). Задача повышения КПД использования солнечной энергии является одной из важнейших в физиологии, а также в селекции сельскохозяйственных растений.

В естественных условиях происходит сложное взаимодействие всех внешних и внутренних факторов. В силу этого суточный ход фотосинтеза неустойчив и подвержен значительным изменениям. При умеренной дневной температуре и достаточной влажности дневной ход фотосинтеза примерно соответствует изменению интенсивности солнечной инсоляции. Фотосинтез, начинаясь утром с восходом солнца, достигает максимума в полуденные часы, постепенно снижается к вечеру и прекращается с заходом солнца. При повышенной температуре и уменьшении влажности максимум фотосинтеза сдвигается на ранние часы. При еще большей напряженности метеорологических факторов кривая дневного хода фотосинтеза принимает двухвершинный характер. В этом случае в полуденные часы фотосинтез резко снижается. В засушливых районах, например в Средней

Азии в полуденные часы возможно даже превышение интенсивности дыхания над интенсивностью фотосинтеза. При этом снижение содержания воды в листьях и высокая температура задерживают отток ассимилятов, что, в свою очередь, вызывает депрессию фотосинтеза. В этих условиях выделение CO_2 превышает его использование в процессе фотосинтеза. В полярных условиях, несмотря на круглосуточное освещение, процесс фотосинтеза все же сохраняет определенный ритм, понижаясь в ночные часы суток [45].

1.1.5 Фотосинтетическая активная радиация, спектры, и их влияния на растения

Существует два способа применения электрооблучательных установок в растениеводстве защищенного грунта: для удлинения естественного светового дня (электрооблучения) и электросветокультура, т. е. выращивание растений только под электрооблучательными установками. Экономически выгодно облучать только рассаду, т. к. период вегетации у рассады 25...50 дней и облучению подвергаются сразу большое количество растений. При этом продукцию получают на 20...30 дней раньше и урожайность рассадных культур повышается на 20...25 % [43].

У растений имеются системы фоторецепторов, обеспечивающие поглощение энергии по всей области ФАР, т. к. они являются единственными организмами на Земле, которые самостоятельно синтезируют органические вещества из неорганических.

Анализ специальной литературы показывает, что растения усваивают только около 0,2% энергии ФАР, приходящей на Землю. Вместе с этим теоретически возможно усвоить 5 % и даже 10 % энергии ФАР. По данным Ничипоровича А.А.

максимальный к.п.д. фотосинтеза (но не более 5 %) имеет место при излучении с длиной волны 680 нм [12]. Основная причина низкой продуктивности биосферы, как биорегенеративной системы, заключается в том, что громадное количество приходящей энергии ФАР обесценивается как фактор фотосинтеза неблагоприятными сочетаниями ее с другими условиями продуктивности: теплом, влажностью, условиями почвенного плодородия. Кроме того, известно, что при выращивании растений на электрическом свете необходимо знать, каким должен быть спектральный состав излучения для получения наибольшего урожая сельскохозяйственных культур.

По данным Протасовой Н.Н. [54] различные части спектра оказывают характерное только им воздействие на растения.

Отсутствие в излучении ламп отдельных участков спектра может привести к нарушению нормального роста растений при длительном выращивании их под этими источниками. Влияние спектра излучения на формирование растений (по Протасовой Н.Н.) показано в таблице 1.1

Таблица 1. 1 Длина волн и их влияние на растения

Диапазон длин волн, нм	Влияние на растения
400...500 (синий свет)	Формирование низкорослых растений с низкой продуктивностью вследствие накопления в листьях ингибиторов роста. При этом стебли укорочены, листья утолщены, но мелкие.
500...600 (зеленый свет)	Формирование растений с вытянутыми осевыми органами и тонкими листьями, с низкой продуктивностью
600...780 (красный свет) особенно важна зона 640...680 нм	Формирование у растений высокого ростового эффекта (интенсивный рост листьев, осевых органов). При недостатке этого излучения у растений формируются неполноценные генеративные органы, что приводит к низкой урожайности.

По мнению Протасовой Н.Н. целесообразно создать такой источник излучения, у которого соотношение потоков по спектру ФАР будет следующее: 380...490 нм – 20...25%; 490...500 нм – 20...25%; 600...700 нм – 60...50%. Таким образом, каждая из трех основных областей ФАР, взятая в отдельности, не позво-

ляет вырастить полноценные растения, и только излучение с определенным соотношением энергии по этим трем диапазонам длин волн может обеспечить выращивание полноценных растений.

Аналогичное мнение высказывает, Малышев В.В. Он предлагает, в основу анализа относительного спектрального распределения положить модель, в которой любое излучение со сплошным или линейчатым спектром области ФАР представляется сложным и состоящим из трех квазимонохроматических излучений по числу спектральных участков, на которых они сосредоточены. Относительное спектральное распределение излучения оценивается сочетанием усредненных относительных энергий излучения в процентах относительно общего излучения ФАР. Например, 30% - 50% - 20%, т.е. для $\Delta\lambda_1=380\dots500$ нм усредненная относительная энергия излучения составляет $S_{\text{ОТН.1}}=30\%$, для $\Delta\lambda_2=500\dots600$ нм - $S_{\text{ОТН.2}}=50\%$, для $\Delta\lambda_3=600\dots720$ нм - $S_{\text{ОТН.3}}=20\%$.

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.

Энергия света используется растениями для фотосинтеза и регуляции своего развития (прорастание, цветение, плодоношение). При этом на регуляцию требуется в 100...1000 раз меньше энергии, чем на фотосинтез.

Спектральные диапазоны света имеют следующие физиологические значения:

- 280...320 нм: оказывает вредное воздействие;
- 320...400 нм: регуляторная роль, необходимо несколько процентов;
- 400...500 нм («синий»): необходим для фотосинтеза и регуляции;

- 500...600 нм («зеленый»): полезен для фотосинтеза оптически плотных листьев, листьев нижних ярусов, густых посевов растений благодаря высокой проникающей способности;
- 600...700 нм («красный»): ярко выраженное действие на фотосинтез, развитие и регуляцию процессов;
- 700...750 нм («дальний красный»): ярко выраженное регуляторное действие, достаточно несколько процентов в общем спектре;
- 1200...1600 нм: поглощается внутри и межклеточной водой, увеличивает скорость тепловых биохимических реакций.

Соотношение ИК и ФАР – 50...85% в зависимости от угла падения солнечных лучей и состояния атмосферы.

Интенсивность света влияет на скорость фотосинтеза. При низкой интенсивности света преобладают процессы дыхания растений (энергия для жизнедеятельности черпается за счет распада ранее синтезированных веществ). При повышении интенсивности света линейно увеличивается фотосинтез. При дальнейшем росте интенсивности фотосинтез увеличивается медленнее, потом не увеличивается, наступает «фаза насыщения». Если продолжать увеличивать интенсивность света, фотосинтез начинает снижаться.

При низкой интенсивности света растения получаются вытянутые. У корнеплодных (например, редиса) корнеплоды образуются плохо, растения формируют цветоносные стебли. У томатов и огурца цветы опадают, плоды невелики, вкусовые качества низкие. Интенсивный свет позволяет увеличить урожай, получать крупные плоды высокого качества, значительно снизить сроки вегетации. Интенсивный свет позволяет скоординировать фотосинтез, рост и развитие растений. В то же время для выращивания зелени сильный свет вреден, так как рост листовой поверхности замедляется, качества листьев снижается, они желтеют и становятся жесткими.

Согласно разработкам Института Гипронисельпром оптимальная норма облученности в теплице для выращивания рассады – 40 Вт/м² ФАР с фотопериодом

14 часов, для выращивания на продукцию – 100 Вт/м^2 с фотопериодом 16 часов средняя суточная интенсивность естественного света – 100 Вт/м^2 [27].

Основные пигменты листьев - хлорофиллы а и b, поглощают свет синего и красного диапазонов, каротиноиды поглощают свет синего диапазона. Обобщение данных поглощения света листьями разных растений позволяет рассчитать спектральную кривую поглощения «среднего» зеленого листа. Поглощение в синей и красной области спектра составляет 80...90% излучения ФАР. Зеленые лучи хорошо проникают к листьям нижних ярусов, куда синие и красные лучи почти не проникают.

В инфракрасное излучение (ИК) диапазоне полоса поглощения 1200...1600 нм связана с водой, содержание которой в клетках листьев может достигать 90%. Начиная с 2000 нм начинается неселективное тепловое поглощение [33]. Существуют предельные значения концентрации поглощающих пигментов, толщины листьев, содержания воды, при которых поглощение света средним листом в области ФАР ограничивается величиной 80...85%.

При среднесуточной интенсивности света 100 Вт/м^2 ФАР соотношение синих, зеленых и красный лучей в спектре не имеет особого значения. При высокой интенсивности ФАР синие лучи продолжают хорошо усваиваться растениями, тогда как интенсивные красные могут привести к пожелтению листьев и даже гибели растения.

Фитоценоз как фотосинтезирующая система отличается от среднего листа. К оптическим характеристикам света прибавляются такие как направление излучения (вертикальное, боковое), степень рассеянности (диффузности света). Листья растений так располагаются в пространстве, чтобы при нехватке света максимально собирать рассеянный свет, а при избытке уменьшать световое поглощение. Например, у ценозов пшеницы верхние листья, получающие много света, имеют вертикальную ориентацию, а листья средних и нижних ярусов, где света мало, ориентируются по горизонтали. Растения с вертикальной ориентацией листьев имеют более высокие показатели продуктивности при боковом освещении, чем при облучении сверху [44].

Интересно, что интенсивный свет, падающий на одну сторону листа, производит такое же действие на фотосинтез, как и половинные интенсивности света, падающего на обе стороны листа. Это означает, что для ценоза важен также свет, рассеянный листьями и отраженный от листьев.

Выигрыш в урожае, полученный в работе В.М. Лемана [35], указывает, что в реальных ценозах при одинаковых мощностях лучистых потоков боковое освещение более эффективно, чем освещение сверху, поскольку оно более объемно и лучше распределяется по ассимилирующей поверхности ценоза. Диффузный свет более эффективен, чем прямой, т.к. лучше распределяется в ценозе.

Интенсивность вертикального света резко падает после прохождения света через лист. Верхний лист получит 100% света, следующий за ним 20%, третий лист – только 4%. Обеднение спектрального состава света еще более существенно. При искусственном освещении целесообразно располагать источники излучения так, чтобы излучение падало на ценозы под определенными углами.

Энергетическая эффективность фитоценоза [36] или КПД фитоценоза [57] позволяют соотнести количество света на площадь фитоценоза и полученную биомассу растений.

Считается, что белый солнечный свет является лучшим освещением, поскольку филогенетическое развитие растений происходило на нем, растения лучше к нему приспособлены. Чем ближе спектральный состав излучателей к естественному спектру, тем выше эффективность фитоценоза.

Однако кроме солнечного света (рисунок 1.4) для очень многих растений существуют уникальные условия освещенности, температуры, плодородности почвы: на высокогорье, под пологом леса, в тропиках и на севере, на черноземье и в пустыне.

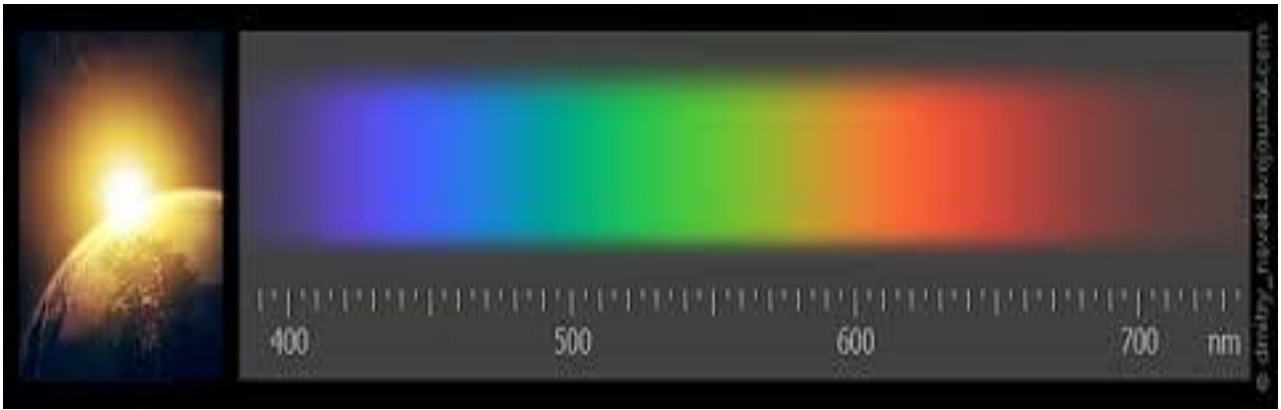


Рисунок 1. 4 Спектрограмма солнечного света в видимом диапазоне

Свет существенно отличается как по интенсивности, так и по спектральному составу. Например, в горных районах в спектре падающего света присутствует значительная доля сине-фиолетовых лучей, влажная равнина освещается рассеянным белым светом, под водой опять преобладают синие лучи.

Универсальность и эффективность часто не совпадают, поэтому белый свет не может обеспечить максимальную продуктивность любых растений. И.И. Свенцицкий предложил метод определения универсального спектра ФАР, наиболее благоприятный для фотосинтеза абсолютного большинства зеленых растений. На рисунке 1.5 показан универсальный спектральный состав света с интенсивностью 10-30 Вт/м², вызывающий максимальный фотосинтез в зеленом листе.

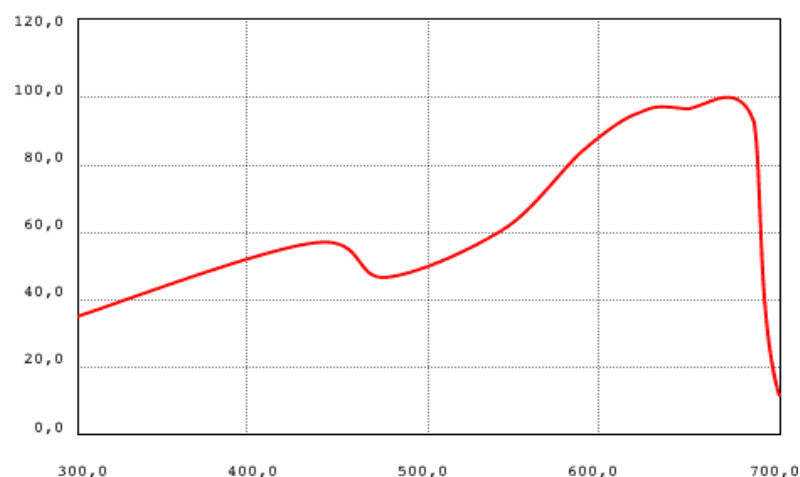


Рисунок 1. 5 Усредненная кривая фотосинтеза зеленого листа по McCree

Известно, что спектральная эффективность действия излучения ФАР зависит от ее интенсивности. Однако при росте интенсивности до $100...150 \text{ Вт/м}^2$ и выше при неизменном спектре излучателя усиливается действие синих лучей и ослабляется действие красных. Исследования на ценозах показывают, что у растений разных видов различны требования к оптимальному сочетанию спектральных и энергетических характеристик светового режима. Критерием оценки оптимального сочетания стала реакция растений на долю красного света в спектре. Это позволило разделить растения на три группы. Растения первой группы, например, огурец, могут погибнуть при длительном воздействии интенсивного красного света. Растения второй группы, например, томат, дают максимальный урожай. Растениям третьей группы нужны лучи белого света [51].

Каким должно быть соотношение ФАР/ИКР для обеспечения максимальной продуктивности растений. В пределах $20...50\%$ от общего излучения инфракрасной радиации (ИКР) не влияет существенно на урожай, но сильно изменяет сроки вегетации. $50...60\%$ ИКР повышают выход урожая при минимальных сроках вегетации. Превышение доли ИКР выше 60% снижает урожайность, а снижение ниже 20% сильно удлиняет сроки вегетации. С ростом уровня облученности ФАР рекомендуется снижать долю ИКР. Ближнее ИК излучение ($750...1200 \text{ нм}$) слабо поглощается водой и тканями листа. Излучение $1200...1600 \text{ нм}$ сильно поглощается водой, а следовательно, и тканями листа. Люкс=1 Вт на длине волны 550 нм . Большим недостатком люксов является их привязка к зеленому диапазону 550 нм , к меньшим физиологическим значением (рисунок 1.6).

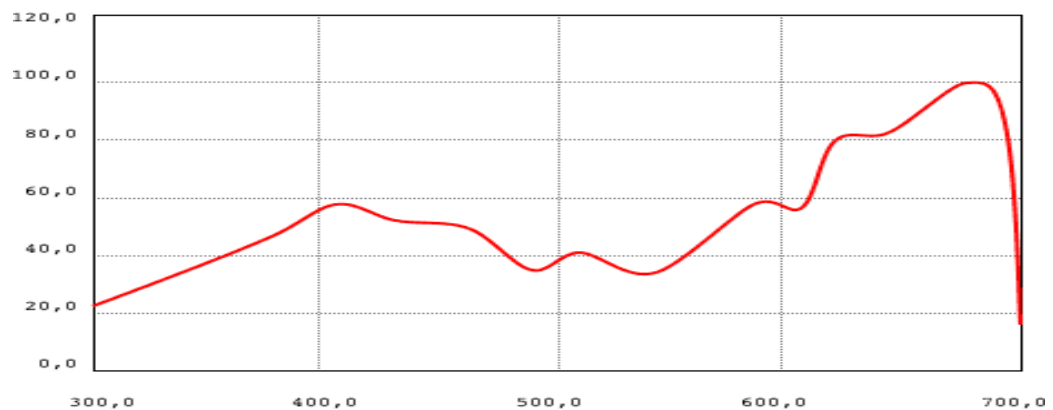


Рисунок 1.6 Относительная спектральная эффективность фотосинтеза зеленого листа

Растения, как живой организм, приспосабливаются к условиям среды, и их оптические свойства могут со временем меняться. В условиях светокультуры растения могут расти как в направленном, так и в диффузном световом потоке. Диффузное излучение называют объемным (например, свет при равномерном облачном небе или свет через матовое стекло). Для получения диффузного света используют переизлучающую или рассеивающую поверхность. У растений чувствительны к свету не только листья, но и стебли. Листья верхних ярусов получают прямой свет, а листья внутри ценоза находятся частично или полностью в тени и получают менее интенсивное диффузное облучение с измененным спектральным составом (меньше синих и красных лучей и больше зеленых).

1.2 Энергетические свойства светодиодов

Светодиоды (СД, в иностранной литературе —LED, Lighting Emitting Diodes) – наиболее «молодые» источники света, принципиально отличающиеся от тепловых или разрядных излучателей.

Впервые свечение на границе металла и полупроводниковой материала – карбида кремния – наблюдал русский инженер О.В. Лосев в Нижегородской радиолаборатории в 1923 г. Позднее (в 1939 г.) он дал физическое объяснение этого свечения, получившего в литературе название «эффекта Лосева». Свечение было голубовато-зеленого цвета с очень малой яркостью, о практическом применении этого явления в те годы не могло быть и речи [23].

Светодиоды, или светоизлучающие диоды, являются электрическими источниками света. Первый красный светодиод был создан в 1962 г. Ником Холоньяком (Nick Holonyak) в компании General Electric. Монохромные красные

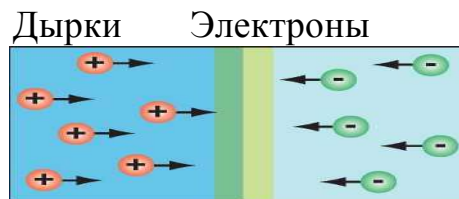
светодиоды в 60-е гг. прошлого столетия применялись для производства небольших световых индикаторов, используемых в электронных приборах. Хотя они испускали тусклый свет и имели низкую энергоэффективность, технология оказалась перспективной и стала быстро развиваться. В начале 70-х гг. появились зеленые и желтые светодиоды. Они использовались в наручных часах, калькуляторах, электронных приборах, в светофорах и указателях «Выход». Эффективность светодиодов по световому потоку постоянно увеличивалась, и к 1990 г. световой поток красных, желтых и зеленых светодиодов достиг значения 1 люмен (лм).

В 1993 г. Суджи Накамура (Shuji Nakamura), инженер, работающий в компании Nichia, создал первый синий светодиод высокой яркости. Так как красный, синий и зеленый являются тремя главными составляющими света, теперь с помощью светодиодов можно было получить любой цвет освещения, включая белый. Белые люминофорные светодиоды – это светодиоды, объединяющие синий или ультрафиолетовый светодиод с люминофорным покрытием, впервые появились в 1996 г. В конце 90-х гг. светодиоды постепенно заменяют лампы накаливания там, где требуется окрашенный свет [37].

В 2000-2005 гг. уровень светового потока светодиодов достиг значения 100 лм и выше. Появились белые светодиоды с теплыми и холодными оттенками, подобными образуемым лампами накаливания, люминесцентными лампами и схожие с естественным освещением. Постепенно светодиоды составили конкуренцию традиционным источникам света и стали применяться в театральном и сценическом освещении.

В настоящее время светодиоды широко используются в различных системах общего освещения. По мнению Департамента энергетики (Department of Energy) и Ассоциации развития оптоэлектронной промышленности (Optoelectronics Industry Development Association), к 2025 г. светодиоды станут самым распространенным источником света в жилых домах и офисах [22].

Как и любой диод, светодиод включает в себя один полупроводниковый p-n-переход (электронно-дырочный переход). С помощью процесса, носящего название легирование, материал n-типа обогащается отрицательными носителями заряда, а материал p-типа - положительными носителями заряда (рисунок 1.7). Атомы в материале n-типа приобретают дополнительные электроны, а атомы в материале p-типа приобретают дырки – места на внешних электронных орбитах атомов, в которых отсутствуют электроны.



Материал p-типа p-n переход Материал n-типа

Рисунок 1. 7 Схема процесса легирования

При приложении к диоду электрического поля электроны и дырки в материалах p и n типа устремляются к p-n-переходу. Когда носители заряда подходят к p-n-переходу, электроны инжектируются в материал p-типа. При подаче отрицательного напряжения со стороны материала n-типа через диод протекает электрический ток в направлении от материала n-типа в материал p-типа. Это называется прямым смещением.

Когда избыточные электроны переходят из материала n-типа в материал p-типа и рекомбинируют с дырками, происходит выделение энергии в виде фотонов, элементарных частиц (квантов) электромагнитного излучения (рисунок 1.8). Все диоды испускают фотоны, но не все диоды испускают видимый свет. Материал, из которого изготавливается светодиод, выбирается таким образом, чтобы длина волны испускаемых фотонов находилась в пределах видимой области спектра излучения. Разные материалы испускают фотоны с разными длинами волн, что соответствует разным цветам испускаемого света [11].

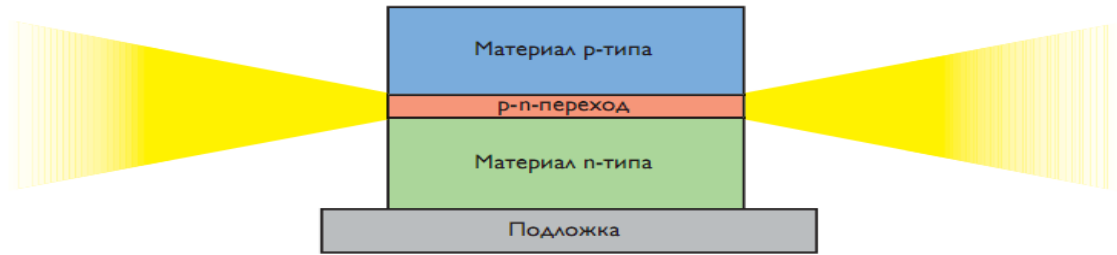


Рисунок 1. 8 Схема работы светодиода

Пучок видимого света, испускаемого светодиодом, является холодным, но так как в светодиодах имеются потери, то на р-п-переходе генерируется тепло, иногда достаточно большое. Ограничение температуры р-п-перехода с помощью правильно сконструированного теплоотвода и других методов контроля температуры является критичным для обеспечения нормальной работы светодиода, оптимизации его светового потока и повышения срока службы. Подробная конструкция светодиода показана на рисунке 1.9.

Строение светодиодов

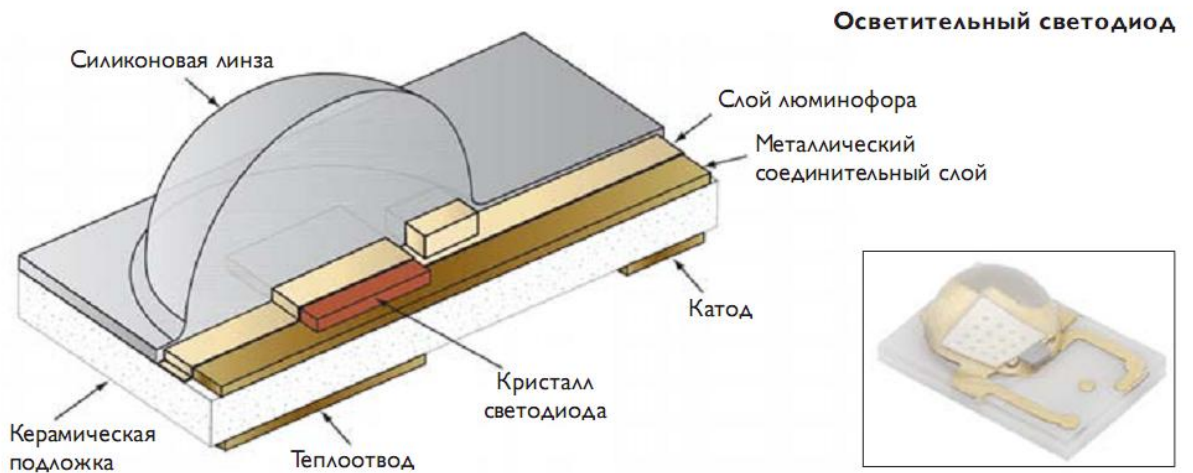




Рисунок 1. 9 Конструкция светодиода

Все осветительные светодиоды имеют одинаковую базовую конструкцию. Они включают в себя полупроводниковый чип (или кристалл), подложку, на которую он устанавливается, контакты для электрического подключения, соединительные проводники для подсоединения контактов к кристаллу, теплоотвод, линзу и корпус [16].

Так как индикаторные светодиоды являются маломощными, все генерируемое в них тепло рассеивается внутри самих светодиодов. Осветительные светодиоды, напротив, снабжаются корпусом для прямого припаивания к поверхности, что обеспечивает отвод тепла, генерируемого светодиодом. Теплоотвод жизненно важен для обеспечения температурного режима и нормальной работы светодиода. Светодиоды, изготовленные из разных полупроводниковых материалов, излучают свет разных цветов. Разные материалы испускают фотоны с разными длинами волн, что соответствует разным цветам видимого света (рисунок 1.10)

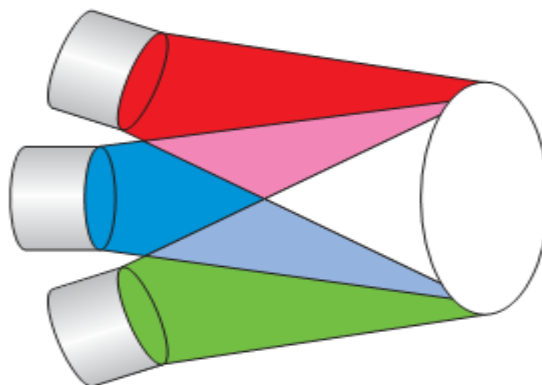


Рисунок 1.10 Модель аддитивного смешения цветов применяется для света, непосредственно излучаемого световыми источниками

В первых светодиодах использовались такие материалы, как фосфид галлия (GaP), тройное соединение AlGaAs и тройное соединение GaAsP. Они создавали излучение от красного до желто-зеленого цвета. В настоящее время GaP, AlGaAs и GaAsP используются только для изготовления индикаторных светодиодов, так как большие токи, необходимые для получения излучения, и большое тепло, выделяющееся при работе светодиодов, изготовленных из этих материалов, значительно сокращают срок их службы [45].

Для производства осветительных светодиодов используются новые материалы, способные выдерживать необходимые уровни тока, высокий нагрев и высокую влажность. В красных и янтарных светодиодах высокой яркости применяются полупроводники алюминий индий - галлий (AlInGaP), в синих, зеленых и голубых - индий - нитрид галлия (InGaN) (рисунок 1.11).

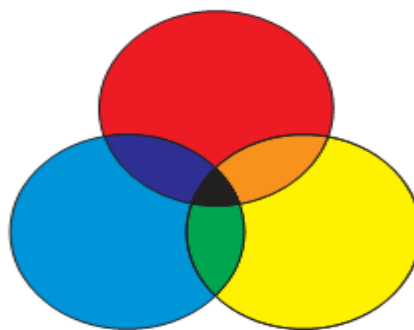


Рисунок 1. 11 Модель субтрактивного смешивания цветов

Светодиоды, изготовленные из AlInGaP и InGaN , в совокупности перекрывают почти всю область спектра видимого излучения с промежутком в области зелено-желтого и желтого цветов. Корпоративные цвета с применением желтого (например, Shell или McDonald's) трудно получить с помощью одноцветных светодиодов.

Одним из способов получения «сложных» цветов является совместное использование в одном осветительном приборе светодиодов разных типов (рисунок 1.12).

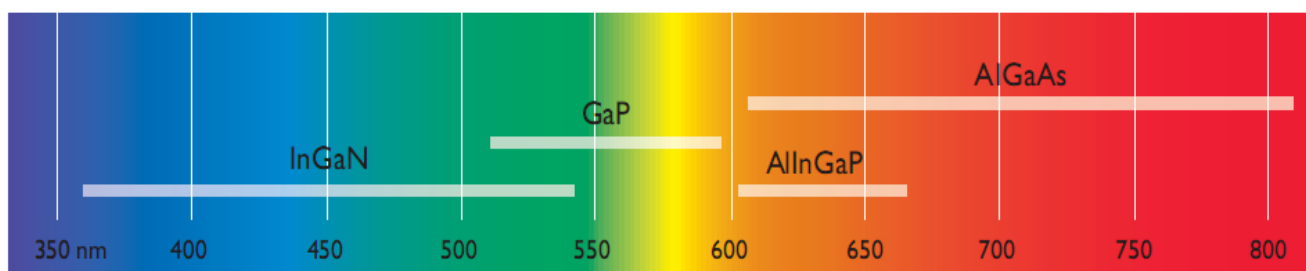


Рисунок 1.12 Основные материалы для производства монохромных светодиодов

AlInGaP и InGaN покрывают почти весь спектр видимого излучения для светодиодов высокой интенсивности, кроме желто-зеленой и желтой областей спектра с длиной волны 550-585 нанометров (нм). Производители светодиодов обычно предлагают светодиоды различных цветов - синий, голубой, зеленый, янтарный, красно-оранжевый, красный и т. д. Самостоятельно светодиод может излучать свет только одного цвета, который определяется используемым в нем полупроводниковым материалом. Настоящее волшебство начинается тогда, когда в одном приборе объединяются светодиоды разного цвета. Именно объединение светодиодов разного цвета в одном световом приборе, таком как светильник или многокристальный светодиод, и управление интенсивностью излучения светодиодов разного цвета и обеспечивает получение миллионов оттенков. Подобно телевизионному экрану или компьютерному монитору, полноцветный светодиодный прибор реализует цветовую модель RGB (R - красный, G - зеленый, B - синий) [42].

Цветовая модель RGB - это модель аддитивного смешения цветов, которая применяется для света, непосредственно излучаемого его источниками. (Модель субтрактивного смешения цветов применяется к отражающим поверхностям, таким как поверхности, покрытые красками или чернилами.) На диаграмме показано цветовое пространство МКО 1931, разработанное в 1931 г. Международной комиссией по освещению (МКО) для определения всего диапазона, или гаммы цветов, видимых стандартным наблюдателем (рисунок 1.13).

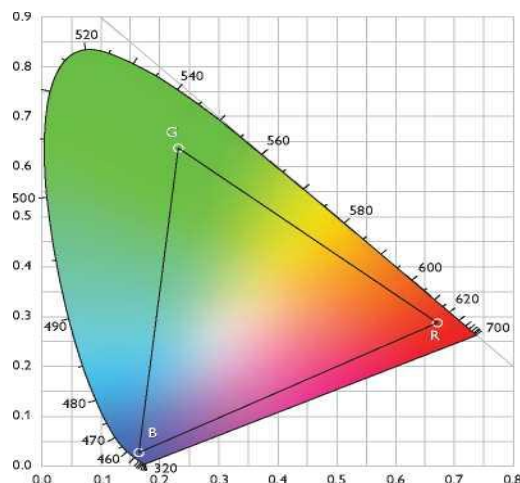


Рисунок 1.13 Цветовая диаграмма

Ни одно из устройств - телевизионный экран, монитор компьютера, светодиодный световой прибор и другие трехцветные устройства - не может воспроизвести все цвета, различимые глазом человека. Гамма цветов, которую можно получить с помощью светодиодного светового прибора или многокристального светодиода, зависит от цветов отдельных красных, зеленых и синих светодиодов, используемых в них.

На диаграмме точки трех цветов отдельных светодиодов, используемых в трехцветном световом приборе, соответствуют вершинам треугольника. Теоретически прибор может воспроизвести любой цвет, соответствующей точкам внутри этого треугольника. На практике трехцветный светодиодный световой прибор обычно управляется цифровым контроллером и может воспроизвести определенное количество возможных цветов внутри треугольника. С помощью 8-битного трехцветного светодиодного прибора можно получить приблизительно 16,7 млн

цветов, однако это количество уже превышает число цветов, которые человек способен различить в пределах данного цветового треугольника. (Цвета, лежащие вне границ цветового треугольника, могут быть различимы глазом человека, но световой прибор не сможет их воспроизвести) [63].

Способность полноцветных светодиодных световых приборов излучать свет любого цвета без использования светофильтров и других внешних устройств в корне отличает светодиоды от других источников света. Совместное использование полноцветных светодиодных источников света с контроллерами освещения позволяет создавать как простые цветовые эффекты, так и полноцветные световые шоу и даже крупномасштабные видеодисплеи. Существует два способа получения белого света с помощью светодиодов [33]. Согласно цветовой модели RGB, белый цвет получается с помощью пропорционального смешивания красного, зеленого и синего цветов. При использовании метода RGB белый свет получается при объединении излучения красного, зеленого и синего светодиодов. Люминофорные технологии получения белого света предполагают использование одного светодиода коротковолнового излучения, например, синего или ультрафиолетового, в комбинации с желтым люминофорным покрытием. Фотоны синего или ультрафиолетового излучения, генерируемые светодиодом, либо проходят через слой люминофора без изменения, либо преобразуются в нем в фотоны желтого света. Комбинация фотонов синего и желтого цвета создает белый свет (рисунок 1.14).

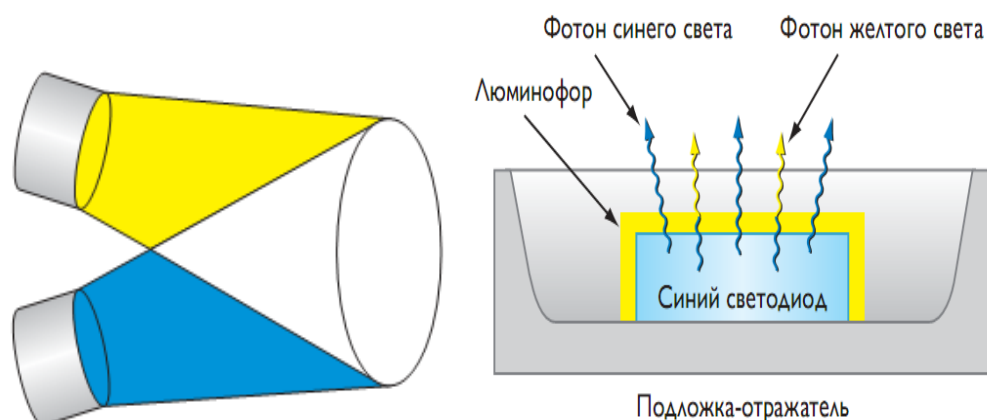


Рисунок 1.14 Схема смешения желтого и синего цветов

Метод RGB дает возможность создавать белый свет точного оттенка, имеющий способность подчеркивать освещаемые цвета. Однако для создания белого цвета RGB требуется сравнительно сложное оборудование, так как в одном источнике необходимо использовать сразу три светодиода. При этом получаемый свет неестественно передает пастельные тона, что является основным следствием низкого индекса цветопередачи белого света, полученного методом RGB.

Белые люминофорные светодиоды обеспечивают лучшую цветопередачу, чем белые RGB-светодиоды, в большинстве случаев сравнимую с люминесцентными источниками света. От белых RGB-источников света они также отличаются высокой энергоэффективностью. Именно высокая энергоэффективность и хорошая цветопередача делают люминофорные технологии предпочтительным способом получения белого света.

В процессе производства белых светодиодов на светодиодный кристалл наносится слой люминофора. Оттенок или цветовая температура белого света, излучаемого светодиодом, определяется длиной волны света, испускаемого синим светодиодом и составом люминофора.

Цветовая температура излучения светодиода зависит от толщины слоя люминофора. Производители стараются минимизировать цветовые вариации с помощью строгого контроля толщины и состава слоя люминофора [52].

В настраиваемых световых приборах, позволяющих получать белый свет из определенного диапазона цветовых температур, используется принцип смешивания трех цветов. Эти приборы обычно содержат светодиоды холодного и теплого белого света, индивидуально управляемые по принципу, применяемому в полноцветных источниках света RGB. Регулирование относительной интенсивности холодного и теплого белого света изменяет цветовую температуру настраиваемого светового прибора по тому же принципу, как регулируется интенсивность излучения красных, зеленых и синих светодиодов полноцветного (RGB). Для использования в целях освещения светодиоды должны быть объединены в систему, включающую оптику, драйверы, источники питания и теплоотводы. Все назван-

ные компоненты присутствуют в световом приборе (рисунок 1.15).

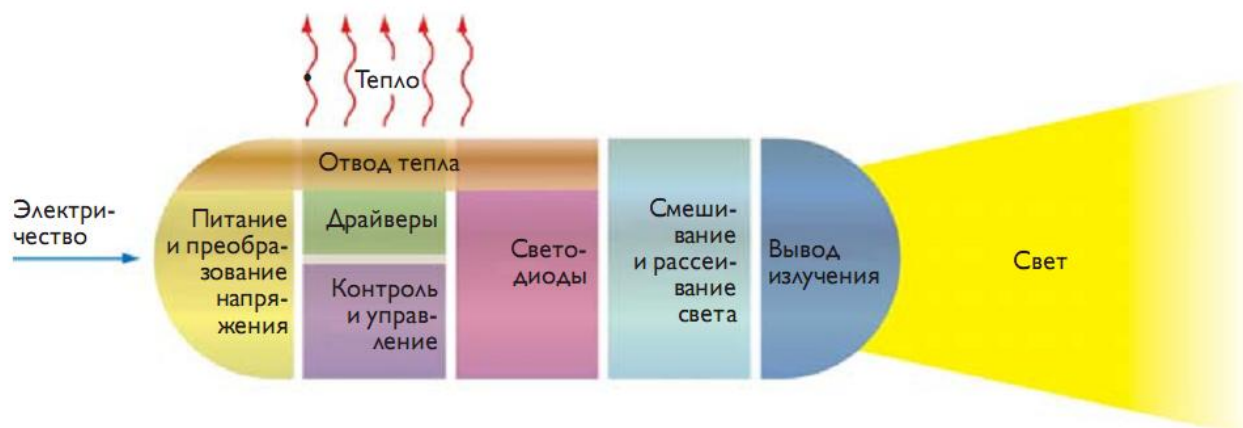


Рисунок 1.15 Схема светодиодного прибора

Дополнительно светодиодные световые приборы обычно включают постоянно подсоединенные или отсоединяемые кабели для подключения к источнику питания. Линейные светильники, например, осветительные приборы для световых карнизов и рабочего освещения, обычно снабжены стыковочными разъемами, кабельными переключками и другими устройствами для установки приборов с различными интервалами и в различной конфигурации.

Параметры светодиода (СД), как и любого источника света (ИС), можно разделить на входные и выходные. К входным параметрам относятся:

- прямой ток через СД $I_{пр}$;
- прямое падение напряжения при номинальном токе $U_{ур}$;
- максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр.макс}$;
- вольтамперная характеристика (зависимость прямого падения напряжения от тока).

Номинальный прямой ток $I_{пр}$ через кристалл размером 0,1 x 0,1 мм равен 20...40 мА. Максимально допустимый прямой ток $I_{пр макс}$ зависит от условий охлаждения, конструкции СД, а при импульсном режиме - от скважности импульсов.

Прямое падение напряжения $U_{пр}$ на СД при номинальном токе зависит от энер-

гии излучаемых квантов и составляет от 1,5 В для диодов, излучающих в ИК-области, до 4,2 В для СД, излучающих синий и фиолетовый свет.

Максимально допустимое обратное напряжение $U_{\text{обр.макс}}$ – для большинства СД равно 10 В. Примеры вольт-амперных характеристик СД показаны на рисунке 1.16

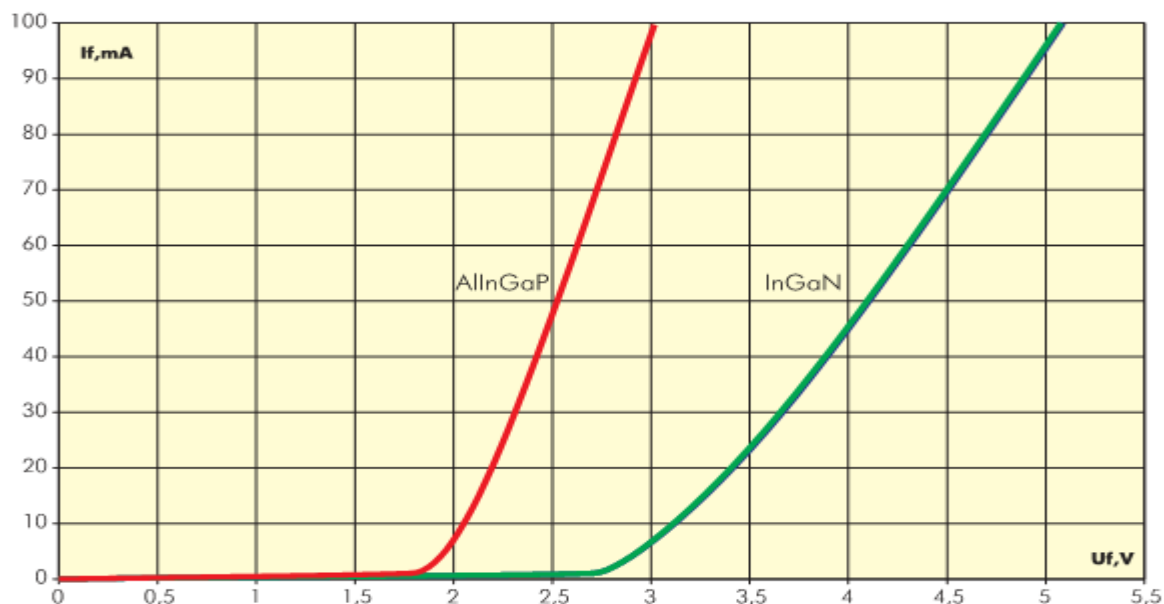


Рисунок 1.16 Вольтамперные характеристики СД

Все СД допускают работу в импульсном режиме с превышением амплитудного значения прямого тока над номинальным в 5 – 10 раз.

К выходным параметрам СД относятся:

- световой поток Φ ;
- угол излучения 2γ ;
- осевая сила света I_0 ;
- цветность излучения или длина волны в области максимума излучения $\lambda_{\text{макс}}$;
- световая отдача η_v (для ИК-диодов – КПД);
- яркость L (указывается для светящихся пластин);
- инерционность τ ;
- люмен-амперная характеристика (зависимость светового или лучистого потока СД от прямого тока).

В литературе по СД часто встречаются еще два выходных параметра: внутренний и внешний квантовый выход. Внутренний квантовый выход – это отношение числа генерируемых в р-п-переходе квантов излучения к числу проходящих в единицу времени электронно-дырочных пар. В современных инфракрасных и красных диодах на основе AlGaInP с подложкой из арсенида галлия внутренний квантовый выход близок к 100%. для СД синего цвета на основе нитридов индия и галлия – около 20%.

Однако не все генерируемые кванты излучения выходят наружу – часть их теряется в результате поглощения внутри кристаллов и за счет полных внутренних отражений на границе кристалл-полимер. Внешний квантовый выход – это отношение числа квантов, выходящих из СД наружу, к числу электронно-дырочных пар, проходящих через р-п-переход [82].

Световой поток Φ – наиболее важный для светотехников параметр СД, однако он указывается далеко не всегда и не всеми производителями. Чаше в каталогах приводятся осевая сила света I_0 и угол излучения $2\alpha_{0,5}$ – т.е. полный угол, на границах которого сила света составляет 0,5 от осевой. Для СД с двумя плоскостями симметрии, изготавливаемых рядом фирм, в каталогах указываются углы в этих плоскостях $2\alpha_{0,5}$ и $2\beta_{0,5}$. Среди промышленных СД разброс углов излучения составляет от 3 до 180°, т.е. КСС СД могут быть от очень узких до диффузных. Величина осевой силы света определяется углом излучения и световым потоком. Для однокристалльных СД красного и зеленою цветов она составляет от 0,5 до 150 кд, для синих – от 0,1 до 30 кд.

Цветность излучения определяется шириной запретной зоны и, в меньшей степени, толщиной активного слоя СД. Излучение СД не является строго монохроматическим: ширина спектральной полосы излучения составляет от 10 до 20 нм (по уровню 0.5). Положение максимума излучения слабо зависит от прямого тока СД и от температуры р-п-перехода (около 0,05 нм/К). В настоящее время производятся СД практически с любым цветом излучения. На рисунке 1.17 показано спектральное распределение энергии излучения современных СД.

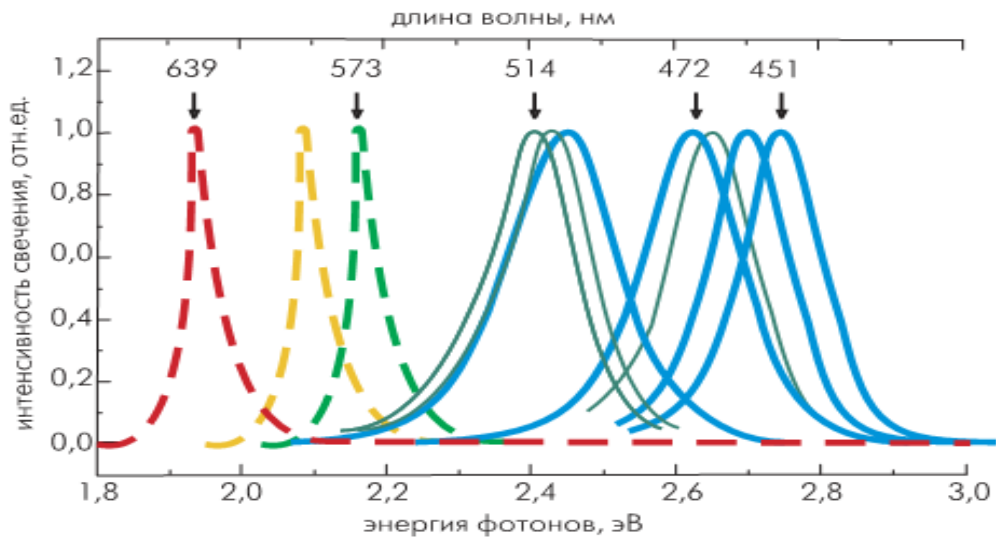


Рисунок 1.17 Спектральное распределение энергии излучения

Белый свет СД получают либо с помощью люминофоров преобразующих коротковолновое излучение в более длинноволновое, либо аддитивным смешиванием излучения трех кристаллов. Наиболее простой и дешевый способ введение люминофора, излучающего желтый свет, в состав полимерного корпуса синих СД. Однако цветопередача таких СД невысока (R_a не более 70). Лучшую цветопередачу при более высокой световой отдаче можно получить, используя три цветных люминофора, излучающих красный, зеленый и синий цвета (аналогично ЛЛ с узкополосными редкоземельными люминофорами). С применением люминофоров созданы СД с различной цветовой температурой (от 3000 до 8000 К) при общем индексе цветопередачи R_a до 85.

Световая отдача η_v лабораторных образцов красных СД ($\lambda_{\text{макс}}=611$ нм) достигает 102 лм/Вт и, по прогнозам специалистов, в ближайшие годы может превысить 150 лм/Вт. Выше 100 лм/Вт может быть также световая отдача зеленых (530 нм) и желтых (598 нм) СД. К 2004 г. для белых СД с люминофором достигнута световая отдача 50 лм/Вт для промышленных и 100 лм/Вт для лабораторных образцов. Световая отдача синих СД (470 нм) в настоящее время достигает 10 лм/Вт и в будущем может быть повышена до 50 лм/Вт.

Яркость I указывается в каталогах только для светодиодных матриц и пластин с достаточно большой площадью свечения. Яркость зависит от цвета излучения и может превышать 10000 кд/м².

Инерционность СД определяется временем нарастания светового потока от 0,1 до 0,9 и спада от 0,9 до 0,1 $\Phi_{\text{ном}}$ при подаче и снятии напряжения. У современных СД па основе МДГС это время составляет от 10 до 50 нс. Столь малая инерционность позволяет модулировать излучение СД с частотой до десятков мГц.

Типичная люмен-амперная характеристика СД приведена на рисунке 1.18. На достаточно больших участках эта характеристика линейна, однако при токах, значительно превышающих номинальные значения, у всех СД наблюдается отклонение от линейности (в сторону насыщения).

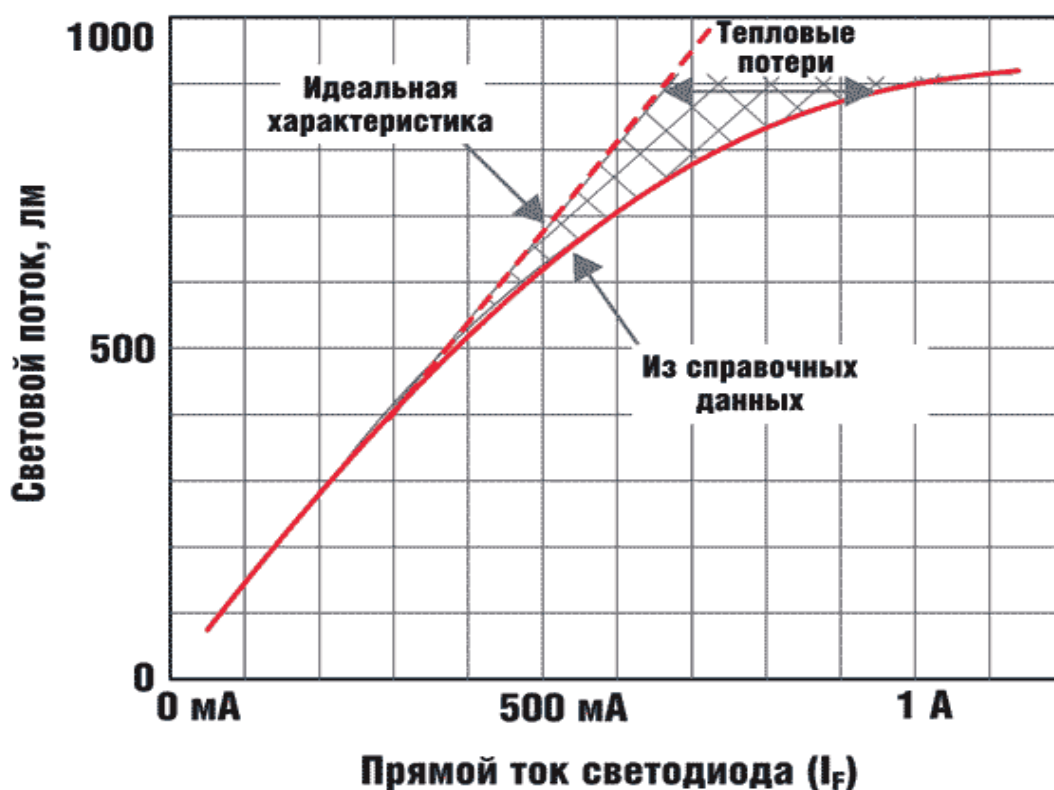


Рисунок 1.18 Люмен-амперная характеристика светодиода

Линейная зависимость светового потока от прямого тока и малая инерционность СД позволяют создавать на их основе света и цветодинамичные установки с очень широкими диапазонами изменения яркости и цвета, недостижимыми при использовании других ИС. Эти же свойства открывают дорогу для применения СД в устройствах оптической связи и дистанционного правления аппаратурой. Для этих целей, в основном, используются диоды, излучающие в ИК-области [65].

1.3 Существующие облучательные установки

Светодиодная фитолампа предназначена для подсветки растений, она обеспечивает оптимальный для роста и развития растения спектр излучения, не нагревается при работе, экономична (потребляемая мощность - 9 Вт), а также имеет длительный срок службы (более 10000 часов работы) (рисунок 1.19).



Рисунок 1.19 Общий вид лампы MT5070

Многие комнатные растения и цветы страдают в осенне-зимний период от недостатка освещения. Это проявляется в увядании листьев, вытягивании стеблей, отсутствии цветения и т.п. Поэтому очень желательно обеспечивать искусственную досветку растений.

Фотолампа не имеет влагозащиты, поэтому желательно оберегать её от воздействия брызг при поливе. Также недостатком данных облучателей является ограниченный спектр излучения.

Технические характеристики:

Рабочее напряжение, В: 220 (50 Гц)

Стандартный цоколь E27

Потребляемая мощность, Вт: 9

Спектр излучения:

- 620-630 нм: 8 красных светодиодов

- 460-470 нм: 1 синий светодиод

Габариты лампы, мм: d50x108

Вес, г: 130

Светодиодные лампы серии «Комфорт» оптимизированы по спектрам излучения для досвечивания уже взрослых растений и, одновременно максимально приближены по спектру к привычному для человека освещению и представляют собой малобюджетное решение с доступными потребительскими ценами. Модель «Алмаз-12 Комфорт», представленная на рисунке 1.20, предназначена для досветки или освещения взрослых растений при недостаточности солнечного освещения или полном его отсутствии.



Рисунок 1.20 Лампа Алмаз-12 Комфорт

Технические характеристики ламп «Алмаз-12 Комфорт»:

Потребляемая мощность: 12 Вт

Рабочее напряжение: 220 В

Рабочая температура: -25...+40 °С

Угол излучения : 15°/30°/45°/60°

Цоколь лампы: E27

Световой поток: 630 лм

Ресурс светодиодного модуля, час: > 50 000

Недостатком данных облучателей является ограниченный спектр излучения.

НТЦ «Оптоника» разработал и предлагает к использованию в качестве высокоэффективного и экономичного источника искусственного освещения растений новейшее светоэлектронное устройство - Светодиодный Осветитель Растений (СИДОР) (рисунок 1.21).



Рисунок 1.21 Светодиодный светильник СИДОР

Технические характеристики СИДОР- 18-1:

Световой поток, лм не менее	700
Яркость, кд/м ² не менее	20 000
Потребляемая мощность, Вт не более	18

Недостатком данных облучателей является узкий перечень применения с точки зрения технологии выращивания и также ограниченный спектр излучения.

Компания «Фокус» приступает к выпуску новой серии изделий: «Светодиодных светильников тепличных серии УСС БИО» (рисунок 1.22). Светильники серии «БИО» предназначены для установки в теплицах. Основная задача данных светильников – обеспечить полноценное прохождение фотосинтеза в растении на стадиях роста и наращивания биомассы. Для искусственной подсветки растений использовались светильники с лампами ДНаТ-400 PHILIPS и светодиодные све-

тильники УСС БИО оборудованные светодиодами с оптимальной длиной волны для роста и развития растений.



Рисунок 1.22 Светильник светодиодный УСС-70БИО

Технические характеристики УСС БИО:

Напряжение питания, В 220, 24

Диапазон напряжений, В 170-264

Частота, Гц 50-60

Коэффициент мощности драйвера, $\cos \varphi$ 0,95

Потребляемая мощность, Вт 50

Марка светодиода NICHIA

Количество светодиодов, 36шт.

Общий световой поток, Лм 4800

Цветовая температура, К 4500-5500

Габаритные размеры, мм 420x174x68

Масса, не более, кг 4,7

Температура эксплуатации, °С от -63 до +45

Вид климатического исполнения УХЛ1

Класс защиты от поражения электрическим током 1

Степень защиты светодиодного модуля IP67

Индекс цветопередачи, Ra 80

Недостатком данных облучателей является отсутствие функции коррекции спектра излучения.

Осветительные приборы Osram Fluora – это лампы с особым светом, предназначенные для подсветки аквариумов и искусственного выращивания растений (рисунок 1.23). Такие изделия характеризуются увеличенной долей красного и синего излучения, поэтому прекрасно подходят для стимулирования фотобиологических процессов у представителей флоры.



Рисунок 1.23 лампа Osram Fluora

Осветительные приборы Osram Fluora – это лампы с особым светом, предназначенные для подсветки аквариумов и искусственного выращивания растений. Такие изделия характеризуются увеличенной долей красного и синего излучения, поэтому прекрасно подходят для стимулирования фотобиологических процессов у представителей флоры.

Технические характеристики ламп Osram Fluora:

Потребляемая мощность: 58 Вт

Рабочее напряжение: 220 В

Рабочая температура: -25...+40 °С

Габаритные размеры (длина), мм 430

Цоколь лампы: G13

Световой поток: 630 лм

Ресурс светодиодного модуля, час: 13 000

Для создания баланса светового эффекта, а также получения мощного светового потока можно дополнительно установить обычные люминесцентные осветительные приборы с улучшенной цветопередачей. Такой тандем даст отличный эффект при искусственном выращивании цветов и декоративных растений. По сути, фитолампы представляют собой портативные источники света. Они массово используются для организации освещения в тепличных комплексах.

Недостатком данных облучателей является высокое потребление электроэнергии по сравнению со светодиодными облучателями, ограниченный спектральный состав излучения.

Выводы и задачи исследований

Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по оценке воздействия оптического облучения на растения в защищенном грунте, показал что 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 (ФАР), используемой растениями в процессе фотосинтеза. Отсюда вытекает необходимость создания светодиодной облучательной установки. Для этого необходимо выполнить следующие задачи:

1. Разработать математическую модель описывающую влияние спектральной плотности излучения на продуктивность меристемных растений культуры малины.
2. Обосновать и разработать технические требования на комплект оборудования светодиодной облучательной установки.

3. Провести лабораторные и производственные испытания и определить экономическую оценку применения светодиодного облучения меристемных растений культуры малины.

2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНОЙ МАЛИНЫ СОРТА «ГУСАР» ПО МИНИМУМУ ПРИВЕДЕННЫХ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ

2.1 Фотобиологическое действие оптического излучения

Фотосинтез органических веществ из неорганических в растениях является основой их развития и жизнедеятельности. К. А. Тимирязев впервые показал, что в процессе фотосинтеза существенную роль играет хлорофилл, который, поглощая оптического энергию излучения, активно участвует в окислительно-восстановительных реакциях. Благодаря этому из воды и углекислого газа образуется органическое вещество и свободный кислород.

В 1956г. Эмерсон экспериментально доказал, что фотосинтез связан с протеканием двух химических реакций, которые обусловлены двумя различными пигментными системами растения. Образование органических веществ в растении связано с протеканием сложной многоступенчатой системой фотохимических реакций. Было установлено, что для реализации фотосинтеза необходимо поглотить не менее 10 квантов энергии излучения. При этом не каждый фотон может быть эффективно поглощен, т.к. энергетические уровни молекулы квантованы и поэтому значение поглощенного кванта энергии не может быть любым [88].

Исследованиями В.М. Лемана, В.П. Ковриго и других было открыто явление световсхожести семян, связанного с поглощением света. Это объясняется тем, что в семенах растений содержится пигментная система – фитохром. При этом части спектра оптического излучения по-разному влияют на световсхожесть семян. Активная форма фитохрома в набухающих семенах обеспечивает протекание необходимых реакций, которые и приводят к прорастанию зародыша. Фитохромная

теория световсхожести семян объясняет стимулирующий эффект света на прорастание семян. С.В. Коняев дает следующий фотоконформационно-мембранный механизм регуляции: свет→изменение стереометрии хромофора→конформационная перестройка белка-носителя→структурная перестройка мембраны→изменение функциональной активности системы. Анализ многочисленных исследований позволяет сделать вывод, что свет при прорастании семян выполняет роль сигнала. Свет – единственный надежный указатель положения поверхности, а эта информация очень важна для прорастания семян с малым запасом питательных веществ. Сигнальный характер светового воздействия подтверждается исключительной эффективностью малых доз. Кванты УФ излучения зоны А обладает более высокой энергией, чем красной зоны, что усиливает сигнальную роль оптического излучения этой длины волны. Вместе с этим еще не выяснено, какая доза УФО является более эффективной, способствующей получению наибольшего количества конечного продукта[53].

В реальных облучательных установках фотобиологического действия преобразование излучения происходит по схеме нелинейного фотоприемника. Характер нелинейности кривой эффекта зависит не только от нелинейности процесса фотосинтеза, но и от вида критерия, по которому оценивается эффективность излучения. Нелинейный приемник в силу нелинейности кривой эффекта представляет собой также неаддитивный приемник. Поэтому суммирование действия разноточных излучений не может быть записано в виде интеграла.

Эффективность воздействия энергии оптического излучения оценивается реакцией биологического объекта. Существует несколько критериев оценки эффективности действия энергии излучения на растения. При физиологических исследованиях целесообразно оценивать интенсивность фотосинтеза по выделенному кислороду, как в химической реакции. С точки зрения производственно-хозяйственной деятельности эффективность энергии оптического излучения необходимо оценивать по конечному продукту (по массе плодов, листьев, общей биомассе и т. д.) в зависимости от того, какая часть растения представляет хозяйственный интерес [42].

На развитие растения помимо облучения оказывают влияние и другие факторы, формирующую среду, в которой оно растет. Поэтому реакция биологического приемка зависит не только от облучения, но и от целого комплекса дополнительных факторов, которые определяют жизнедеятельность растения не только в период облучения, но и также в предшествующие облучению периоды. Благодаря этому количественная оценка эффективности действия энергии оптического излучения представляет собой достаточно сложную многопараметрическую нелинейную функцию. Кроме того, эта функция может быть отнесена к числу неаддитивных. Эти обстоятельства в значительной степени усложняют возможность математического описания действия энергии оптического излучения на растение.

2.2 Моделирование процессов воздействия энергии оптического излучения на растения защищенного грунта по критерию минимума приведенных затрат

Разработана структурно-функциональная схема, обосновывающая рациональный способ облучения меристемных растений культуры малины за счет эффективной спектрального состава, соответствующего наименьшим приведенным удельным затратам (рисунок 2.1).

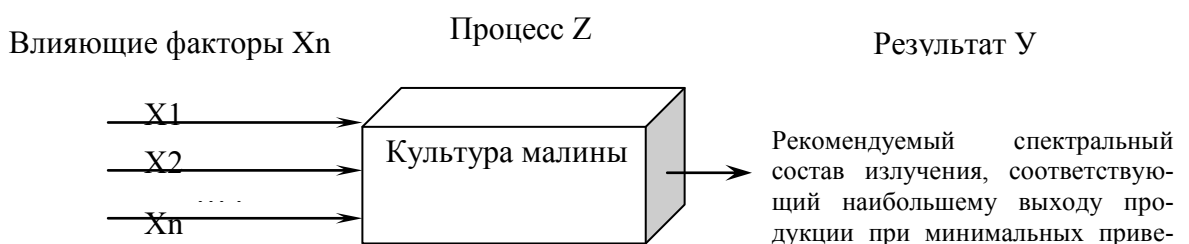


Рисунок 2. 1 Структурно–функциональная схема воздействия энергии оптического излучения на биологический объект

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 для комплекса 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 этих дополнительных факторов такими, 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.

$$\frac{\text{ПЗ}}{\sum m} \rightarrow \min \quad (2.1)$$

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

Приведенные удельные затраты определяются из выражения:

$$\text{ПЗ} = \frac{Z_{\text{обл}} + Z_{\text{в}}}{m_{\text{обл}}} \quad (2.2)$$

где $Z_{\text{обл}}$ – затраты, связанные с применением облучательных установок;

$Z_{\text{в}}$ – затраты, идущие на выращивание растений, не связанные с облучением;

$m_{\text{обл}}$ – количество выращенных растений при использовании дополнительного облучения.

Затраты $Z_{\text{обл}}$ определяются как сумма капитальных ($E_{\text{н}}K$) и эксплуатационных (ЭЗ) затрат на оборудование:

$$Z_{\text{обл}} = E_{\text{н}} \cdot K + \text{ЭЗ} \quad (2.3)$$

Капитальные затраты определяются по формуле:

$$E_n K = E_n \cdot (K_T + K_M + C_{OY}) \cdot N \quad (2.4)$$

где K_T – коэффициент, учитывающий транспортные расходы, принимается равным 11% от стоимости облучательных установок – C_{OY} , коэффициент, учитывающий затраты на монтаж, принимается 20-25% от C_{OY} , E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Эксплуатационные затраты определяются как:

$$ЭЗ = C_Э + C_A + З_П + З_{ТОР} \quad (2.5)$$

$C_Э$ – затраты, связанные с потреблением электроэнергии; C_A – затраты на амортизационные отчисления; $З_П$ – затраты, обусловленные выплатой заработной платы электромонтерам; $З_{ТОР}$ – затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Стоимость потребляемой электроэнергии находится как:

$$C_Э = 1 \cdot \beta \cdot P_L \cdot N \cdot T_{обл} \quad (2.6)$$

где 1 - коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в ПРА; β – стоимость 1 кВт*ч электроэнергии; N – число ламп; $T_{обл}$ – время работы лампы.

Амортизационные отчисления подсчитываются как:

$$C_A = \left(\frac{C_L \cdot K_T \cdot K_M}{T_L} + \frac{K - C_L \cdot K_T \cdot K_M}{T_{АР}} \right) T_{обл} \cdot N \quad (2.7)$$

где C_L – цена лампы, T_L и $T_{АР}$ – срок службы лампы и арматуры соответственно.

Затраты на выращивание растений определяются как:

$$З_В = \frac{m \cdot C_{растения}}{K_p} \quad (2.8)$$

где $C_{растения}$ – себестоимость растения, m – количество растений, K_p – коэффициент роста определяется из выражения:

$$K_p = \frac{m_{обл}}{m} \quad (2.9)$$

где $m_{\text{обл}}$ – количество растений полученных при дополнительном облучении, m – количество растений полученных без дополнительного облучения.

После решения выражений (2.2), (2.3), (2.4), (2.5), (2.6), (2.7), (2.8), (2.9) были получены зависимости, приведенные на рисунке 2.2.

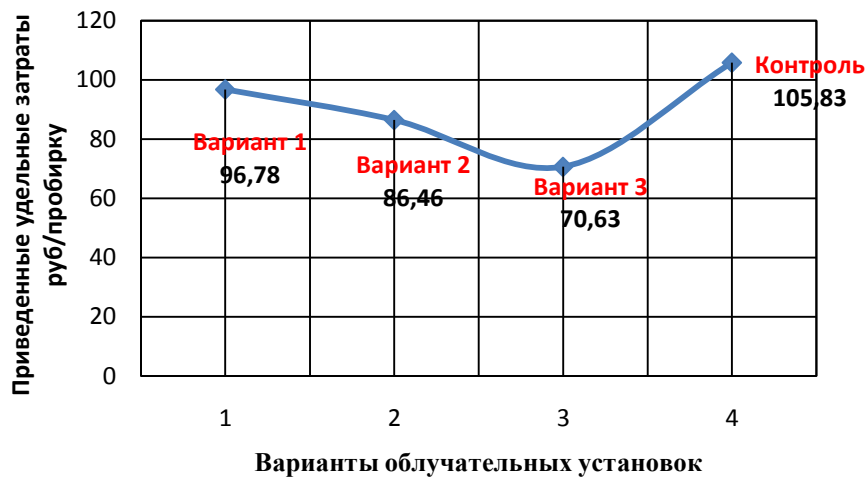


Рисунок 2. 2 Приведенные удельные затраты

Анализ данных показал, что при использовании светодиодной облучательной установки **Вариант 3** (с соотношением красного, синего и белого 50%:25%:25%) удалось получить наибольшее число выращиваемых растений и уменьшить приведенные удельные затраты, тем самым научно обосновать параметры спектрального состава облучения меристемной малины сорта «Гусар».

2.3 Необходимость эксэргетического анализа преобразований энергии в сельскохозяйственном производстве

В соответствии со вторым началом термодинамики (ВНТ) и законом выживания (ЗВ), энергия, потребляемая различными преобразователями (потребителями), потенциально не вся может быть преобразована в требуемый вид. Часть ее

рассеивается, безвозвратно деградирует в менее ценный вид энергии. Для разных видов энергии и различных типов преобразователей эта часть энергии (получившая название анергия), потенциально непревратимая в требуемый вид, может существенно различаться. Для количественного учета качества (превратимости, работоспособности) разных видов энергии используют величины энтропии или эксэргии – свободной энергии Гиббса. Эти величины определяют на основе ВНТ или ЗВ. Более сложно рассчитывать энтропию. Ее невозможно непосредственно измерить. Эксэргию существенно проще рассчитывать. Необходимость установления (расчета, измерения) эксэргии при анализе преобразований энергии непосредственно вытекает из определения ЗВ.

До середины восьмидесятых годов XX столетия в промышленной энергетике применяли энтропийный анализ преобразований энергии. Эксэргетический анализ как наиболее удобный, компактный и наглядный метод анализа преобразований энергии техническими устройствами выделился в самостоятельное направление в 1950-х гг. Начиная с 1980-х гг. в промышленной энергетике большинства стран мира предпочтение отдано применению эксэргетического анализа перед энтропийным [23].

Название величины «эксэргия» было введено югославским инженером З. Рантом в 1956 г. (Z. Rant). Слово «эксэргия» имеет греческое происхождение (приставка «ex» означает высокую степень, «ergon» – работа) и означает работоспособность. В термодинамике этот термин означает максимальную работоспособность. Эксэргия представляет собой ту часть общей энергии, которая потенциально пригодна для преобразования данным типом преобразователя в требуемый вид энергии. В общем виде аналитическая связь между общей энергией (W), анергией (a) и эксэргией (e) выражается формулой

$$e = W - a \quad (2.10)$$

Термодинамический (термический) КПД данного типа преобразователя (η_m) через эксэргию и общую энергию выражается формулой (2.11):

$$\eta_m = \frac{e}{W} \quad (2.11)$$

Практическое значение КПД данного типа преобразователя энергии, как известно, зависит от его конструктивного исполнения и режима работы. Оно всегда меньше теоретического значения КПД.

Эксэргетический метод анализа хорошо сочетается с системным подходом и технико-экономическим анализом. Величина эксэргии непосредственно представляет универсальную меру потенциальной превратимости (работоспособности) любого вида энергии. Необходимость использования подобной величины отмечал В.И.Вернадский. Он отмечал отсутствие «общей единицы для количественного сравнения всех естественных производительных сил» и указывал на необходимость и возможность иметь такую единицу: «между тем необходимо и возможно к единой единице привести все; только при этом условии можно подойти к полному количественному анализу той потенциальной энергии страны, которая может дать удобное для жизни представление о пределах заключающегося в данной стране народного богатства» [33]. Из этой цитаты видно, что эксэргетический анализ необходим не только для анализа преобразований энергии, но и для социально-экономического анализа.

При рассмотрении вопросов энергосбережения в сельскохозяйственном производстве, к сожалению, в большинстве случаев пользуются балансом общей энергии без количественного учета качества (превратимости) различных видов энергии. Для устранения этого недостатка пользуются различными коэффициентами, энергетическими эквивалентами, а также расчетным определением затрат первичной энергии. Однако такая замена эксэргетического анализа не обеспечивает надежного количественного учета качества различных видов как техногенной, так и природной энергии, используемой в сельскохозяйственном производстве.

В промышленной энергетике такой учет надежно осуществляют на основе эксэргетического анализа. Так как сельскохозяйственное производство главную часть техногенной энергии получает от промышленной энергетике, то, исходя и из этого обстоятельства, также видна необходимость применения эксэргетического анализа при решении задач энергосбережения в растениеводстве и аграрной

отрасли производства в целом. Эксэргетический анализ, к сожалению, не получил должного распространения применительно к главным биологическим преобразователям энергии – растениям, которые являются первичными преобразователями солнечной энергии в экологии и аграрном производстве.

Рассмотрим кратко состояние оценки потенциальной превратимости энергии главными первичными преобразователями энергии в сельском хозяйстве и экологии – растениями. Разработку методики для определения (количественной оценки) эксэргии природной энергии оптического излучения (света) на входе в растения проводило большое количество отечественных [21] и зарубежных ученых. Такая методика, в первом приближении, научно обоснована. На ее основе разработаны отечественные отраслевые стандарты [47], которыми регламентирована такая оценка. Подобная оценка предусмотрена и немецкими национальными нормами DIN [92]. В этих стандартах и нормах приведена система величин и единиц для оценки потенциальной превратимости солнечной энергии применительно к процессу фотосинтеза растений. Для непосредственного измерения в соответствии с этой методикой величины фотосинтезной энергии – свободной в отношении фотосинтеза растений энергии оптического излучения (тождественной эксэргии), созданы специальные приборы – фитофотометры – как в нашей стране [23], так и за рубежом. Эти приборы позволяют непосредственно измерять мощность поступающей на поверхность земли эксэргии солнечного излучения для растениеводства.

Вопрос оценки эксэргии оптического солнечного излучения в отношении фотосинтеза растений – основного первичного процесса преобразования энергии в растениеводстве и экологии – можно считать в должной мере решенным. Достаточная разработанность для практических целей вопроса оценки эксэргии солнечного излучения на входе в растения является благоприятным условием для применения эксэргетического анализа при решении задач энергосбережения в сельскохозяйственном производстве. Приоритет на способ оценки фотосинтезного действия оптического излучения на растения защищен отечественным авторским свидетельством на изобретение.

Эксергетическая оценка энергии на входе в технические преобразователи наиболее полно разработана и широко применяется в промышленной энергетике в последние десятилетия [76]. Как ясно из предыдущего, общая система эксергетической оценки энергии на входе в технические и биологические преобразователи энергии реально существует. Это, несомненно, благоприятствует применению общего эксергетического анализа преобразований природной и техногенной энергии в агроэнергетике для решения задач энергосбережения в сельскохозяйственном производстве и АПК в целом.

Необходимо иметь в виду имеющиеся сомнения в целесообразности применения эксергетического анализа в процессах биоконверсии энергии. Основным доводом против такого анализа приводят положение о том, что реальные процессы биопреобразований энергии происходят при уровнях мощности (скоростях, облученностях, интенсивностях), насыщающих или близких к насыщению, при которых эксергия далеко не полно используется из-за явления насыщения. Однако при этом упускают из вида особо важное преимущество такого анализа, состоящее в обеспечении корректной точки отсчета (начала исчисления) при анализе преобразований энергии для корректного определения теоретического и практического КПД биопреобразований энергии различными видами конкретных преобразователей (растения, животные, микроорганизмы). Это особенно важно при сравнительной оценке использования ими разных первичных энергоносителей (различных кормов, субстратов, оптического излучения с различным спектральным составом). Корректный количественный эксергетический анализ как биоконверсии энергии организмами, так и техногенными преобразователями энергии особенно необходим в связи с разработкой машинных высокоэффективных (точных, оптимальных) технологий в земледелии и животноводстве. Без эксергетического анализа корректная количественная оценка меры эффективности (оптимальности, точности) таких технологий, очевидно, невозможна.

Энергия солнечного излучения, приходящая на поверхность Земли, – главный первоисточник энергии для фототрофных растений. Зеленые растения включают эту энергию во все процессы живой природы биосферы. В соответст-

вии с общими принципами энергосбережения, принятыми в этой работе процессы преобразования энергии при получении сельскохозяйственной продукции необходимо рассматривать на основе эксэргетического анализа с учетом биоконверсии энергии. Главный процесс биологических преобразований энергии в аграрном производстве – фотосинтез растений. В связи с этим оценку агроэкологических условий целесообразно начать с определения потенциальной превратимости энергии солнечного излучения в процессе фотосинтеза растений – эксэргии энергии оптического излучения (света) в отношении фотосинтеза растений. Эта величина может сыграть роль начала корректного исчисления (точки отсчета) в определении всех других агроэкологических величин.

Попытки определения этой величины для суммарного сложного (разноспектрального, немонахроматического) солнечного излучения непосредственно на основе ВНТ не привели к положительным результатам [17]. Ее определение оказалось возможным посредством двух последовательных этапов. Сначала определялась эксэргия (максимальная фотосинтезная эффективность) монохроматического излучения с длиной волны 680 нм, которая соответствует максимальному значению спектральной эффективности фотосинтеза. Затем, используя данные по относительной спектральной эффективности фотосинтеза (спектр действия фотосинтеза), установленной экспериментально или расчетным путем, определялась эксэргия сложного солнечного излучения [45].

Эксэргию монохроматического излучения можно определить на основе квантовой эквивалентности фотохимического действия излучения. В соответствии с квантовой эквивалентностью один поглощенный фотон вызывает единственный первичный фотохимический процесс (акт). Однако кроме эффективного поглощения, непосредственно вызывающего первичный фотохимический акт, определенная часть поглощенных фотонов может затрачиваться на сопутствующие побочные процессы, например превращаться в тепловую энергию. Для учета эффективно поглощенных фотонов введен показатель квантового выхода u , под которым понимается отношение числа частиц (молекул) N , претерпевших химические превращения, к числу поглощенных фотонов n . Для монохроматического из-

лучения значение n можно определить отношением поглощенной энергии W_n к величине энергии фотона $h\nu$. Значение квантового выхода, исходя из этого, можно определить по выражению:

$$\gamma = \frac{N}{n} = N/(W_n/h \cdot \nu) = N/(W_n a_\lambda / h \cdot \nu) \quad (2.12)$$

где W_n – энергия падающего излучения; a_λ – коэффициент поглощения монохроматического излучения с рассматриваемой длиной волны λ ; $h\nu$ – величина энергии фотона; W_n – энергия поглощенного излучения.

Расчеты в фотохимии проводят обычно из расчета на 1 моль. В связи с этим при расчете энергию излучения целесообразно выражать в Эйнштейнах (Эн). 1 Эн равен энергии, переносимой молярным числом (N_A) фотонов с данной длиной волны, т. е.

$$1 \text{ Эн} = N_A \cdot h \cdot \nu = E_m \quad (2.13)$$

где E_m – энергия молярного числа фотонов.

Эксэргию – максимальную фотосинтезную эффективность монохроматического излучения можно определить, исходя из возрастания свободной энергии Гиббса в процессе фотосинтеза (G). При восстановлении 1 граммоля двуокиси углерода или освобождении 1 граммоля кислорода максимальное значение G составляет 120 ккал [56]. Величину возрастания свободной энергии можно в данном случае отождествить с величиной энергии, эффективно преобразованной в процессе фотосинтеза. В соответствии с экспериментальными данными, приведенными в [88], спектральный коэффициент поглощения листа растения для излучения с длиной волны 680 нм, обладающего максимумом фотосинтезного действия, можно принять равным единице (100 %).

Минимальное количество энергии излучения, необходимой для возрастания свободной энергии в процессе фотосинтеза на 120 ккал, можно определить по минимальному квантовому расходу (величине, обратной квантовому выходу). Минимальный квантовый расход, полученный Варбургом экспериментально [98], составил 2,8. Если учесть, что часть энергии фотона, не использованная на элементарный процесс фотосинтеза, уже не может участвовать в этом процессе, то ми-

нимальное значение квантового расхода следует принять равным трем. Принимая во внимание это и значение энергии 1 Эн, равное для излучения с длиной волны 680 нм 42 ккал, а также отождествляя произведение энергии 1 Эн на квантовый расход с эффективно поглощенной энергией излучения, получим следующее значение эксэргии монохроматического излучения с рассматриваемой длиной волны:

$$e_{c.m} = 120/(3 \times 42) = 0,95 \quad (2.10)$$

Значение эксэргии монохроматического излучения с длиной волны 680 нм в отношении фотосинтеза растений при минимальном квантовом расходе, равном трем, составляет 95%. Это значение совпадает со значением этой величины и при расчете ее по формуле Карно для монохроматического излучения с длиной волны 680 нм, если температуру излучающей поверхности Солнца принять реальной, равной 6000 °К [43].

Эксэргию суммарную сложного солнечного излучения, а также излучения любого другого спектрального состава (e_c), в отношении фотосинтеза растений, поступающего за период времени $t_1 - t_2$, можно определить, учитывая спектральную эффективность (спектр действия) фотосинтеза ($K(\lambda)_\phi$) и распределение излучения по спектру ($\varphi(\lambda)_c$), по формуле:

$$e_c = 0,95 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda)_c k(\lambda)_\phi dt d\lambda \quad (2.11)$$

В зависимости от высоты Солнца и состояния атмосферы соотношение прямого и рассеянного солнечного излучения, а также их спектральный состав у поверхности земли могут существенно изменяться, но суммарный (прямое + рассеянное) спектральный состав остается практически постоянным. Возможно определение эксэргии как только прямого, так и сложного солнечного суммарного излучения. Рассчитана эксэргия - максимальная фотосинтезная эффективность - по формуле (2.19). Для прямого солнечного излучения, при высоте Солнца над горизонтом от 60° до 10°, в безоблачный день, эксэргия прямого солнечного излучения в отношении фотосинтеза растений составляет от 16 до 24 % от суммарной энергии прямого оптического излучения у поверхности земли. Для суммарного излучения (прямое + рассеянное) эта величина составляет 20 % [44]. Так как

принципиальных различий фотосинтетического действия для прямого и рассеянного излучений не обнаружено, то удобно пользоваться эксэргией суммарного излучения.

Эксэргия солнечного излучения в отношении фотосинтеза растений представляет собой ту часть общей энергии солнечного излучения, приходящего на поверхность земли, которая потенциально (при наиболее благоприятных всех других экологических условиях) может быть использована растениями на фотосинтез и формирование продуктивности.

Эту величину можно непосредственно измерять с помощью прибора – фотометра, имеющего спектральную чувствительность, подобную спектру действия фотосинтеза, и соответственно отградуированного. Этот прибор целесообразно назвать измерителем мощности эксэргии оптического излучения в отношении фотосинтеза растений – мощности эксэргии излучения в растениеводстве.

Эксэргия солнечного излучения в отношении фотосинтеза растений является исходной величиной для корректного количественного, взаимно согласованного определения на единой методической основе в эксэргетических единицах других ключевых величин агроэкологии: агроклиматического (биоэнергетического) потенциала, мелиоративных потенциалов земли, ее потенциального плодородия и потенциальной (максимальной) продуктивности растений в заданных экологических условиях.

Проведенные нами исследования позволили получить следующие графические зависимости, иллюстрирующие изменение площади листьев меристемной малины в зависимости от вида облучения (рисунок. 2.3)

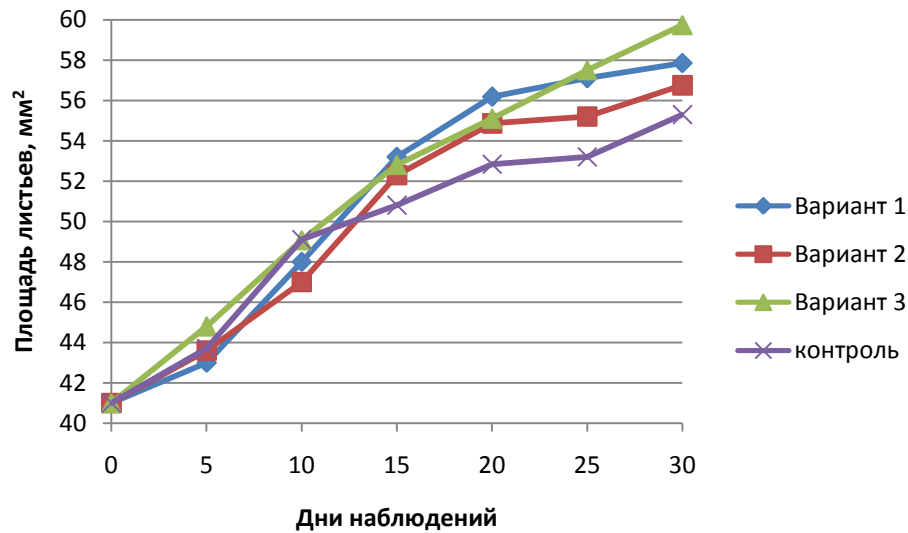


Рисунок 2.3 Изменение площади листьев меристемной малины за 30 дней.

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., Контроль – Светильник марки ЛПО 3017 с люминесцентными лампами мощностью 2x36 Вт (Контроль).

Из рисунка 2.3 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:

$$S_{2к.1с.} = \begin{cases} 1,75 t^2 - 3,75t + 43,5_ при_5 < t < 15_ при_ R^2 = 1 \\ -1,11 t^2 + 8,53t + 40,58_ при_15 < t < 25_ при_ R^2 = 1 \\ -0,58 t^2 + 1,175t + 55,09_ при_25 < t < 35_ при_ R^2 = 1 \end{cases} \quad (2.16)$$

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

$$S_{1к.1с.1б} = \begin{cases} 0,55 t^2 + 0,65t + 40,1_ при_5 < t < 15_ при_ R^2 = 1 \\ -1,37 t^2 + 9,41t + 38,96_ при_15 < t < 25_ при_ R^2 = 1 \\ -0,605 t^2 - 1,475t + 55,73_ при_25 < t < 35_ при_ R^2 = 1 \end{cases} \quad (2.17)$$

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

$$S_{2к.1с.1б} = \begin{cases} 0,76 t^2 + 0,47t + 0,82_{\text{при}_5} < t < 15_{\text{при}_R^2} = 1 \\ -0,715 t^2 + 5,875t + 43,91_{\text{при}_{15}} < t < 25_{\text{при}_R^2} = 1 \\ -0,08 t^2 + 2,64t + 52,54_{\text{при}_{25}} < t < 35_{\text{при}_R^2} = 1 \end{cases} \quad (2.18)$$

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

$$S_{\text{конт}} = \begin{cases} 1,35 t^2 - 1,35t + 41_{\text{при}_5} < t < 15_{\text{при}_R^2} = 1 \\ 0,17 t^2 + 1,19t + 47,74_{\text{при}_{15}} < t < 25_{\text{при}_R^2} = 1 \\ 0,87 t^2 - 2,25t + 54,22_{\text{при}_{25}} < t < 35_{\text{при}_R^2} = 1 \end{cases} \quad (2.19)$$

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

$$Q = \frac{0,95 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda) c k(\lambda)_{\phi} dt d\lambda}{\text{ПЗ}} \rightarrow \max \quad (2.20)$$

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

$$Q_{2к.1с.1б} = \frac{0,95 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \begin{cases} 0,76 t^2 + 0,47t + 0,82_{\text{при}_5} < t < 15_{\text{при}_R^2} = 1 \\ -0,715 t^2 + 5,875t + 43,91_{\text{при}_{15}} < t < 25_{\text{при}_R^2} = 1 \\ -0,08 t^2 + 2,64t + 52,54_{\text{при}_{25}} < t < 35_{\text{при}_R^2} = 1 \\ 1,35 t^2 - 1,35t + 41_{\text{при}_5} < t < 15_{\text{при}_R^2} = 1 \\ 0,17 t^2 + 1,19t + 47,74_{\text{при}_{15}} < t < 25_{\text{при}_R^2} = 1 \\ 0,87 t^2 - 2,25t + 54,22_{\text{при}_{25}} < t < 35_{\text{при}_R^2} = 1 \end{cases} k(\lambda)_{\phi} dt d\lambda}{\text{ПЗ}_{2к.1с.1б}} = 0,07 \text{ Эн/руб}$$

При использовании светильников ЛПО 3017 с лампой ЛБ 36 Вт.

$$Q_{\text{контроль}} = \frac{0,95 \int_{t_1}^{t_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \begin{cases} 1,35 t^2 - 1,35t + 41_{\text{при}_5} < t < 15_{\text{при}_R^2} = 1 \\ 0,17 t^2 + 1,19t + 47,74_{\text{при}_{15}} < t < 25_{\text{при}_R^2} = 1 \\ 0,87 t^2 - 2,25t + 54,22_{\text{при}_{25}} < t < 35_{\text{при}_R^2} = 1 \\ 1,35 t^2 - 1,35t + 41_{\text{при}_5} < t < 15_{\text{при}_R^2} = 1 \\ 0,17 t^2 + 1,19t + 47,74_{\text{при}_{15}} < t < 25_{\text{при}_R^2} = 1 \\ 0,87 t^2 - 2,25t + 54,22_{\text{при}_{25}} < t < 35_{\text{при}_R^2} = 1 \end{cases} k(\lambda)_{\phi} dt d\lambda}{\text{ПЗ}_{\text{контроль}}} = 0,012 \text{ Эн/руб.}$$

В результате проведенных исследований наименьшие приведенные затраты и наибольшая продуктивность была получена у светодиодной установки с соот-

ношением красного, синего и белого 50%:25%:25%., схема 2К.1С.1Б. Величина эффективной облученности также оказалась максимальной равной 0,07 Эн /руб.

Выводы

1.Проведя аналитический анализ математических моделей оптического излучения, нами разработана математическая модель, позволяющая обосновать контролируемые и регулируемые параметры процесса функционирования системы и определить наиболее эффективный спектральный состав излучения источника облучения.

2. Разработана методика определения величины эффективной облученности, позволяющая оценить облучательные установки с разной спектральной плотностью излучения на основе эксэргии.

3 ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА СВЕТОДИОДНУЮ СИСТЕМУ ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНОЙ МАЛИНЫ

3.1 Влияние температуры на характеристики светодиодов

Ошибочно полагать, что светодиоды не генерируют тепла. Несмотря на то, что светодиоды и не излучают его в потоке света (т. е. обладают холодными пучками света), они все же вырабатывают тепло. Как и другие источники света, светодиоды преобразуют электрическую энергию в энергию излучения и генерируют тепло. Отношение тепловой энергии к энергии излучения зависит от потребляемой мощности и эффективности системы. Лампы накаливания вырабатывают большое количество инфракрасного (ИК) излучения и выделяют большое количество тепла. При этом они излучают малое количество видимого света. Люминесцентные и металлогалогенные лампы производят не только большее количество видимого света, но и большое количество ИК и ультрафиолетового (УФ) излучения, а также много тепла. Как это ни странно, светодиоды преобразуют относительно небольшую часть электроэнергии в энергию излучения, примерно столько же, сколько металлогалогенные и люминесцентные лампы, но так как они излучают очень малое количество ИК и УФ-излучения, то доля (в процентном отношении) видимого света, испускаемого светодиодами, сравнима с такой же долей у металлогалогенных и люминесцентных ламп и превосходит ее у ламп накаливания [23].

На таблице 3.1 приведены сравнительные данные о долях (в процентном отношении) потребляемой мощности, преобразуемых в энергию излучения и в

тепло светодиодами и некоторыми традиционными источниками света. Эти данные относятся к источникам белого света.

Таблица 3.1 Доли потребляемой энергии, преобразуемой в энергию излучения и тепла различными источниками света

	Светодиоды	Лампа накаливания	Люминесцентная лампа	Металлогалогенная
Видимый свет	15-25%	8%	21%	27%
ИК	0%	73%	37%	17%
УФ	0%	0%	0%	19%
Тепло	75-85%	19%	42%	37%

Эффективный отвод тепла является очень важным фактором для обеспечения нормальной работы светодиода, так как сильный нагрев снижает световой поток светодиода и уменьшает его полезный срок службы. Для нормальной работы светодиодного источника света от него должно отводиться генерируемое в нем тепло. В правильно сконструированных световых приборах применяются эффективные радиаторы и другие теплоотводящие и конвекционные устройства, удаляющие тепло от светодиодных источников света и рассеивающие его в окружающем пространстве [21].

Одной из важнейших характеристик светодиода является температура р-п-перехода, которая часто обозначается как T_j . Р-п переход является тем местом в светодиоде, где электрическая энергия (энергия электронов) преобразуется в видимый свет (фотоны) и в тепло. При увеличении температуры р-п перехода световой поток и срок службы светодиода уменьшаются.

На температуру перехода светодиода влияют три фактора: ток возбуждения, теплоотвод и окружающая температура. Как правило, чем выше ток возбуждения, тем выше температура перехода.

Количество тепла, которое может быть отведено, зависит от окружающей температуры и конструкции устройства отвода тепла от светодиода в среду, окружающую световой прибор [45].

Обычно мощные светодиодные осветительные приборы включают в себя излучатель, печатную плату и теплоотвод. Излучатель припаивается к печатной

плате. Он включает полупроводниковый кристалл, оптику и теплоотвод, с помощью которого тепло отводится от полупроводникового кристалла. В большинстве светодиодных световых приборов используются печатные платы с алюминиевой подложкой (МСРСВ).

Через печатную плату с алюминиевой подложкой тепло передается с теплоотвода светодиода на внешний радиатор, на котором установлена печатная плата. Через внешний радиатор, закрепленный на корпусе светового прибора или конструктивно совмещенный с ним, тепло отводится в окружающее пространство (рисунок 3.1). При отсутствии или блокировке внешнего теплоотвода светодиоды, находящиеся внутри светового прибора, выходят из строя за считанные минуты.

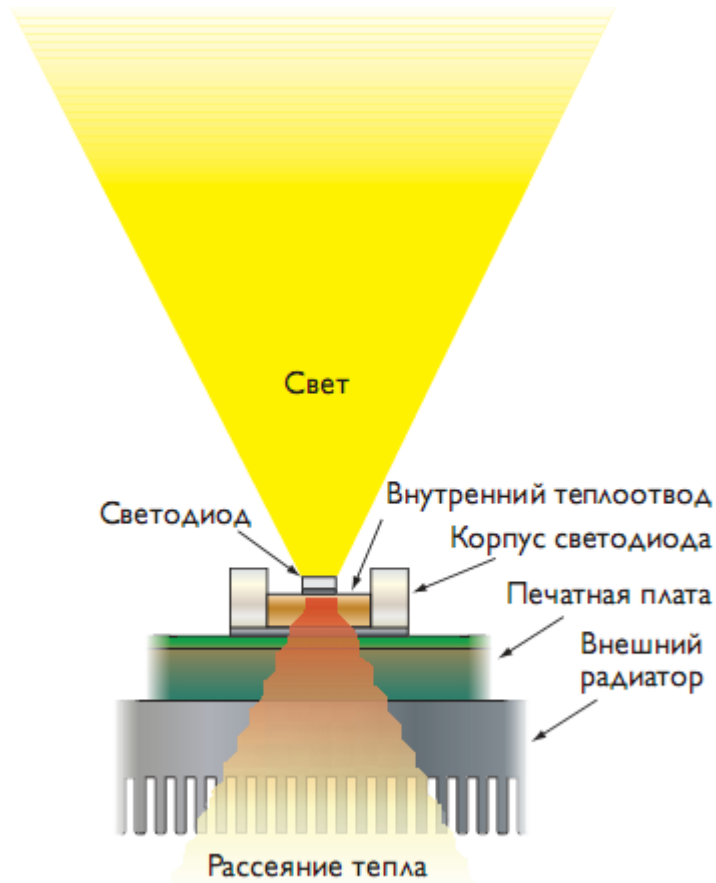


Рисунок 3.1 Схема отвода тепла в светодиоде.

Производители измеряют световой поток выпускаемых ими светодиодов при использовании импульса тока длительностью 15...20 мс при фиксированной температуре перехода, равной 25 °С.

3.1.1 Влияние температуры р-п перехода на световой поток

Производители измеряют световой поток выпускаемых ими светодиодов при использовании импульса тока длительностью 15...20 мс при фиксированной температуре перехода, равной 25 °С. Температура перехода светодиода в правильно сконструированной светодиодном световом приборе при нормальной работе с установленными теплоотводящими устройствами обычно находится в диапазоне 60...90 °С или даже может превышать это значение. Так как рабочая температура перехода почти всегда больше 25 °С, то установленные в световом приборе светодиоды излучают как минимум на 10% меньше света, чем указывают их производители, если дополнительно не предоставлены данные для более высоких температур перехода [43].

На рисунке 3.2 показано, какое влияние оказывает повышение температуры перехода на световой поток светодиодов разных цветов.

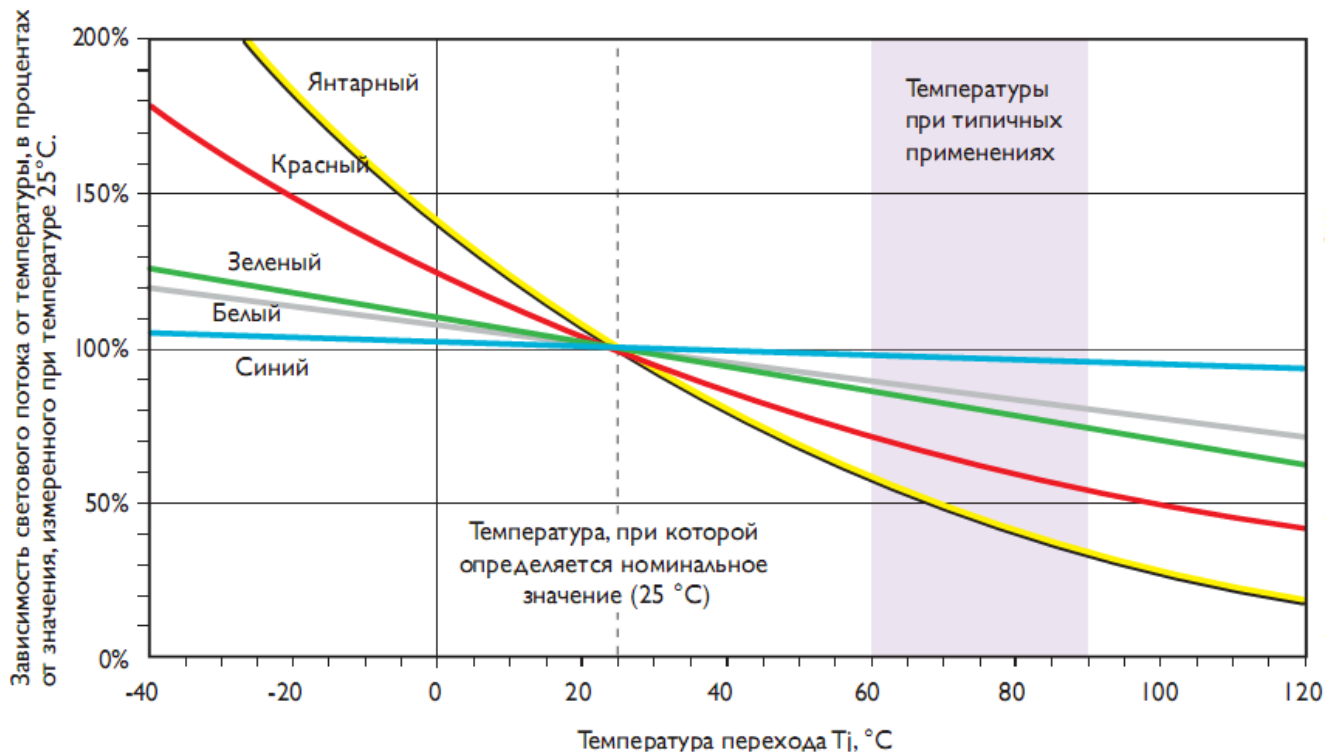


Рисунок 3.2 Влияние температуры на световой поток светодиодов

Янтарные и красные светодиоды наиболее, а синие - наименее чувствительны к изменениям температуры перехода.

Являясь информативной и показательной частью многомерной системы параметров светодиодов, колориметрические характеристики важны как с практической точки зрения их использования в устройствах, так и с точки зрения определения качественных показателей излучающих структур или примененных в тех или иных светодиодах кристаллов.

Из рисунка 3.3 хорошо видно, как изменяется и смещается спектр излучения при изменении температуры. Приведенные здесь функции распределения светового потока по абсолютной длине волны $F(\lambda)$, как правило, не применяются для описания характеристик излучения светодиодов напрямую, а служат в основном исходным материалом для расчетов большого числа производных величин. Прежде всего, это связано с переходом абсолютных энергетических единиц к светотехническим, зависящим от кривой видности глаза $V(\lambda)$ и образующимся путем нахождения интегрированной доли исследуемого спектра в общем интеграле функции $V(\lambda)$.

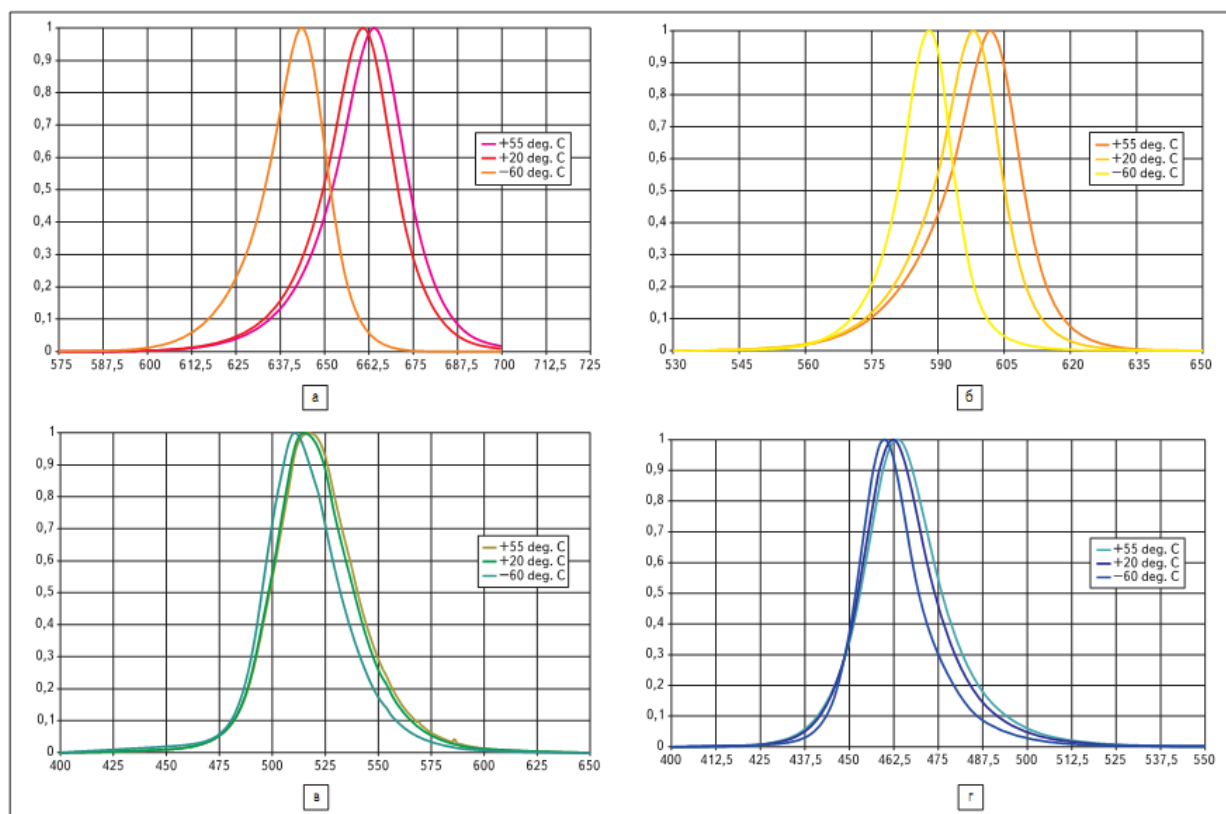


Рисунок 3.3 Относительное спектральное распределение излучения светодиодов при различных температурах окружающей среды от -60 до $+55$ °C:

а) красных, б) желтых, в) зеленых, г) синих

Приведенные ниже графики зависимостей некоторых величин от температуры расположены в порядке возрастания информативности для визуальной оценки излучения светодиодов. Для некоторого пояснения стоит рассмотреть рисунок 3.4 с детализировкой спектра излучения синего светодиода.

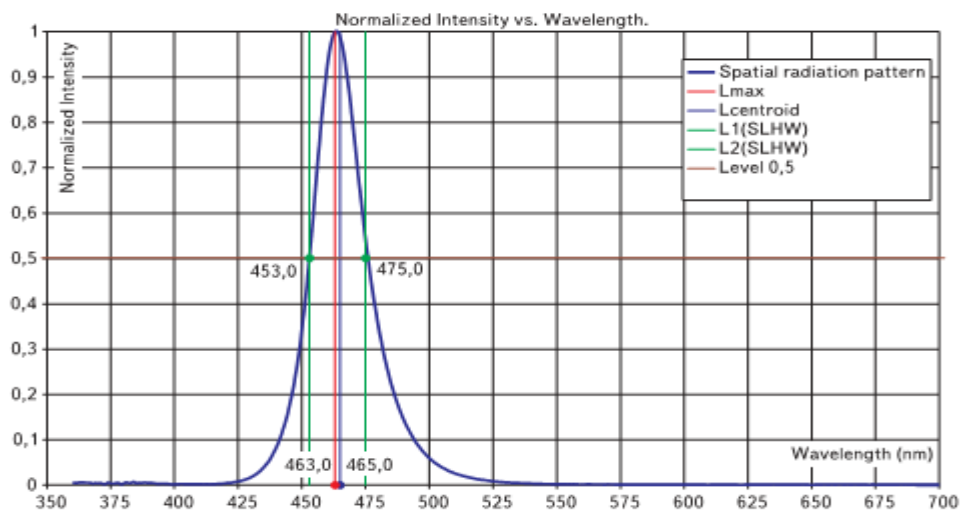


Рисунок 3.4 Детализировка спектра излучения синего светодиода

Максимальная длина волны L_{max} показывает максимальную амплитудную составляющую спектра, по которой можно определить положение пика функции спектрального распределения на шкале длин волн. Длина волны L_{cen} (центроидная или центральная) более информативна и, являясь «центром масс» интеграла функции $F(\lambda)$, может дать понятие о симметрии кривой спектрального распределения в соответствии с тем, насколько она отличается от L_{max} . Это отличие обозначит фактор неидеальности спектрального распределения как следствие нарушения гауссовского распределения переходов с различными значениями Eg . В идеальном случае L_{max} и L_{cen} совпадут.

Наиболее часто в спецификациях встречается полуширина спектра излучения по уровню 0,5 от максимума амплитуды. Эта величина получается как разница значений длин волн правого и левого спадов спектральной характеристики излучения, соответствующих указанному выше уровню амплитуды. Полуширина функции $F(\lambda)$ позволяет судить о составе спектра излучения и степени монохроматичности (чистоты) цвета как качественного показателя излучения светодиода. На рисунке 3.4 наглядно видно положение описанных величин, рассчитанных заранее из приведенного там спектра, понимание смысла которых позволит нам дальше подробно рассмотреть их зависимости от температуры и представить, как это выглядит в зрительном восприятии излучения светодиодов глазом человека.

Особо стоит отметить относительную спектральную световую эффективность излучения (оптический коэффициент, измеряемый в лм/Вт). Этот параметр тоже интегральный, и именно он осуществляет связь абсолютных энергетических характеристик излучения с функцией $V(\lambda)$, когда речь идет о световом потоке и мощности светового излучения. Коэффициент K показывает, какая интегральная, «весовая» доля исследуемого спектра присутствует в излучении относительно всей «массы» — кривой видности $V(\lambda)$. Формула (3.1) для нахождения этого коэффициента:

$$K = \frac{\int_{780}^{360} E(\lambda)V(\lambda)d(\lambda)}{\int_{780}^{360} E(\lambda)d(\lambda)} \quad (3.1)$$

где $E(\lambda)$ – относительное спектральное распределение светодиода, а $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность (кривая видности глаза).

Однако все же стоит отметить, что этот параметр включает в себя интегральную сумму всех отдельных описанных величин и поэтому служит хорошей характеристикой качественных показателей спектра. А значит, его поведение при изменении температуры, показанное на рисунке 3.5 синей линией на всех графиках, вместе с изменением полуширины спектра позволит четко представлять картину уходов цветowych и мощностных (имеется в виду квантовый выход или оптическая мощность) характеристик светодиодов.

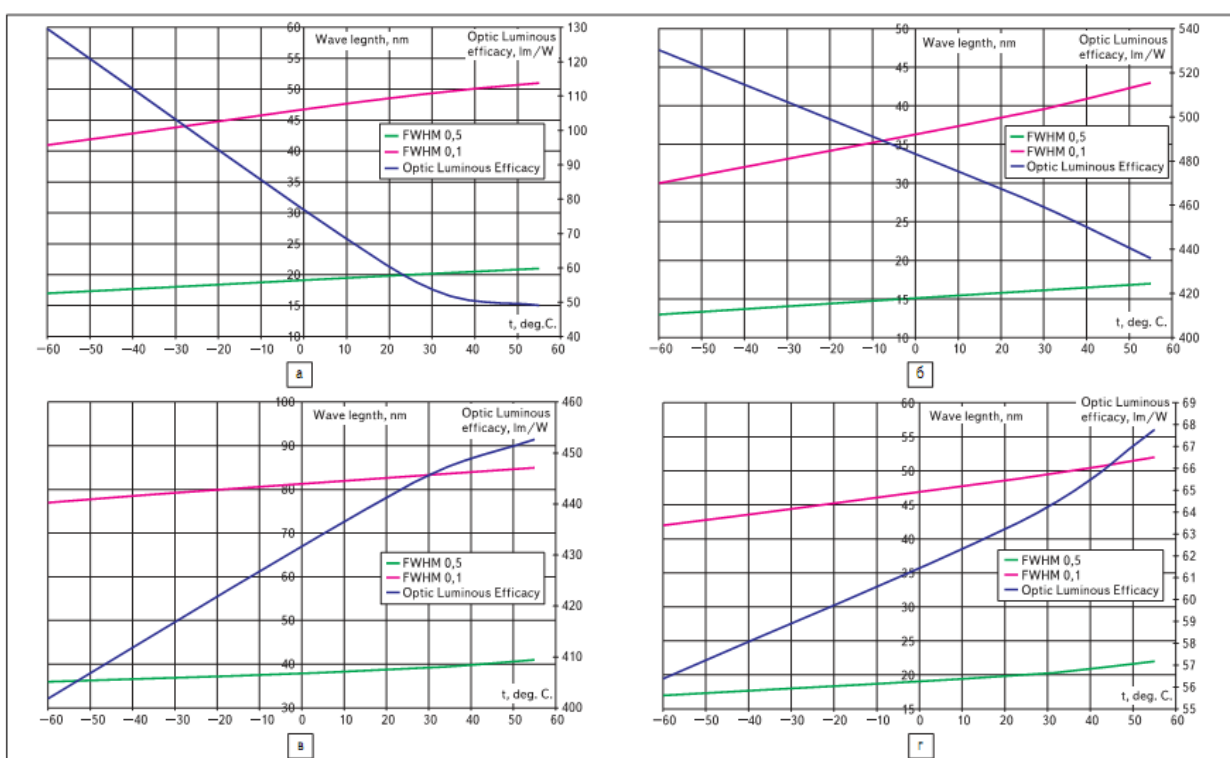


Рисунок 3.5 Спектральная эффективность излучения и ширина спектра излучения по уровням 0,1 и 0,5 светодиодов при различных температурах окружающей среды от - 60 до +55 °С

Изменение параметров спектра от температуры, соотнесенное с изменением светового потока даст функцию зависимости оптической мощности светодиода от прямого тока I_f при разных температурах – формула (3.2).

$$P(T_a) = F(T_a)/K(T_a) \quad (3.2)$$

3.2 Актуальность применения программируемых логических контроллеров при автоматизации технологических процессов

Широкое применение средств автоматизации производственных процессов, напрямую влияющее на сокращение издержек и повышение качества продукции, становится главным фактором развития российского промышленного производства. Современное предприятие наряду с полностью автоматизированными или роботизированными линиями включает в себя и отдельные полуавтономные участки – системы блокировки и аварийной защиты, системы подачи воды и воздуха, очистные сооружения, погрузочно-разгрузочные и складские терминалы и т.п. Функции автоматизированного управления для них выполняют программно-технические комплексы (ПТК). Они строятся с использованием аппаратно-программных средств, к которым относятся средства измерения и контроля и исполнительные механизмы, объединенные в промышленные сети и управляемые промышленными компьютерами с помощью специализированного ПО. При этом, в отличие от компьютерных сетей, центральным звеном ПТК является не главный процессор, а программируемые логические контроллеры, объединенные в сеть [87].

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) объединяют различные объекты и устройства, локальные и удаленные, в единый комплекс и позволяют контролировать и программировать их работу как в целом. Этим обеспечивается максимальная эффективность и безопасность производства, возможность оперативной наладки и переналадки, строгий учет и планирование показателей операционной деятельности, оптимизация процессов.

При программировании промышленных программируемых контроллеров используется стандартный язык контактно-релейной логики или функциональных схем.

В настоящее время используются системы автоматизации на базе программируемых контроллеров, связанных с персональным компьютером. Они получают все большее распространение благодаря удобству, доступности, простому интерфейсу и низкой стоимости.

Открытые протоколы, стандартизация отдельных компонентов и свершившийся всеобщий переход на контрактное производство стирает различия между категориями программируемых контроллеров и даже между изделиями разных марок. Это позволяет собирать управляющие комплексы на базе микропроцессоров нового поколения из модулей разных производителей. Программируемые логические контроллеры (ПЛК) или программируемые логические реле совмещают функции множества других изделий и могут использоваться в большинстве разрабатываемых систем управления.

Интеллектуальная коммутационная аппаратура, промышленные контроллеры, средства коммуникации, датчики и устройства интерфейса «человек-машина» – это продукция, необходимая для реализации современных технологий построения систем автоматизации.

Названия устройств, которые в русском переводе обозначают «интеллектуальными реле», не соответствуют точному смысловому переводу английских слов «intelligent» или «smart», употребляемых для обозначения рассматриваемого типа реле. Более точными были бы слова «смышленный» или «умный». Интеллектуальность реле заключается в том, что оно выполняет определенную часть функций по первичной обработке входной информации, диагностике своего состояния, реализации стандартных функций управления и других преобразований, разгружая центральный процессор ПЛК [46].

Интеллектуальные реле созданы для упрощения электрических схем при решении сложных задач. Они очень просты в использовании, а их функциональность и высокая производительность позволяют пользователям экономить время и деньги. Применение интеллектуальных реле – это альтернатива традиционным релейным логическим системам.

Областями применения интеллектуальных реле являются: управление электроснабжением зданий (освещение, эскалаторы, вентиляция, контроль доступа, защитные барьеры); машины и механизмы (насосы, компрессоры, маленькие прессы); коммутационные шкафы; управление для теплиц и зимнего сада; предварительная обработка сигналов для других систем управления; управление панелями рекламы и освещением; производством пищевых продуктов (оборудование пекарни, смесители и термостаты, регулирование температуры в помещении), а также автоматизация агропромышленного комплекса (АПК).

Французская компания Schneider Electric производит компактные реле Zelio. Это общее название широкой линейки оборудования малой автоматизации, включающей контрольно-измерительные реле Zelio Control, счетчики Zelio Count, реле с выдержкой времени Zelio Time, интеллектуальные программируемые реле Zelio Logic, а также Zelio Relay – реле, предназначенные для цепей управления.

Микроконтроллеры Zelio Logic выгодно отличаются от аналогичных устройств других фирм тем, что для программирования используются два языка (LD и FBD), а для коммуникаций выпускаются модули расширения связи по сети Modbus с аналоговыми модемами, модемами GSM, а также по сети Ethernet. Modbus – это протокол вида мастер/подчиненный (Master/Slave), позволяющий одному и только одному мастеру запрашивать отклик от подчиненного или действовать в зависимости от отклика.

Автоматические регуляторы или ПЛК – регулирующие и логические – являются широко распространенными средствами автоматизации в составе локальных и распределенных систем контроля и регулирования [31].

Внедрение ПЛК в процессы управления дает возможность контролировать изменение параметров без прерывания технологического процесса и использовать текущие значения параметров (либо их оценки) для формирования управляющих воздействий. Если параметры изменяются во времени достаточно медленно, то такие методы управления могут оказаться весьма эффективными, поскольку не связаны с прерыванием технологического процесса для тестирования управляемого процесса. Термином ПЛК обозначают устройства, осуществляю-

щие преобразование, обработку, хранение информации и выработку команд управления или управляющих и регулирующих воздействий, реализованные на базе микропроцессорной техники и являющиеся, по сути, специализированными управляющими вычислительными комплексами для работы в локальных и распределенных системах управления в реальном масштабе времени (рисунок 3.6).

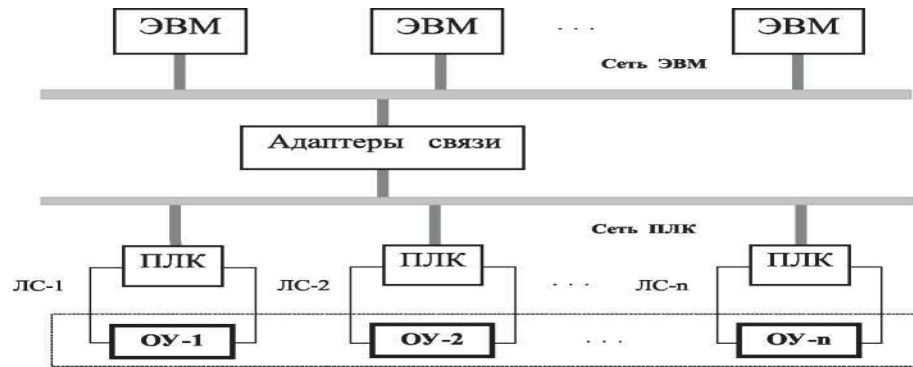


Рисунок 3.6 Общая функциональная схема распределенной иерархической системы управления:

где ПЛК – программируемый логический контроллер; ОУ-*n* – объект управления (автономный или часть распределенного объекта); ЛС-*n* – локальная система управления.

Основная функция ПЛК – это формирование сигнала рассогласования между регулируемой величиной и ее заданным значением, а также динамическое преобразование сигнала рассогласования по типовым алгоритмам (законам) регулирования.

Одними из основных эксплуатационных требований, которым должны удовлетворять ПЛК, являются:

1. **Безударность:** при переходе с одного из режимов управления на другой (например, с режима ручного управления на автоматический и обратно) она обеспечивается, в частности, наличием интегрирующего устройства, состоящего из двух интеграторов: например, второй интегратор, используемый при ручном управлении, отслеживает выход узла (интегратора), обеспечивающего динамическое преобразование; при переключении в режим ручного управления выходной сигнал интегрирующего устройства формируется вторым интегратором, а первый интегратор отключается от входа и переводится одновременно в режим слежения за

выходным сигналом; при переходе с одного из источников задания на другой в режиме автоматического управления также должен осуществляться безударно, например, с внешнего источника задания на внутренний (ручное задание, на программное изменение задания);

2. Ограничение выходного сигнала ПЛК по верхнему и нижнему уровням и сигнализация о предельных значениях этих уровней; при достижении соответствующего уровня ограничения интегрирующее устройство отключается от источника входного сигнала, благодаря этому регулятор работает всегда в зоне линейности.

Выполнение требований 1 и 2 осуществляется посредством управления операциями интегрирования, входящими в соответствующие алгоритмы (функциональные блоки): а) при переключениях с одного из режимов на другой управление сводится к отключению интегратора и формированию для него других начальных условий, соответствующих новому режиму (иногда эти процедуры называют «обратным счетом»), именно это обеспечивает безударность; б) при выходе значений сигнала за предельные (например, у MIN или у MAX), управление сводится к запрету операции интегрирования и ее запуску после возвращения значений сигнала в рабочий диапазон.

3. Гальваническое разделение входных и выходных цепей (эта задача решается на уровне соответствующих устройств сопряжения с объектом (УСО));

4. Связь с управляющими комплексами верхних уровней иерархии;

5. Автоподстройка и настройка (адаптивность) динамических параметров регулятора (адаптивные регуляторы).

Всякий процесс регулирования (управления) предполагает наличие двух подсистем (рисунок 3.7): управляемой системы, т.е. одного или нескольких объектов управления и управляющей или регулирующей системы (регулятора), которые в совокупности образуют систему автоматического регулирования (САР).

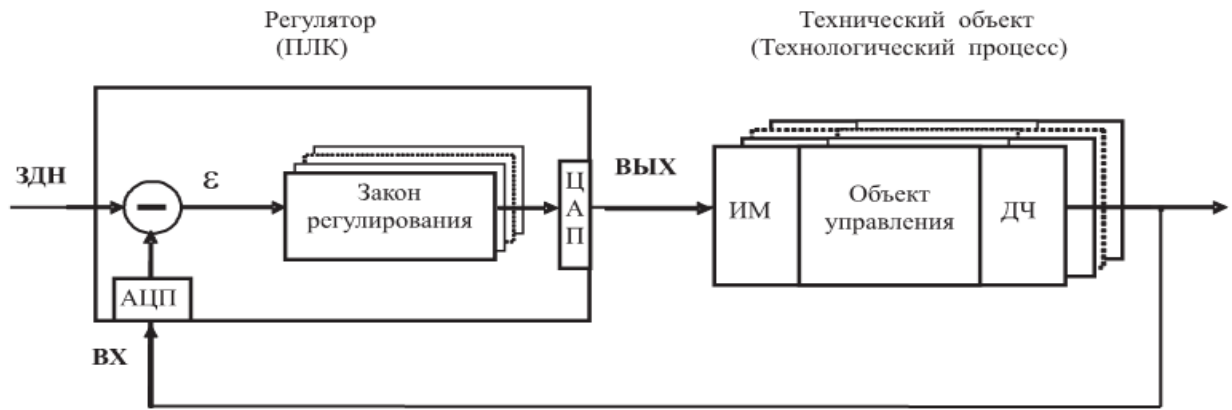


Рисунок 3.7 Обобщенная схема многоконтурной системы автоматического регулирования (САР)

где ЗДН – задающее воздействие; ВХ – вход регулятора (регулируемая величина, выход системы); ВЫХ – выход регулятора (регулирующее воздействие); ε – рассогласование (ошибка); ИМ – исполнительные механизмы; ДЧ – датчики; АЦП – аналого-цифровые преобразователи; ЦАП – цифроаналоговые преобразователи.

Объект управления (ОУ). Любой технический объект (ТО) или технологический процесс (ТП): станок, печь для термообработки, двигатель, технологический агрегат и т.д., для обеспечения нормального функционирования которого строится система автоматического (или автоматизированного) управления, носит название объекта управления или управляемого объекта. Другими словами, объект управления – это основной элемент САР, требуемый режим которого должен поддерживаться регуляторами (одним или несколькими). Объект управления выполняет определенные технические операции над материальными и/или информационными компонентами [49].

Исполнительный механизм (ИМ) – это устройство, с помощью которого в САР непосредственно осуществляется изменение режима объекта управления; обычно это часть объекта управления - вентили паросиловых установок, обмотки возбуждения электрических машин, рули самолета и т.д.

Всякий объект управления, обладающий массой (в электротехнике и электронике – это наличие емкостей и индуктивностей), является динамическим, поскольку под действием внешних сил и моментов (конечной величины) со стороны

объекта управления возникает соответствующая реакция и его положение (или состояние) не может быть изменено мгновенно.

Основная функция ПЛК (регулятора) – вырабатывать управляющие (регулирующие) воздействия, которые обеспечивают выполнение объектом требуемых функций.

Для построения САР необходимо знать математическое описание (математическую модель) объекта управления, т.е. зависимость, связывающую между собой его параметры (рисунок 3.8).

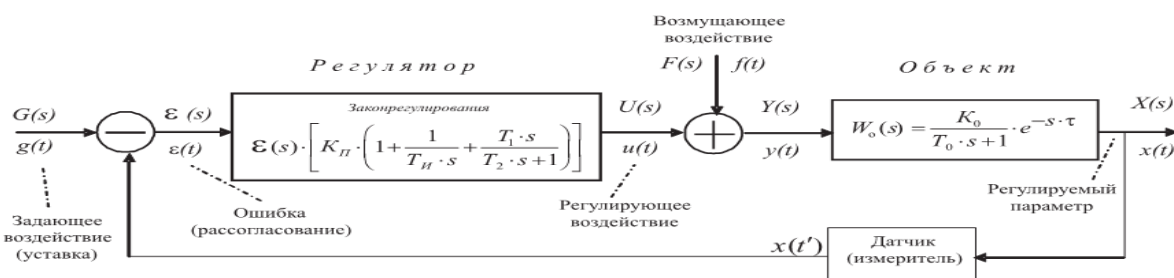


Рисунок 3.8 Схема одноконтурной САР

Физическую величину $x(t)$, подлежащую регулированию, называют *регулируемой* или *выходной* величиной.

Воздействие $g(t)$, которое характеризует требуемое (желаемое) значение регулируемой величины, называют *задающим воздействием* (в некоторых задачах его называют уставкой).

Разность $e(t)$ между заданным $g(t)$ и фактическим $x(t)$ значением регулируемой величины называют *ошибкой* или *рассогласованием*.

Воздействие $u(t)$, вырабатываемое регулятором для осуществления требуемого закона изменения регулируемой величины, называют *регулирующим воздействием*.

Воздействие $f(t)$, стремящееся нарушить требуемую функциональную связь между задающим воздействием и регулируемой величиной, называют *возмущающим воздействием*.

Таким образом, можно сказать, что в процессе автоматического регулирования осуществляется преобразование задающего воздействия в регулируемую

величину.

В общем случае, как задающее воздействие, так и регулируемая величина могут состоять из совокупности различных физических сигналов, т.е. иметь векторный характер. В этом случае система является многомерной и должна описываться в терминах пространства состояний.

Обратная связь, замыкающая систему, передает результат измерения выходной величины на вход системы.

Задача системы состоит в том, чтобы возможно точнее воспроизводить на выходе $x(t)$ задаваемый (на входе) закон изменения $g(t)$ и возможно полнее подавлять влияние возмущающего воздействия $f(t)$, а также других внешних и внутренних помех, если они имеются. Выходная величина $x(t)$ сравнивается с входной величиной $g(t)$. Для этих целей используется соответствующий датчик (измеритель).

На выходе сравнивающего устройства формируется рассогласование (ошибка)

$$\varepsilon(t) = g(t) - x'(t) = g(t) - k \cdot x(t) \quad (3.3)$$

Рассогласование ε служит источником воздействия на систему, причем система работает на уничтожение или сведение к допустимому малому значению величины этого рассогласования.

3.3 Возможность применения светодиодов для облучения растений

Современные светодиоды перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового цвета. Диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет от 620 до 635 нм, в оранжевой –

от 610 до 620 нм, в жёлтой – от 585 до 595 нм, в зелёной – от 520 до 535 нм, в голубой – от 465 до 475 нм и в синей – от 450 до 465 нм [21].

Таким образом, составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне. Следует отметить и другие преимущества светодиодов, например, малую потребляемую электрическую мощность и, как следствие, низкое потребление электроэнергии устройствами на основе светодиодов. Кроме того, стоит учитывать, что излучение светодиодов направленное, а это позволяет эффективнее использовать источники света на их основе.

Также надо принимать во внимание, что время жизни светодиодов превышает время жизни ламп минимум в несколько раз, что делает применение светодиодов крайне эффективным в экономическом плане. Интенсивность излучения светодиода зависит от протекающего через кристалл тока. Это позволяет управлять интенсивностью излучения светодиодного светильника, причем относительно легко – путём изменения значения тока. Если использовать в светильнике светодиоды с разными значениями длины волны излучения, то, изменяя ток для разных светодиодов, можно получать различные по составу и интенсивности спектры излучения и таким образом подбирать спектр светильника в зависимости от конкретного этапа развития растения [42].

Здесь нельзя не сказать о том, что современные теплицы представляют собой сложные технические комплексы, в большей части роботизированные. Управление ими осуществляется при помощи автоматизированных систем, в которые достаточно органично можно добавить и управление освещением, причём как по интенсивности, так и по спектральному составу излучения, и производить такие управляющие операции по программам, учитывающим фазу развития растений. В довершение всего светодиоды, в отличие от ламп, не являются хрупкими, поэтому устройства на их основе могут быть вандалоустойчивыми, а возможность низковольтного питания делает их безопасными, то есть не являющимися потенциальными источниками возникновения пожара или взрыва [31].

Всё перечисленное делает светодиодные светильники весьма привлекательными для использования в тепличном освещении. При использовании в растениеводстве защищенного грунта облучательных установок с разными по спектру светодиодами появляется возможность управления спектральным составом излучения светодиодной облучательной установки в области (ФАР). При этом можно будет управлять и интенсивностью излучения.

Таким образом, подведя итог вышесказанному, отметим достоинства и недостатки светодиодов в отношении применения их в растениеводстве защищенного грунта.

Достоинства:

1. Достаточно высокая световая отдача (более 100 лм/Вт для белых светодиодов) с перспективой дальнейшего увеличения;
2. Высокий срок службы (до 50 тыс. час.) с перспективой дальнейшего увеличения;
3. Возможность получения излучения любого спектрального состава;
4. Возможность достаточно регулирования электрической мощности, интенсивности и спектрального состава излучения;
5. Возможность стабилизации электрической мощности, светового потока при изменении напряжения сети;
6. Высокий к.п.д. и коэффициент использования светового потока облучателей на основе светодиодов;
7. Возможность размещения облучателей со светодиодами непосредственно над растением или непосредственно в ценозе;
8. Отсутствие пускового периода при включении светодиодов;
9. Возможность создания облучателей с напряжением питания до 40В, что говорит о их высокой электробезопасности;
10. Высокая степень экологичности светодиодов.

3.4 Разработка светодиодной системы облучения для меристемных растений

Полезная модель относится к светотехнике, в частности к способам искусственного облучения меристемных растений.

Известен облучатель для растениеводства, содержащий корпус, матрицу светодиодов, максимумы излучения которых лежат в области спектра 450-480 нм и 660-690 нм, блок управления рабочими токами светодиодов с синим и красным цветом свечения, причем матрица содержит светодиоды с углом излучения не превышающим 30° (патент на полезную модель РФ №59206, Бюл. 34 от 10.12.2006) [107].

Недостатками известной полезной модели являются недостаточная равномерность облучения и влияние внешней температуры на процесс выращивания растений.

Известен также универсальный светодиодный осветитель с микропроцессорным управлением, который содержит плафон с источниками света, состоящий из групп светодиодов с различными спектрами излучения, микропроцессорную систему управления и коммутатор групп светодиодов, датчик освещенности и блок электрического питания, причем плафон шарнирно установлен на держателе, а корпус и держатель прикреплены к подставке, расположенной на освещаемой поверхности (патент на полезную модель РФ №39183 от 20.07.2004) [109].

Недостатками данной полезной модели являются недостаточная равномерность освещения растений и влияние внешней температуры на процесс выращивания растений.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемой полезной модели является светодиодная система освещения растений (варианты). Светодиодная система освещения растений, в первом варианте на основе красных, синих, зеленых и ультрафиолетовых светодиодов и блока управления с отдельными выхода-

ми регулирования уровня излучения светодиодов каждого спектра отдельно в зависимости от этапа развития и вида растений, содержит светодиоды белого спектра. В другом варианте система освещения растений на основе светодиодов и блока управления уровнем освещенности и выдержки в зависимости от этапа развития и вида растений, содержит светодиоды белого спектра и дополнительные ультрафиолетовые светодиоды, в котором мощность излучения ультрафиолетовых светодиодов составляет 5...15% от белых, причем белые и ультрафиолетовые светодиоды работают или одновременно, или поочередно с разными промежутками времени. В третьем варианте светодиодная система освещения растений на основе светодиодов и блока управления уровнем освещенности и выдержки в зависимости от этапа развития и вида растений, в качестве источника света содержит светодиоды белого спектра (патент на полезную модель РФ №107020 от 10.08.2011) [108].

Недостатками известного технического решения являются недостаточная равномерность облучения растений и влияние внешней температуры на процесс выращивания растений.

Задачей предлагаемой полезной модели является повышение урожайности за счет более равномерного облучения растений, создание и поддержание необходимой температуры в процессе роста и развития растений.

В результате использования предлагаемой системы облучения повышается эффективность роста и развития растений за счет более равномерного облучения растений и стабилизации температуры в процессе их роста. Вышеуказанный технический результат достигается тем, что система облучения имеет датчик температуры, соединенный с блоком управления. Наличие дополнительных экранов в светодиодной системе облучения дает возможность более равномерного облучения растений, например, при расположении их на стеллажах. Применение в системе облучения светодиодов красного, синего и белого спектров ускоряет рост меристемных растений.

Светодиодная система для облучения меристемных растений представлена на рисунке 3.9.

Система содержит светодиоды 1 синего, красного и белого спектра излучения, установленные, например, в светильнике, управляющий блок питания 2, напряжение с которого подается на излучающие светодиоды 1, отражающие экраны 3, расположенные вдоль ряда выращиваемых растений, с возможностью изменения их угла наклона, например, за счет шарнирного соединения, датчик температуры 4, установленный в зоне выращивания растений, регулятор температуры 5, выход которого подключен к нагревательным элементам 6, расположенным на отражающих экранах, пробирки с растениями 7.

В макете светодиодной системы для облучения меристемных растений использованы пленочные нагревательные элементы марки Ondolia, а в качестве терморегулятора использован терморегулятор ТРМ201.

Предлагаемая система облучения меристемных растений работает следующим образом.

От управляющего блока питания 2 напряжение подается к светодиодам 1 различных спектров излучения, а именно красного, синего, белого спектра, которые облучают растения. Интенсивность излучения и соотношение спектров излучения красного, синего и белого цветов в системе задаются управляющим блоком питания 2. Часть светового потока от светодиодов 1, отражаясь от поверхности отражающих экранов 3, дополнительно облучает поверхность растений 7 в заданном спектре излучения. Для оптимизации интенсивности облучения различных видов растений можно изменять угол наклона отражающих экранов, например за счет шарнирного механизма. Сигнал с датчика температуры 4, расположенного в зоне расположения выращиваемых растений, поступает на регулятор температуры 5, который вырабатывает управляющее воздействие на нагревательные элементы 6, расположенные на отражающих экранах 3, поддерживая тем самым заданную температуру в зоне выращивания растений.

Таким образом, за счет более равномерного облучения выращиваемых меристемных растений и поддержания в зоне выращивания растений постоянной температуры обеспечивается повышенный уровень их развития.

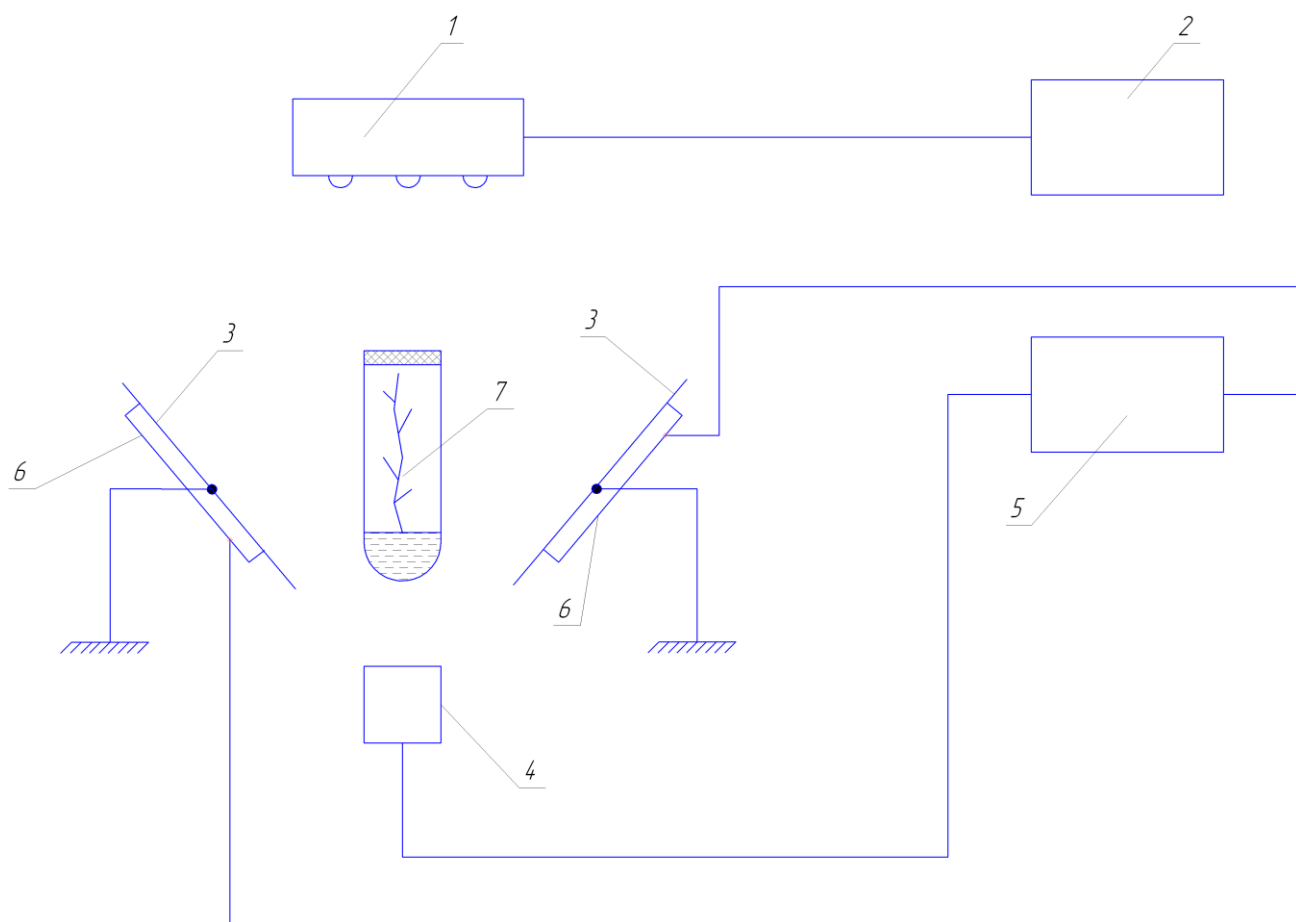


Рисунок 3.9 Светодиодная система для меристемных растений

Таким образом, за счет более равномерного облучения выращиваемых меристемных растений и поддержания в зоне выращивания растений постоянной температуры обеспечивается повышенный уровень их развития.

3.5 Обоснование предлагаемой методики облучения для меристемных растений

Для правильного использования искусственного излучения, прежде всего надо знать требования растений к оптическому излучению и как они удовлетворяются в разное время года в естественных условиях. Нормальный рост, форми-

рование, цветение и плодоношение растений связаны с оптическим излучением определенного спектрального состава, достаточными величинами облученности и продолжительностью в течение суток.

Солнечное излучение (радиация), попадающее на землю, состоит из электромагнитных колебаний с разной длиной волны (рисунок 3.10).

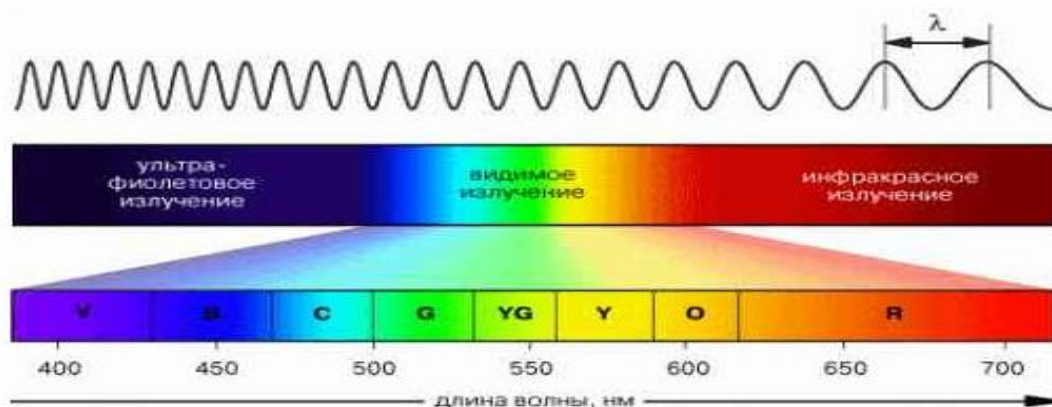


Рисунок 3.10 Характеристика спектра электромагнитных колебаний

Соотношение отдельных участков спектра в солнечном излучении в сильной степени зависит от высоты солнца над горизонтом. Из данных таблицы 1 видно, что по мере увеличения высоты солнца увеличивается доля видимого и ультрафиолетового излучения.

Начиная с 50° , т. е. с той высоты, которая наблюдается в летнее время в средней полосе России, соотношение физиологически активного и инфракрасного излучения составляет примерно 1:1.

Таблица 3. 2 Спектральный состав солнечного излучения при различной высоте 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) В том числе:	31,2	41	43,7	43,9	45,3
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 (780-340 000)	68,8	58	54,6	52,3	50
Всего	100	100	100	100	100

Наиболее важную роль в жизни растений играет видимая часть солнечного излучения, которая воспринимается человеческим глазом как свет. Как было сказано выше, ее часто называют (ФАР), так как многие физиологические процессы в растениях не могут проходить без видимого излучения – света. Лишь на свету растения нормально растут, цветут и плодоносят. Только на свету в зеленых листьях совершается важнейший физиологический процесс – фотосинтез. Кроме того, он оказывает значительное регуляторное и формообразовательное влияние на растения [24].

Современные достижения биологических наук значительно изменили наши представления о влиянии оптического излучения на процессы, происходящие в растении. Так, исследования последних лет показали, что помимо видимой части спектра интенсивность многих физиологических процессов, внутренняя структура растительной клетки и, наконец, формирование всего растения, а тем самым и урожай, в значительной степени определяются как длинным ультрафиолетовым (300 ...400 нм), так и коротким инфракрасным излучением (780...1100 нм). Хотя эти участки излучения изучены еще не так детально, как видимое, тем не менее уже сейчас можно привести ряд примеров их активного воздействия на расти-

тельные организмы [56].

Если коротковолновое ультрафиолетовое излучение (до 300 нм) вызывает денатурацию белков и быструю гибель растений, то длинноволновое (300...400 нм) в умеренных дозах стимулирует процессы обмена веществ и способствует росту растений. Поэтому при дополнительном облучении растениям, видимо, необходимо давать небольшие дозы длинного УФ-излучения (ДУФ) [27].

Ближнее ИК-излучение также оказывает сильное формирующее действие на растения, которое проявляется главным образом в растяжении осевых органов (стебель, подсемядольное колено). Не все растения одинаково реагируют на длинноволновое излучение (700...1100 нм): одни слабо (томаты), другие сильно (огурцы), что мешает их выращиванию в теплицах [34].

В естественных условиях физиологически активное излучение содержится в прямой и рассеянной радиации солнца (рисунок 3.11).

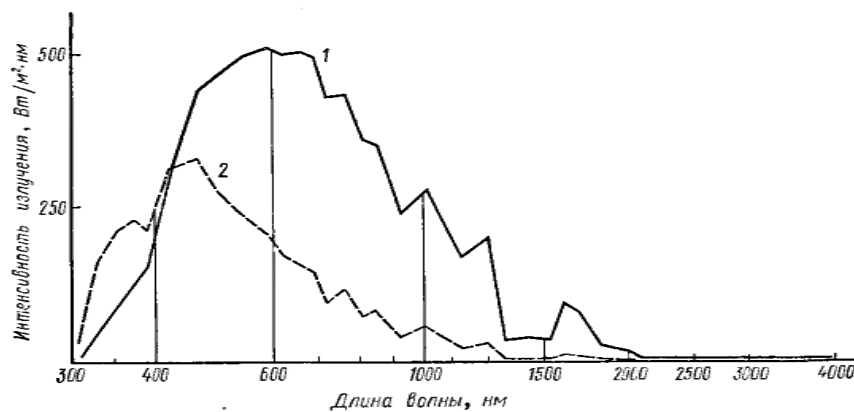


Рисунок 3.11 Спектр прямого(1) и рассеянного излучения (2)

Прямой солнечной радиацией называется та часть солнечного излучения, которая доходит до поверхности земли в виде параллельных лучей, идущих непосредственно от солнца. Рассеянной называется та радиация, которая попадает на землю после отражения и рассеивания ее молекулами газов воздуха, пылинками, капельками воды и кристаллами льда, находящимися в атмосфере.

В практике выращивания растений необходимо знать суммарную радиацию, включающую оба вида солнечной радиации.

До восхода солнца на растения попадает только рассеянная радиация. За-

тем, по мере увеличения высоты стояния солнца над горизонтом, доля прямой радиации относительно возрастает, а доля рассеянной – быстро уменьшается.

Рассеянная радиация имеет большое значение в жизни растений. Число часов, когда прямое солнечное излучение попадает на листья, значительно меньше общей продолжительности светлого периода суток. Кроме того, прямая радиация используется лишь частью листьев (к листьям, находящимся в тени и в глубине кроны, прямая радиация не доходит). Для растений более благоприятен спектральный состав рассеянного излучения, около 50...60% которого составляет физиологически активное излучение. В прямых лучах солнца при высоте его над горизонтом от 30° до 70° физиологически активное излучение составляет около 35...40% [23].

Спектральный состав солнечного излучения, прежде всего зависит от высоты стояния солнца над горизонтом (таблица 3.3 и рисунок 3.12).. Когда солнце находится низко (летом в начале и конце дня, а зимой весь день), в его излучении преобладает инфракрасное и красное. Синее, фиолетовое и ультрафиолетовое излучения почти отсутствуют. Летом, в полдень, когда солнце на широте Москвы поднимается над горизонтом почти до 60° , в его излучении наряду с желтым и красным имеется значительное количество синего, фиолетового и ультрафиолетового.

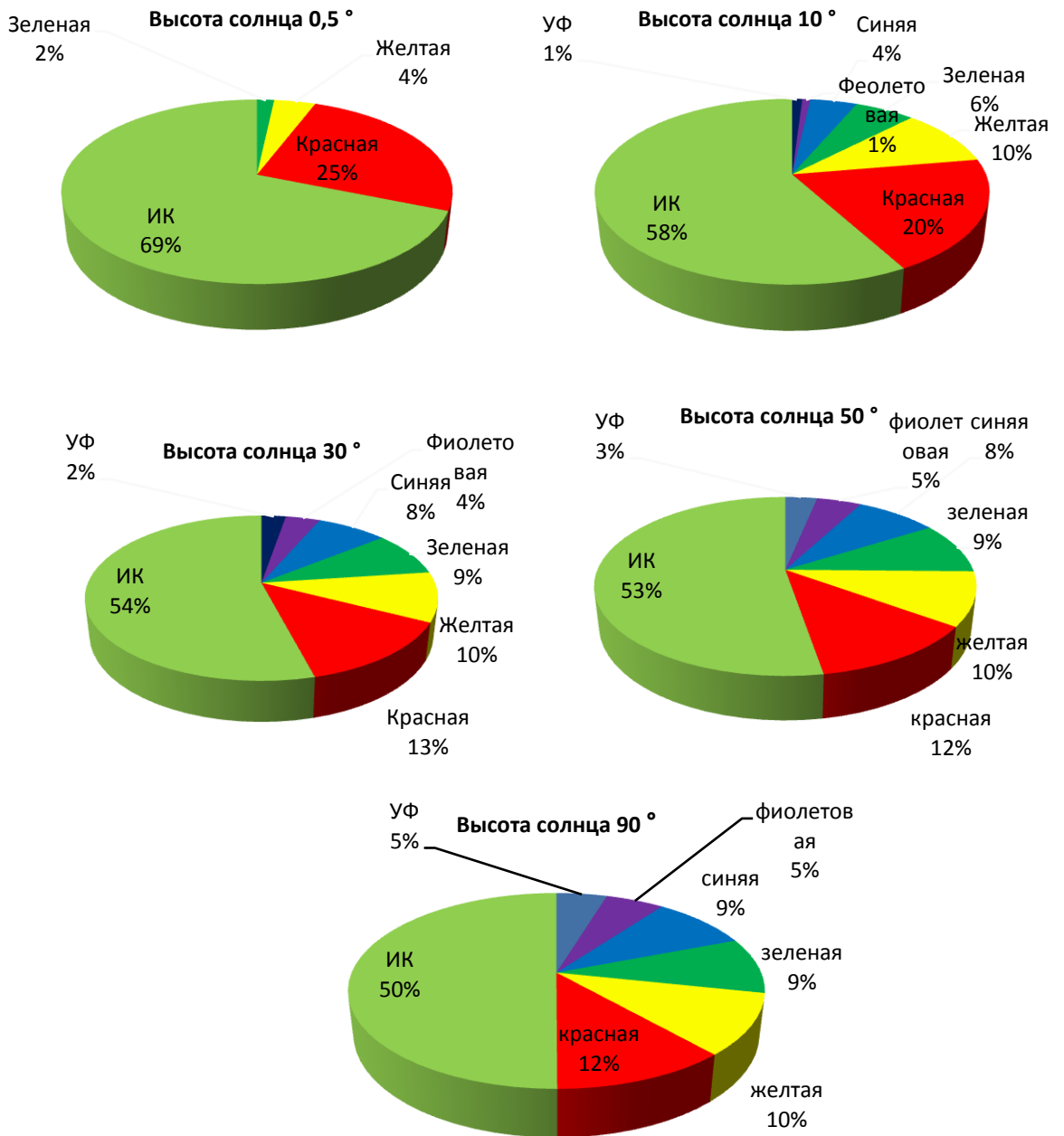


Рисунок 3.12 Спектральный состав солнечного излучения в зависимости от высоты стояния солнца над горизонтом

Таблица 3.3 Высота солнцестояния в полуденные часы на различных широтах в пределах России

Дата	Широта, °							
	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°
Январь								
1	31	26	21	16	11	6	2	-3
11	33	28	23	18	13	8	3	-1
21	35	30	25	20	15	10	5	0
31	38	33	28	23	18	13	8	3
Февраль								
10	40	36	31	26	21	16	И	6
21	44	39	34	29	24	19	14	9
Март								
2	47	42	38	32	27	22	17	12
12	51	46	41	36	31	26	21	16
22	55	50	45	39	35	30	25	20
Апрель								
1	60	55	50	44	40	35	30	25
11	64	58	54	48	44	38	34	29
21	67	62	57	51	47	42	37	32
Май								
1	70	66	60	54	50	45	40	35
11	73	68	62	57	53	48	43	37
21	75	70	64	59	55	50	45	40
31	76	71	65	60	57	52	41	41
Июнь								
10	77	72	67	62	57	53	48	42
20	78	73	68	63	58	53	48	43
30	77	73	67	63	58	53	48	43
Июль								
10	76	72	66	62	57	52	47	42
20	75	70	65	60	55	50	45	40
30	73	68	63	58	53	49	43	39
Август								
9	70	66	61	53	51	46	41	36
19	67	63	58	53	48	43	38	33
29	64	59	54	49	44	39	34	29
Сентябрь								
8	61	56	51	46	41	35	31	26
18	57	52	47	42	36	32	27	22
28	54	48	43	38	33	28	23	18
Октябрь								
8	49	44	39	34	29	24	19	14
18	45	40	35	30	26	20	15	11
28	41	30	31	26	22	16	11	6
Ноябрь								
7	38	33	28	23	18	13	8	2
17	36	31	26	22	16	11	6	1
27	34	29	24	19	14	8	4	-1

Естественная облученность, так же как и ее спектральный состав, зависит от высоты стояния солнца над горизонтом (таблица 3.3). Солнечный луч, проходя через земную атмосферу, проделывает различной длины путь в зависимости от высоты солнца над горизонтом в данный момент. Чем ниже солнце над горизон-

том, тем меньше солнечного излучения доходит до поверхности земли. Когда солнце находится на самом горизонте ($0,5^\circ$), путь, проходимый солнечным лучом в атмосфере, будет в 35 раз длиннее, чем при положении солнца в зените, что видно из таблицы 3.4 и рисунка 3.13.

Таблица 3.4 Зависимость длины пути солнечного луча от высоты солнца

Высота солнца над горизонтом	90°	60°	30°	10°	5°	3°	$0,5^\circ$
Относительная длина пути солнечного луча в атмосфере	1	1,2	2	5,6	10,4	15,4	35,4

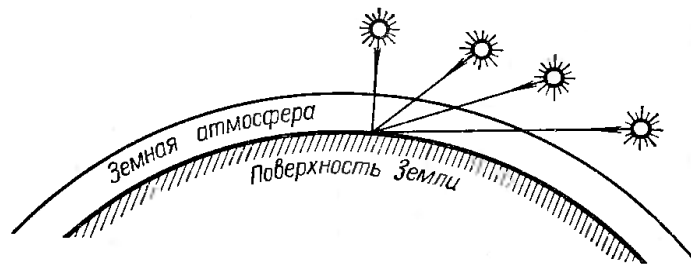


Рисунок 3.13 Относительная длина пути солнечного луча в атмосфере в зависимости от высоты солнца над горизонтом

Интенсивность солнечного излучения характеризуется так называемой солнечной постоянной, т. е. тем количеством энергии, которое падает на площадь в 1 см^2 за 1 мин на границе атмосферы. Солнечная постоянная близка к $2 \text{ кал/см}^2\text{-мин}$ (1398 Вт/м^2). У земной поверхности облученность значительно меньше. Ее значение определяется двумя факторами: высотой солнца над горизонтом и прозрачностью атмосферы.

На широте Москвы (56° с. ш.) естественная облученность колеблется от $0,39$ зимой до $1,43 \text{ кал/см}^2\text{-мин}$ летом (или от 272 до 1000 Вт/м^2), когда высота солнца достигает 60° . Поверхность, расположенная перпендикулярно к падающим лучам, называется нормальной. Соответственно с положением солнца на небосводе она постоянно меняет свое положение. Количество излучения (облученность), падающее на нормальную поверхность, изменяется мало. На горизон-

тальной же поверхности с уменьшением угла солнцестояния уменьшается количество излучения, падающее на единицу площади (таблица 3.5). Вот почему зимой «светит да не греет».

Таблица 3.5 Зависимость естественной освещенности горизонтальной поверхности от высоты солнца

Высота солнца, °	Освещенность, клк		
	прямая	рассеянная	суммарная
0	0	0,5	0,5
5	1,50	2,7	4,2
10	5,8	4,6	10,4
30	32,3	9,5	41,8
55	72,4	14,5	86,9

На широте Москвы, на открытом месте летом в полдень, освещенность поверхности, перпендикулярной лучам солнца (т. е. нормальной), составляет 80...100 клк. Освещенность горизонтальной поверхности, на которую падают косые лучи солнца, в это время снижается до 60...65 клк (рисунок 3.14).

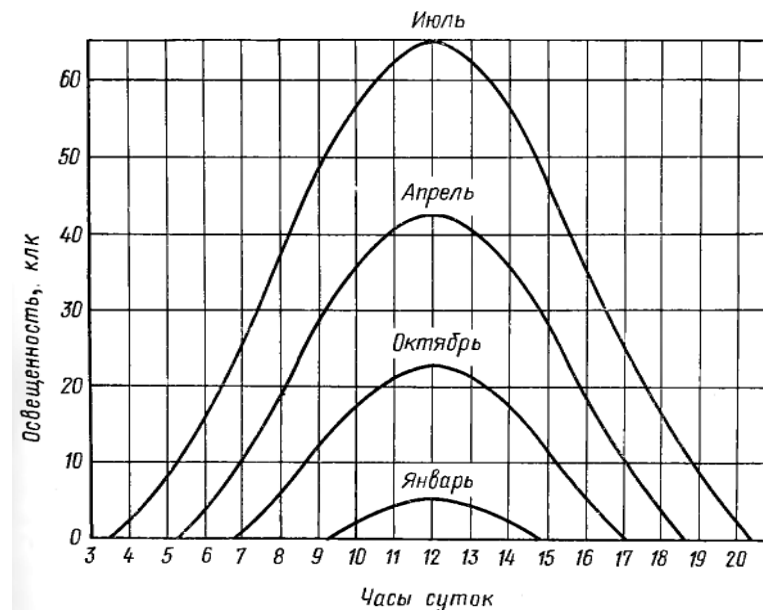


Рисунок 3.14 Суточный ход освещенности солнцем горизонтальной поверхности

Важное значение в жизни растений имеет продолжительность светлого периода суток. Астрономическая длина дня в пределах России очень варьирует в зависимости от географической широты и времени года. На юге России длина дня

колеблется от 10 до 14 ч. На Крайнем Севере (за Полярным кругом) зимой света нет, а летом стоит непрерывный день. Длина светлого периода суток летом в средней полосе России достигает 16...17ч. Зимой она уменьшается до 6–7 ч.

Однако длина дня, используемая растением для накопления органических веществ в процессе фотосинтеза, значительно меньше астрономической. Летом она составляет 14 ч, а зимой не более 3 ч в сутки (рисунок 3.15). Объясняется это тем, что утром и вечером у растений при недостаточной освещенности трата органического вещества на дыхание превышает его накопление.

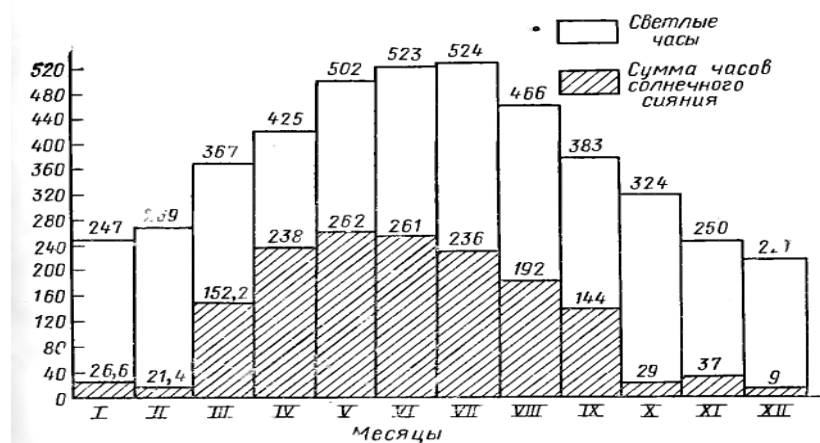


Рисунок 3.15 Число астрономических светлых часов и реальных часов солнечного сияния на широте Москвы

Для фотопериодической реакции растению необходимо значительно меньшая освещенность, чем это требуется для накопления органического вещества (10... 20 лк).

3.5 Разработка алгоритма управления спектрального состава и уровня освещенности светодиодной облучательной установки

Таким образом, искусственно воздействуя на растения различным по спектральному составу излучением и величиной облученности, можно удлинять или сокращать его вегетационный период. Благодаря уменьшению вегетационного периода можно значительно сократить расходы на тепловую и электрическую энергию при выращивании растений в защищенном грунте. Поэтому целесообразно подумать о наилучшем спектре и величине облученности для конкретной культуры защищенного грунта.

Солнечная радиация представляет собою чрезвычайно изменчивый фактор, зависящий от времени дня, времени года, географической широты, состояния атмосферы, облачности и других факторов.

В условиях закрытого 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.

Для исследования воздействия спектра излучения на меристемные растения предлагается светодиодная облучательная система (рисунок 3.16).

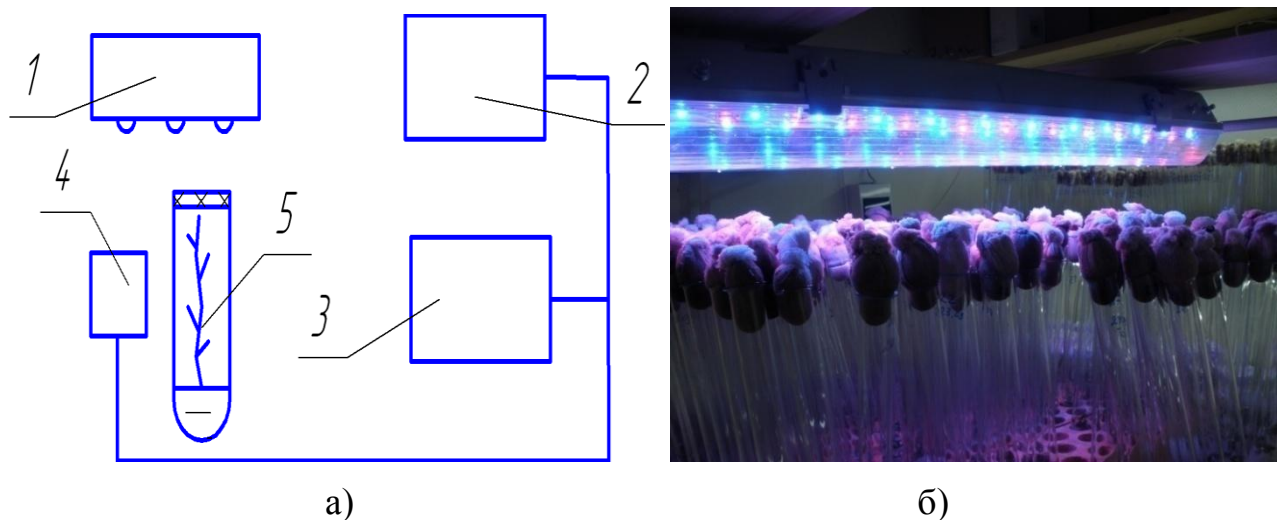


Рисунок 3.16 Схема светодиодной облучательной системы (а) и общий вид светодиодной облучательной установки (б)

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 3.17).



Рисунок 3.17 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.

В качестве датчика цветовой температуры и освещенности используют микросхему TCS3200 – преобразователь «освещенность – частота» (рисунок 3.18 а). Она состоит из матрицы фотодиодов 8 на 8 и операционного усилителя, превращающих изменение освещенности в изменение частоты. Фотодиодная матрица состоит из 16 фотодиодов с синим фильтром, из 16 – с красным, из 16 – с зеленым и 16 фотодиодов без фильтра, которые для минимизации эффекта неравномерности расположены в шахматном порядке [4].

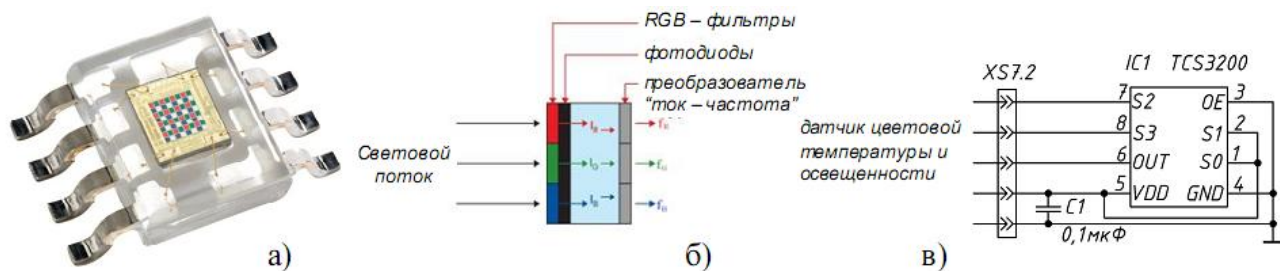


Рисунок 3.18 Датчик цветовой температуры и освещенности

Принцип работы заключается в следующем (рисунок 3.18 б). RGB-фильтры раскладывают падающий свет на красную, зеленую и синюю составляющие. Фотодиод, находящийся под соответствующим фильтром, превращает яркость в ток, после чего операционные усилители с токовым входом превращают изменение тока в изменение частоты. Принципиальная схема включения изображена на рисунке 3.18 в. Основными преимуществами данной микросхемы являются линейная зависимость частоты от освещенности (примерно 1 кГц на 1 лк) и спектральная чувствительность, приближённая к чувствительности человеческого глаза.

При введении разработанного алгоритма управления облучательной установкой (рисунок 3.19) появляется возможность регулировать как интенсивность общего светового потока, так 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 растению свет с необходимым диапазоном длин волн.

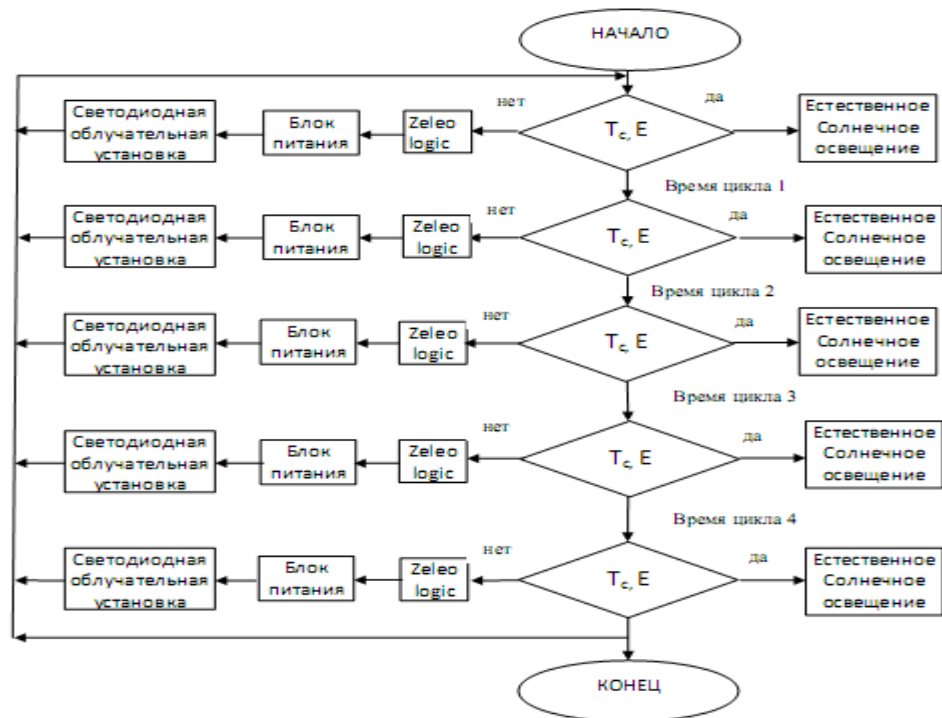


Рисунок 3.19 Алгоритм управления светодиодной облучательной установкой

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 3.20.

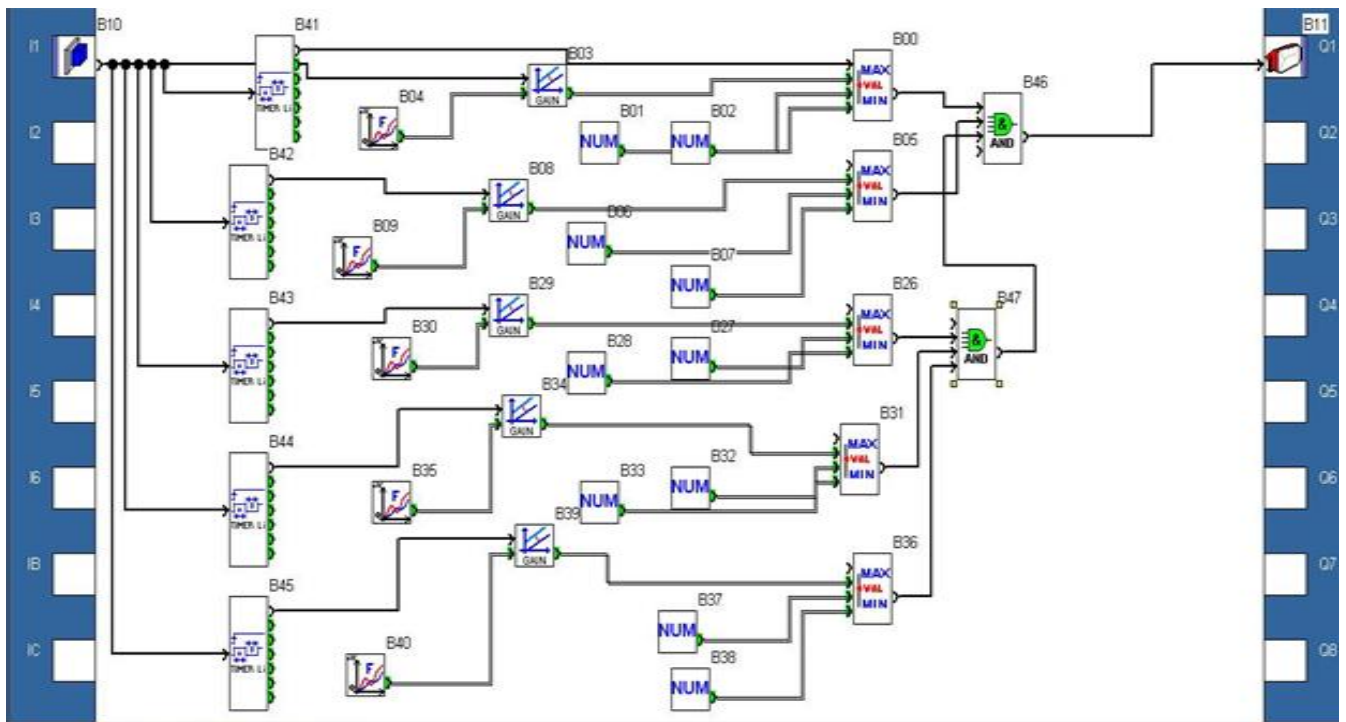


Рисунок 3.20 Программа для управления освещенностью и спектральным составом в языке программирования FBD

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

Выводы

1. Обзор современных светодиодных технологий, показал светодиоды перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового цвета. Диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет от 610 до 760 нм, в оранжевой – от 590 до 610 нм, в желтой – от 570 до

590 нм, в зелёной – от 500 до 570 нм, в голубой – от 450 до 500 нм.

2. Составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне.

3. Рост и развитие растений представляют собой процесс усвоения и переработки солнечной энергии.

4. Спектральный состав солнечного излучения, прежде всего, зависит от многих факторов, в том числе: географической широты, времени года, времени дня.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

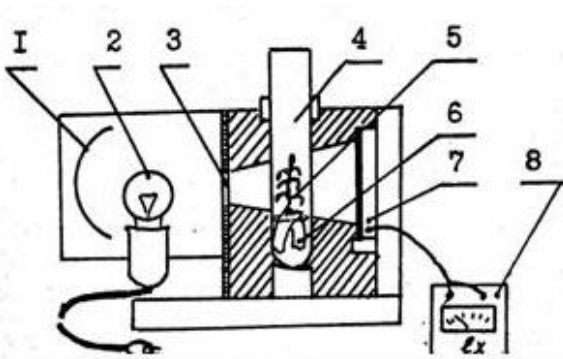
4.1. Лабораторные эксперименты 2010 года

LED – облучательная установка, разработанная представителями ФГБОУ ВПО Ижевской ГСХА, испытывалась при выращивании меристемной малины-сорта «Гусар» в меристемной лаборатории ГНУ Удмуртский НИИСХ.

Испытывалась облучательная установка, включающая синие и красные светодиоды. Начало эксперимента 29 марта 2010 г., окончание эксперимента 28 апреля 2010 г. В каждом варианте испытывались 33 растения.

В меристемной лаборатории поддерживалась температура в пределах $+27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, фотопериод составлял 16 часов в сутки.

Общая площадь ассимиляционной поверхности листьев измерялась прибором-проектором через каждые 10 дней роста малины и определялась как средняя арифметическая от суммы двух взаимно перпендикулярных проекций листьев растений (рисунок 4.1).



а)



б)

Рисунок 4. 1 Прибор-проектор для определения общей площади листьев меристемных растений

где а) – схема прибора; б) – общий вид; 1 – отражатель; 2 – источник излучения; 3 – матовое стекло; 4 – пробирка; 5 – растение; 6 – мостик для закрепления растения; 7 – селеновый фотоэлемент; 8 – люксметр Ю-16.

Разработанная сине-красная LED облучательная установка состояла из 8-ми синих и трех красных светодиодов и располагалась над пробирками с растениями (рисунок 4.2). Ее мощность составляла 11 Вт.

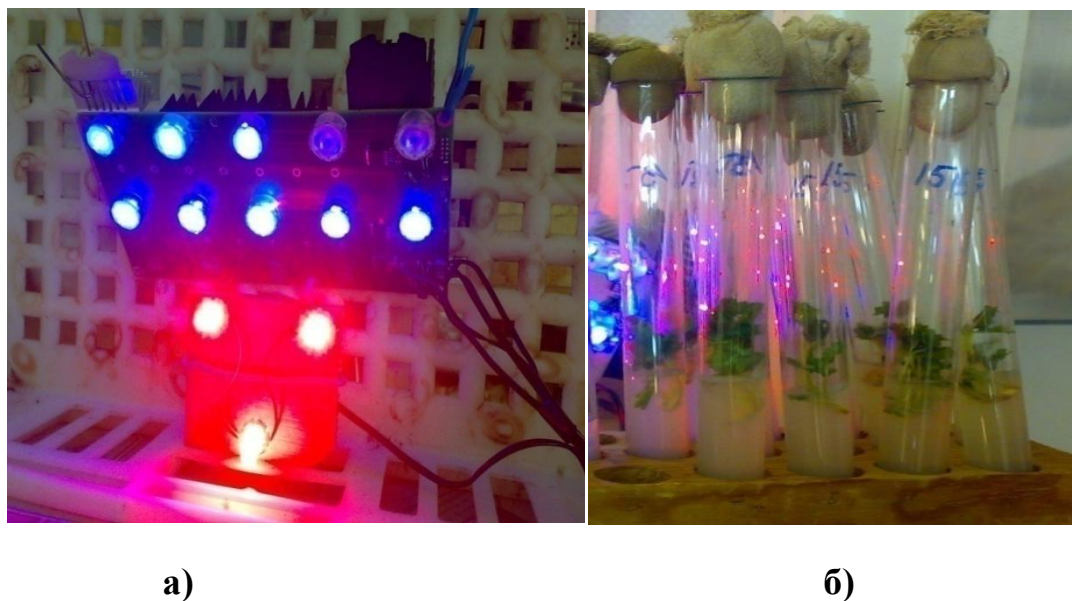


Рисунок 4. 2. Общий вид сине-красной LED (а) и меристемные растения малины сорта «Гусар» после 10 дней облучения светодиодной установкой (б)

На рисунке 4.3 показаны растения на 20 день выращивания.



Рисунок 4. 3. Меристемные растения малины сорта «Гусар» на 20 день облучения:

где а) лампы ЛБ80, б) сине-красная LED установка

Результаты исследований показывают, что использование LED осветительной установки позволяют улучшить биометрические показатели меристемных растений малины сорта «Гусар» и способствуют значительной экономии электрической энергии на 87,5%. На рисунке 4.4 показаны растения на 30 день выращивания.



а)



б)

Рисунок 4. 4. Меристемные растения малины сорта «Гусар» на 30 день облучения:

где а – лампы ЛБ80, б – сине-красная LED установка

Полученные результаты приведены в таблице. 4.1.

Таблица 4. 1. – Результаты опытов по выращиванию малины сорта «Гусар» в зависимости от спектра излучения

Дни измерений	Средняя площадь поверхности листьев, мм ²		По отношению к контролю %
	лампы ЛБ 80 (контроль)	сине-красные светодиоды	
0	289	270	93
10	324	324	100
20	340	361	106
30	361	460	127

Анализ таблицы 4.1 показывает, что площадь листьев меристемной малины, облучаемой светодиодной установкой, на 30 день роста превышает площадь листьев меристемной малины облучаемой лампами ЛБ 80 на 27%.

4.2. Лабораторные эксперименты 2011-2013 года

Эксперименты 2011-2013 года по влиянию различных спектров излучения на меристемные растения проводились также на базе меристемной лаборатории ГНУ Удмуртский НИИСХ п. Первомайский (рисунке 4.5).

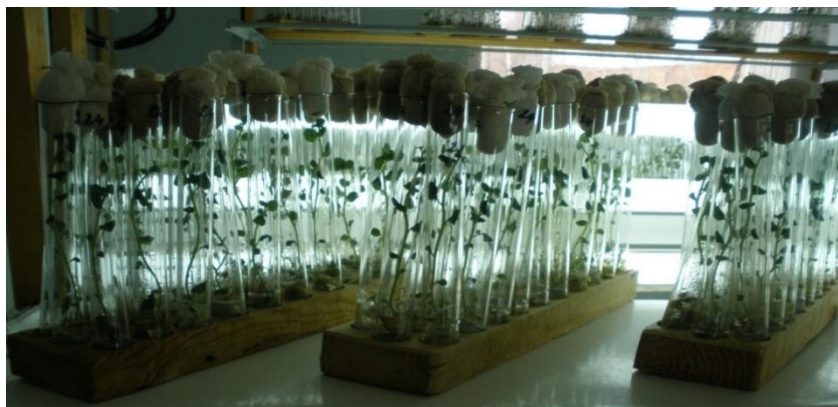


Рисунок 4. 5 Общий вид меристемные растений

Сравнивались четыре варианта:

1. LED установка с соотношением красного и синего излучения 66%:33%. и мощностью 19 Вт. Схема **2К1С**.
2. LED установка с соотношением красного, синего и белого излучения 33%:33%:33%. и мощностью 19 Вт. Схема **1К1С1Б**.
3. LED установка с соотношением красного, синего и белого излучения 50%:25%:25%.и мощностью 22 Вт; Схема **2К1С1Б**.

4. Светильниками марки ЛПО 3017 с люминесцентными лампами мощностью 2×36 Вт.

Описание облучательных установок

1. Светодиоды марки НРВ8-49КхWх красного и синего спектра (соотношение красного и синего 1:2). Мы обозначили ее как «Схема 2К1С» (рисунок 4.6).

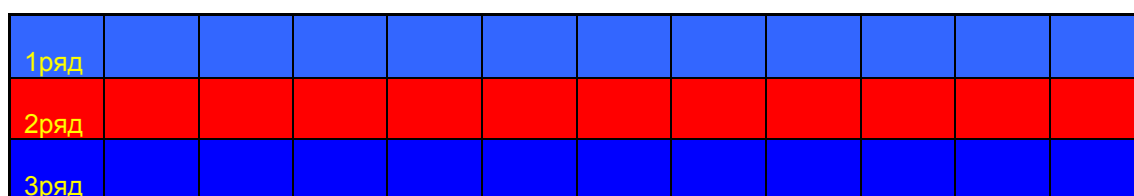


Рисунок 4. 6. Схема расположения светодиодов в установке 2К1С;

В таблице 4.2 приведены технические данные этой установки

Таблица 4. 2. -Технические данные Схемы 2К1С

Расположение	Светодиоды	Количество, шт.	Мощность, Вт		Световой поток, лм	Мощность источника питания, Вт
			одного	ряда		
1 ряд	Синие	12	1	12	360	15
2 ряд	Красные	12	1	12	600	15
3 ряд	Синие	12	1	12	360	15
Итого		36		36		45

На рисунке 4.7 показан общий вид установки, работающей по схеме 2К1С



Рисунок 4. 7. Общий вид установки, работающей по схеме 2К1С

2. Светодиоды марки НРВ8-49КхWх красного, белого и синего спектра (соотношение красного, синего и белого 2:3:1). Это схема 1К1С1Б (рисунок 4.8).

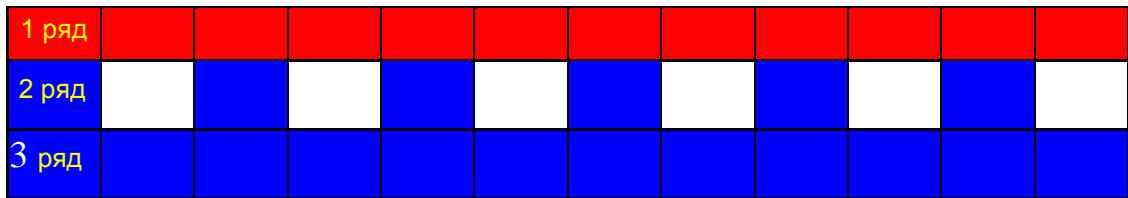


Рисунок 4. 8 Схема расположения светодиодов в установке 1К1С1Б

В таблице 4.3 приведены технические данные этой установки

Таблица 4. 3. -Технические данные Схемы 1К1С1Б

Расположение	Светодиоды	Количество, шт.	Мощность, Вт		Световой поток, лм	Мощность источника питания, Вт
			одного	ряда		
1 ряд	Красные	12	1	12	600	15
2 ряд	Синие	6	1	6	180	15
	Белые	6	1	6	600	
3 ряд	Синие	12	1	12	360	15
Итого		36		36		45

На рисунке 4.9 показан общий вид установки, работающей по схеме 1К1С1Б



Рисунок 4. 9 Общий вид установки, работающей по схеме 1К1С1Б

3. Светодиоды марки НРВ8-49КхWх красного, синего и белого (красного, синего и белого излучения 3;2:1), схема 2К1С1Б (рисунок.4.10)

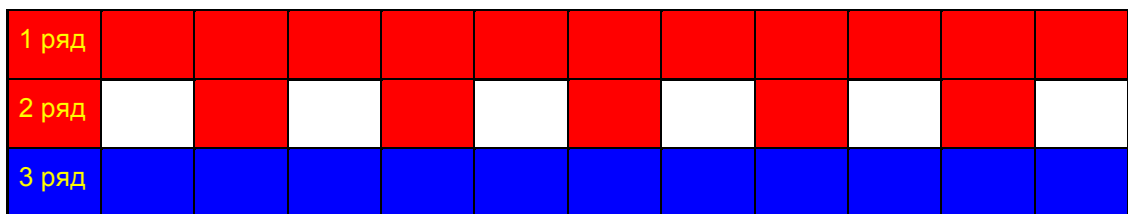


Рисунок 4.10 Схема расположения светодиодов в установке 2К1С1Б

В таблице 4.4 приведены технические данные этой установки

Таблица 4.4 Технические данные Схемы 2К1С1Б

Расположение	Светодиоды	Количество, шт.	Мощность, Вт		Световой поток, лм	Мощность источника питания, Вт
			одного	ряда		
1 ряд	Красные	12	1	12	600	15
2 ряд	Красные	6	1	12	300	15
	Белые	6	1		600	
3 ряд	Красные	12	1	12	600	15
Итого		36		36		45

На рисунке 4.11 показан общий вид установки, работающей по схеме **2К1С1Б**



Рисунок 4.11 Общий вид установки, работающей по схеме 2К1С1Б

4. Светильниками марки ЛПО 3017 с люминесцентными лампами мощностью 2×36 Вт. На рисунке 4.12 показан общий вид установки, со светильниками марки ЛПО 3017



Рисунок 4.12 Общий вид установки ЛПО 3017 с люминесцентными лампами мощностью 2×36 Вт

Результаты исследований показаны в таблице 4.5.,4.6 и рисунке 4.13.

Таблица 4.5 Исследование влияния спектрального состава на развитие растений

Параметры		Облучательные установки			
		Схема 2К1С	Схема 1К1С1Б	Схема 2К1С1Б	ЛБ 2x36
Действительное время работы облучательной установки, ч		480	480	480	480
Расход электроэнергии,	кВт*ч	36	36	36	72
	%	48,71	56,84	48,71	100
Изменение ассимиляционной площади листьев,	мм ²	15,45	18,1	16,35	14
	%	110,35	126,35	116,78	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт*ч/ мм ²	1,22	1,21	1,34	2,778
	%	43,88	43,52	48,2	100

Анализ изменения ассимиляционной площади листьев показал, что наибольшая площадь листьев оказалась у облучательной установки схема **2К1С1Б**.

Таблица 4. 6 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

Анализ результатов по облучению меристемной малины показал, что лучшие показатели представлены у облучательной установки схема **2К1С1Б**.

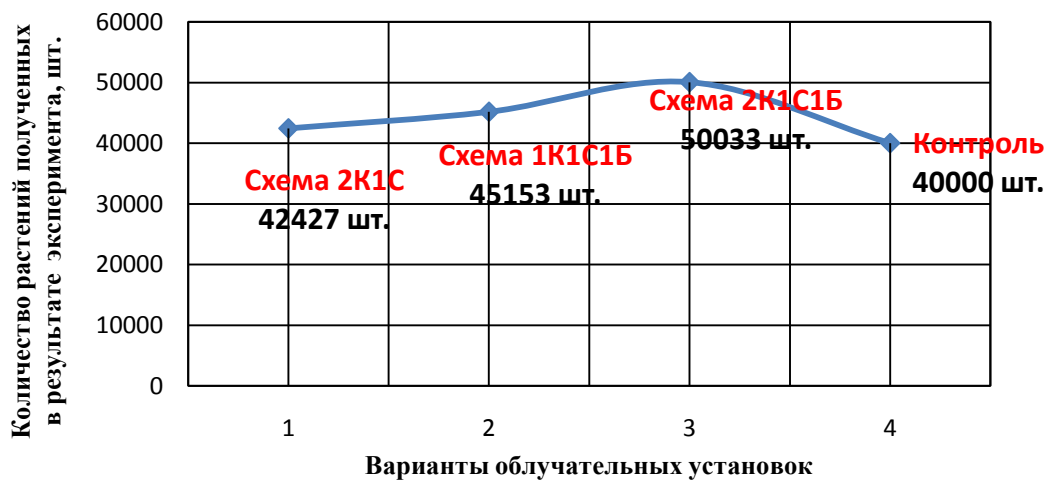


Рисунок 4.13 Изменение продуктивности малины сорта «Гусар» в зависимости от спектральной плотности излучения

Анализ данных показывает, что наиболее высокая продуктивность растений оказалась у облучательной установки схема **2К1С1Б**, где соотношение цветов красного, синего и белого составляет 50%:25%:25%.

На рисунке 4.14 показана пятая LED - облучательная установка, разработанная на кафедре АЭП в 2011...2013гг с возможностью регулирования спектрального состава излучения.



Рисунок 4.14 LED - облучательная установка с возможностью регулирования спектрального состава излучения

Выводы

1.Нами рассмотрены 4 режима облучения меристемных растений культуры малины:

- LED установка с соотношением красного и синего излучения 66%:33%.; и мощностью 36 Вт. Схема **1К2С**.
- LED установка с соотношением красного, синего и белого излучения 33%:33%:33%.и мощностью 36 Вт. Схема **1К1С1Б**.
- LED установка с соотношением красного, синего и белого излучения 50%:25%:25%. и мощностью 36 Вт; **2К1С1Б**.
- Светильниками марки ЛПО 3017 с люминесцентными лампами мощностью 2×36 Вт.

2.Сравнение этих режимов облучения по минимуму удельных затрат показало, что применение комбинированного режима 2К1С1Б позволяет снизить удельный расход электрической энергии на 50%.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ МАЛИНЫ

Расчет экономической эффективности проводился по методу приведенных затрат, исходные данные для расчета приведены в таблице 5.1.

Для сравнения использовались три способа облучения меристемной малины:

1. Облучательная установка с соотношением красного, синего и белого 50%:25%:25%, схема 2К.1С.1Б.
2. Светильник марки ЛПО 3017 с люминесцентной лампой мощностью 36 Вт (Контроль)

Таблица 5.1 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.	Ц _{оу}	1 000,00	3 500,00
Цена одной лампы и светодиодной матрицы	руб.	Ц _л	40,00	1 000,00
Объем производимой продукции	пробирка	A	3 600,00	3 600,00
Мощность одной лампы	кВт	P _л	0,07	0,04
Коэффициент потерь мощности в ПРА		K _{пра}	1,20	1,00
Стоимость 1 кВт.ч электроэнергии	руб/кВт.ч	СкВт	2,56	2,56
Коэффициент, учит. расходы на монтаж		K _м	0,20	0,20
Коэффициент, учит. транспорт. расходы		K _т	0,12	0,12
Срок службы лампы	час.	T _л	13 000,00	50 000,00
Срок службы арматуры	час.	T _{ар}	8 760,00	8 760,00
Время работы ОУ в году	час.	T _{раб}	4 800,00	4 800,00
Зарплата электромотера	руб.	ЗП	10 000,00	10 000,00
Нормат.коэфф.эффект. капиталовложений		E _н	0,15	0,15
Цена продукции	руб./проб	Ц _д	100	100,00

Расчет экономической эффективности проводился по методике приведенных затрат. Расчет приведем для 30 стеллажей:

1. Капитальные вложения:

$$K = (K_M + K_T + 1) \cdot C_{ou} \cdot N \quad (5.1)$$

Следовательно,

$$K_1 = (0,2 + 0,12 + 1) \cdot 1000 \cdot 30 = 39600 \text{ рублей} \quad (5.2)$$

$$K_2 = (0,2 + 0,12 + 1) \cdot 3500 \cdot 15 = 69300 \text{ рублей} \quad (5.3)$$

2. Эксплуатационные затраты (ЭЗ) определяются по формуле:

$$\text{ЭЗ} = C_э + C_a + C_{зп} + C_{тр} + C_{пр}, \quad (5.4)$$

где $C_э$ - стоимость электроэнергии, руб.;

C_a - амортизационные отчисления, руб.;

$C_{зп}$ - стоимость заработной платы, руб.;

$C_{тр}$ - стоимость текущего ремонта, руб.;

$C_{пр}$ - прочие эксплуатационные расходы, руб.

Главные составляющие эксплуатационных затрат стоимость электроэнергии и амортизационные отчисления.

Стоимость потребления электроэнергии

$$C_э = K_{пра} \cdot N \cdot P_l \cdot C_{кВт} \cdot T_{раб} \quad (5.5)$$

Следовательно,

$$C_{э1} = 1,2 \cdot 30 \cdot 0,072 \cdot 2,56 \cdot 4800 = 31850 \text{ рублей} \quad (5.6)$$

$$C_{э2} = 1 \cdot 15 \cdot 0,036 \cdot 2,56 \cdot 4800 = 6636 \text{ рублей} \quad (5.7)$$

Амортизационные отчисления на лампы

$$C_{ал} = \frac{Ц_l \cdot K_M \cdot K_T \cdot N \cdot T_{раб}}{T_l} \quad (5.8)$$

Следовательно,

$$C_{ал1} = \frac{40 \cdot 0,2 \cdot 0,12 \cdot 30 \cdot 4800}{13000} = 11 \text{ рублей} \quad (5.9)$$

$$C_{ал2} = \frac{1000 \cdot 0,2 \cdot 0,12 \cdot 15 \cdot 4800}{50000} = 35 \text{ рублей} \quad (5.10)$$

Амортизационные отчисления на арматуру:

$$C_{арм} = \frac{(K - Ц_l \cdot K_{пра} \cdot C_{кВт} \cdot N) T_{раб}}{T_{ар}} \quad (5.11)$$

Следовательно,

$$C_{арм1} = \frac{(39600 - 40 \cdot 1,2 \cdot 2,56 \cdot 30) \cdot 4800}{8760} = 19679 \text{ рублей} \quad (5.12)$$

$$C_{\text{арм2}} = \frac{(69300 - 1000 \cdot 1 \cdot 2,56 \cdot 15) \cdot 4800}{8760} = 16932 \text{ рублей} \quad (5.13)$$

Затраты на текущий ремонт:

$$C_{\text{ТР}} = 0,125 \cdot K \quad (5.14)$$

Следовательно,

$$C_{\text{ТР1}} = 0,125 \cdot 39600 = 4950 \text{ рублей} \quad (5.15)$$

$$C_{\text{ТР2}} = 0,125 \cdot 69300 = 8663 \text{ рублей} \quad (5.16)$$

Прочие затраты:

$$C_{\text{ПР}} = (C_{\text{э}} + C_{\text{ал}} + C_{\text{арм}} + C_{\text{зп}}) \cdot 0,1 \quad (5.17)$$

Следовательно,

$$C_{\text{ПР1}} = (31850 + 11 + 19679 + 120000) \cdot 0,1 = 17154 \text{ рублей} \quad (5.18)$$

$$C_{\text{ПР2}} = (6636 + 35 + 16932 + 120000) \cdot 0,1 = 14360 \text{ рублей} \quad (5.19)$$

Стоимость заработной платы:

$$C_{\text{зп}} = 12 \cdot \text{ЗП} \quad (5.20)$$

Следовательно,

$$C_{\text{зп1}} = 12 \cdot 10000 = 120000 \text{ рублей} \quad (5.21)$$

$$C_{\text{зп2}} = 12 \cdot 10000 = 120000 \text{ рублей} \quad (5.22)$$

Таким образом, эксплуатационные затраты составляют:

$$\text{ЭЗ}_1 = 31850 + 11 + 19679 + 4950 + 17154 + 120000 = 193\ 644 \text{ рублей} \quad (5.23)$$

$$\text{ЭЗ}_2 = 6136 + 35 + 16932 + 8663 + 14360 + 120000 = 166\ 624 \text{ рубле} \quad (5.24)$$

3. Приведенные затраты, руб., при нормативном коэффициенте эффективности капиталовложений:

$$\text{ПЗ} = K \cdot E_{\text{н}} + \text{ЭЗ} \quad (5.25)$$

где K - капитальные вложения, руб.;

E_n - нормативный коэффициент ($E_n = 0,15$);

ЭЗ - эксплуатационные затраты, руб.

$$ПЗ_1 = 39600 \cdot 0,15 + 193\,644 = 199\,584 \text{ рублей} \quad (5.26)$$

$$ПЗ_2 = 69300 \cdot 0,15 + 166624 = 177\,019 \text{ рублей} \quad (5.27)$$

4. Годовой экономический эффект, руб

$$\Gamma_{\text{ЭЭ}} = \left(\left(\frac{ПЗ_1}{A_1} \right) - \left(\frac{ПЗ_2}{A_2} \right) \right) \cdot A_2 \quad (5.28)$$

Где А- число выращенных растений

Следовательно,

$$\Gamma_{\text{ЭЭ2}} = \left(\left(\frac{199\,584}{3600} \right) - \left(\frac{177\,019}{3600} \right) \right) \cdot 3600 = 22\,564 \text{ рублей} \quad (5.29)$$

Результаты расчета приведенных затрат для выращивания меристемных растений приведены в табл. 5.2

Таблица 5.2 Данные расчета экономической эффективности

Показатель	Размерность	Обозначение	Вариант	
			Базовый	Проектир
Капитальные вложения	руб.	К	39 600	69 300
Эксплуатационные затраты	руб.	ЭЗ	193 644	166 624
Стоимость потребленной 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 затраты	руб.	ПЗ	199 584	177 019
Урожайность, пробирки	проб/год	У	1 666	2 084
Приведенные затраты на единицу продук.	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

Выводы

1. Из таблицы 5.2 видно, что при использовании метода светодиодного облучения в сравнении лампами ЛПО-3017 меристемных растений малины приведенные затраты уменьшились на 22 564 рубля.
2. Затраты на производство одной пробирки сократились на 35 рублей.
3. Срок окупаемости данной 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.

Литература

1. Афанасьева, Е.И. Источники света и пускорегулирующая аппаратура / Афанасьева Е.И., Скобелев В.М.: Учебник для техникумов.–2-ое изд., перераб.–М.: Энергоатомиздат,1986.
2. Абрамов, В.С. Свойства зеленых и синих InGaN – светодиодов./ Абрамов В.С., Никифоров С.Г., Соболев П.А., Сушков В.П. // Светодиоды и лазеры. 2002. № 1 – 2. – С. 30–33.
3. Аладинский, В.К. Расчет нелинейности температурной зависимости прямого напряжения р-п-перехода. / Аладинский В.К., Барышников Д.А., Соляр В.Г.// Электронная техника. Сер. 2, Полупроводниковые приборы, 1984. Вып. 6. – С.16–26.
4. Бабенко, А.В. Автоматическое управление освещением / Бабенко А.В., Гадай А.В., Захарчук А.Н.// Энергетика и электротехника.2013.№1–С.1–5.
5. Баринаева, Э.Ю. Температурная зависимость зеленого светодиода из GaP в интервале температур от -60 до +60°С / Баринаева Э.Ю., Вишневская Б.И., Коган Л.М. // Электронная техника. Сер. 2, Полупроводниковые приборы, 1982. Вып. 7. – С. 46–53.
6. Бочкарева, Н.И. Деграция инжекции носителей заряда и деграция голубых светодиодов / Бочкарева Н.И., Ефремов А.А., Ребане Ю.Т., Горбунов Р.И., Клочков А.В., Шретер Ю.Г. // Физика и техника полупроводников, 2006. Т. 40, вып. 6. – С. 122–127.
7. Большина, Н.П.Эффективный способ искусственного облучения растений. / Большина Н.П., Овчукова С.А., Рязанова Т.В. // Тезисы докладов научно-практической конференции «Пути и задачи электрификации с.х. в свете решений Майского (1982г) Пленума ЦК КПСС». Барнаул, 1983.– С. 118–120.
8. Большина, Н.П. Перспективные источники излучения для промышленного цветоводства / Большина Н.П., Райков Н.И., Сеницкий И.Г. // Межвузовский сборник научных трудов «Электрификация стационарных технологических

- процессов с.-х. производства Нечерноземья». Горький: Горьковский СХИ, 1990.
9. Большина, Н.П. К использованию импульсного облучения растений / Большина Н.П., Рязанова Т.В. // Сборник научных трудов МИИСП «Рациональная электрификация с. х.». М.: МИИСП, 1984.
 10. Большина, Н.П. Результаты опытов по светокультуре гвоздики ремонтантной / Большина Н.П., Фомин Е.М. // Межвуз. Сборник научных трудов «Электрификация технологических процессов животноводства и растениеводства и их энергообеспеченность». Горький: Горьк. СХИ, 1990.
 11. Большина, Н.П. Оценка эффективности металгалогенных ламп при выращивании овощных и цветочных культур защищенного грунта. / Большина Н.П., Фомин Е.М., Невский А.В. // Применение оптических излучателей в с.х. Саранск, 1985.– С. 65–68.
 12. Большина, Н.П. Исследование ламп ДРЛФ400 в комбинированном режиме / Большина Н.П., Живописцев Е.Н. // Сб. научных трудов МИИСП «Автоматизация процессов с.-х. производства». :МИИСП, 1983.
 13. Большина, Н.П. Дополнительное облучение при вегетативном размножении ремонтантной гвоздики / Большина Н.П., Фомин Е.М., Кабанова И.Н. // Сборник научных трудов МИИСП «Использование электроэнергии в с.х. и электроснабжение с.-х. районов». М.: МИИСП, 1984.
 14. Бондарь, А.Т. Планирование эксперимента в технической технологии / Бондарь А.Т., Статюха Г.А. Киев: Высшая школа, 1978.– 88с.
 15. Бородин, И.Ф. Практикум по основам автоматики и автоматизации производственных процессов / Бородин И.Ф., Кирилин Н.И. М., «Колос», 1974.
 16. Бродский, В.З. Введение в факторное планирование эксперимента / Бродский, В.З. М.: Наука, 1976, 222 с.
 17. Буторин, В.А. Исследование деградации светового потока от наработки по времени агропромышленного светодиодного светильника / Буторин В.А., Вовденко К.П. // Материалы LI Международной научно-технической конферен-

- ции «Достижения науки – агропромышленному производству». Челябинск: ЧГАА, 2012. Ч. V. – С. 42–44.
18. Буторин, В.А. Разработка испытательного стенда для проведения ресурсных испытаний прожектора светодиодного (светильника) XLight XLD-FL12-AGRO-220-115-01/ Буторин В.А., Вовденко К.П. // Ползуновский вестник, Барнаул, 2011. №2/1. – С. 62–65.
19. Былов, В.Н. Управляемая культура ремонтантной гвоздики. / Былов В.Н., Райков Н.И., Агаджанян И.В. // Цветоводство, 1983, № 4.– С. 14–16.
20. Бородин, И.Ф. Технические средства автоматики / Бородин И.Ф. - М.: Колос, 1982.– С.303.
21. Брандт, А.Б. Использование эффективных единиц./ Брандт А.Б. Светотехника, 1980, № 1, С. 24–26
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.

26. 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.
27. 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
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. Васильев, В.И. Ультрафиолетовые облучатели лечебно-профилактического назначения / Васильев В.И., Вассерман АЛ., Щеголева Ю.А. // Электронная промышленность. 1982. Вып. 8 (114). С. 83 – 84.
33. Васильева, Е.Д. Некоторые закономерности деградации синих светодиодов на основе InGaN/GaN / Васильева Е.Д., Закгейм А.Л., Снегов Ф.М., Черняков А.Е., Шмидт Н.М., Якимов Е.Б. // Светотехника, 2007. №5. – С. 30–32.

34. Вассерман, А.Л. Ксеноновые трубчатые лампы и их применение / Вассерман А.Л. М.: Энергоатомиздат, 1989.
35. Вассерман, А.Л. Ультрафиолетовые бактерицидные установки для обеззараживания воздушной среды помещений / Вассерман А.Л. М.: Дом Света, 1999.– С.15.
36. Вовденко К.П. Исследование изменения спектрального излучения аграрного светодиодного светильника в зависимости от изменения температуры окружающей среды / Вовденко К.П. // Аспекты современной науки. 2012, № 2. – С. 6–10.
37. Вовденко, К.П. Исследование световой характеристики светодиодного светильника / Вовденко К.П. // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2011, № 11. – С. 31.
38. Вовденко, К.П. Разработка методики испытания светодиодного светильника на примере его применения при выращивании рассады огурцов / Вовденко К.П. // Материалы III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы энергетики АПК». Саратов: Изд. «Кубик», 2012. – С. 57–59.
39. Вердеревская, А.Н. Особенности эксплуатации комплекта "Натриевая лампа высокого давления – пускорегулирующий аппарат" / Вердеревская А.Н, Волкова Е.Б., Троицкий А.М. // Светотехника. 1989. № 11, С.8–11.
40. Воскресенский, И.Г. Импульсное досвечивание растений в условиях защищенного грунта / Воскресенский И.Г. // Зап. ЛенСХИ, 1970, т. 118, С.75–81.
41. Гаврилова, Л.И. Характеристики излучения дуговых трубчатых ксеноновых ламп / Гаврилова Л.И., Дойникова С.А., Еремин Е.А., Пахомов В.И., // Светотехника, 1987, №1, С.11–14.
42. Герасимчук, Ю.В. Светоимпульсная облучательная установка для сооружений защищенного грунта/ Герасимчук Ю.В., Скрыпник Н.Н., Корж Б.В. // - В сб.: Проблемы фотоэнергетики растений и повышение урожайности. Львов, 1984, С.240.
43. Гладин, Д.В. Использование светодиодных технологий в сельском хозяйстве / Гладин Д.В. // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 2. – С.60–65.

44. Глухов, И.В. Высшие гармоники тока установок светоимпульсного облучения растений и способы их уменьшения / Глухов И.В., Елисеев В.И. // – Зап. ЛенСХИ, 1975, т. 258, С. 23 – 31.
45. ГОСТ 16354-77. Лампы ртутные высокого давления общего назначения. Технические условия.– М: Стандартиформ 1977.–56с.
46. ГОСТ 21430-75. Лампы газоразрядные. Методы измерения электрических параметров и светового потока. .– М: Стандартиформ 1975.–46с.
47. Джордж, Мао Срок службы светодиодов и их надежность – ключ к успешной реализации светотехнических проектов / Джордж Мао, Маршалл Майлс // Современная светотехника. 2010. № 6. – С. 29–31.
48. Дзино, В.Н. Автоматизация процессов сборки полупроводниковых индикаторов / Дзино В.Н., Кононок Н.Л., Скарин В.К., Щербаков Н.В. // Электронная промышленность, 1982, Т. 5–6. – С. 57–58.
49. Елисеев, В.И. Исследование схем импульсных облучательных установок с емкостно-диодными преобразователями и влияние их на сельскохозяйственные электрические сети / Елисеев, В.И. – Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Л., Пушкино, 1976.
50. Ермаков, О.Н. Светоизлучающие диоды зеленого цвета свечения с повышенной температурной стабильностью потока излучения / Ермаков О.Н., Аксёнов В.Ф., Игнаткина Р.С. // Тез. докл. на 4 Всесоюз. конф. «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение». М.: 1982. – 103 с.
51. Жилинский, Ю.М. Электрическое освещение и облучение / Жилинский Ю.М., Кумин В.Д., М., Колос, 1982 г., С 268 .
52. Зайцев, Г.Н. Методика биометрических расчетов / Зайцев Г.Н. М., Наука, 1973, С.265.
53. Зуев, Л.К. Экономичный преобразователь для питания люминесцентной лампы от аккумуляторной батареи / Зуев Л.К. // Радио. 2001. № 2, -С. 34-35.
54. Изаков, Ф.Я. Практикум по применению электрической энергии в сельском хозяйстве / Изаков Ф.Я., Козинский В.А., Лукиенко Т.В., Шаповалов А.Т., Яснов Г.А. М., Колос, 1972.

- 55.Именков, А.Н. Свойства светодиодов на основе GaSb с сетчатыми омическими контактами / Именков А.Н., Гребенщикова Е.А., Журтанов Б.Е., Данилова Т.Н., Сиповская М.А., Власенко Н.В., Яковлев Ю.П. // Физика и техника полупроводников. 2004. Т. 38, вып. 2. – С.1399–1407.
- 56.Калва, Л.Э. Маточники из меристемных черенков / Калва Л.Э. // Цветоводство.- 1976, № 9.
- 57.Шевелуха, В.С. / Шевелуха В.С., Свентицкий И.И. Изд.Высшая школа, 2008, С.710.
- 58.Касьянова, Т.Г. Для повышения продуктивности маточников / Касьянова Т.Г., Висянцева Л.В., Алейникова Т.М.// Цветоводство.1977. – №2– С.9.
- 59.Квашин, Г.Н. Исследование работы сельскохозяйственных облучательных систем и установок для растениеводства с использованием групповых систем включения / Квашин Г.Н. А.Р., дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. М., ВИЭСХ, 1983 г.
- 60.Кожушко, Г.М. Характеристики металлогалогенных ламп с различным наполнением/ Кожушко Г.М., Рохлин Г.Н.// Светотехника,1982, №11, С.1-3.
- 61.Козинский, В.А. К теории расчета фитооблучателей с люминесцентными лампами / Козинский В.А. Дисс. на соискан. уч. ст. канд. наук, Челябинск, 1971
- 62.Козинский, В.А. Карусельная установка / Козинский В.А. // Картофель и овощи, 1966, №4.
- 63.Козинский, В.А. Теоретическое обоснование и методика расчета передвижных облучательных установок / Козинский В.А. - Методическое пособие, г. Челябинск, 1968, С13.
- 64.Козинский, В.А. Электрическое освещение и облучение / Козинский В.А.– М.:
- 65.Козырева, Е.А. Анализ электрических схем для электрооблучения растений/ Козырева Е.А. // Труды 6- Межд.науч.-техн. конф. (13-14 мая 2008г.) «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 3.–М.: ВИЭСХ, 2008.С.390-394.

66. Колкер, М.И. Электроды сопротивления с широтно-импульсным регулированием с применением тиристоров / Колкер М.И., Полищук Я.А., Обухов С.Г. // – Библ. электротермиста. М., 1977, вып. 64.
67. Кондратьева, Н.П. Инженерное обеспечение комбинированного режима облучения растений. Анализ существующих способов облучений / Кондратьева Н.П., Козырева Е.А. // Труды научно-практической конференции "молодых ученых и специалистов, посвященных 450-летию вхождения Удмуртии в состав России»- Ижевск: ИЖГСХА, 2006. С.15.
68. Кондратьева, Н.П. Обоснование разработки инженерных решений для реализации комбинированного режима облучения растений / Кондратьева Н.П., Козырева Е.А. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2002. № 5. С.17-18.
69. Кондратьева, Н.П. Схема автоматического управления работой разрядных ламп в комбинированном режиме облучения / Кондратьева Н.П., Козырева Е.А. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 8. С.9-10.
70. Конлов, Н.Ф. Математические методы определения площади листьев растений / Конлов Н.Ф. // – Доклады ВАСХИИЛ, М., №9, 1970 – С. 5.
71. Константинов, И.Н. Основы сельскохозяйственного опытного дела / Константинов И.Н. // М., Сельхозгаз, 1982, С.446.
72. Корж, Б.В. Использование коротких серий импульсного освещения для излучения процесса фотосинтеза дыхания зеленых растений на свету / Корж Б.В. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук. Л., 1976, С.194 .
73. Корж, Б.В. Фотосинтез и фотодыхание гетерозисных гибридов кукурузы при различных температурах / Корж Б.В. // – Тр. ВИР им. И.И. Гаврилова по прикладной ботанике, генетике и селекции. Л., 1980, т. 67, вып. 2, С. 83-87.
74. Косицин, О.А. Исследование процесса оптического облучения плодоносящих растений огурцов в теплицах и разработка метода расчета облучательных электроустановок / Косицин О.А. Дисс. на соискания уч.ст.канд.техн.наук. М., 1977.
75. Косицин, О.А. Методика светотехнического расчета тепличных установок с точечными облучателями / Косицин О.А. // – Сб. Научн. Трудов « Электрификация

технологических процессов сельскохозяйственного производства и электроснабжения сельского хозяйства», М., 1980, т. 17, вып. 5, С. 107–110.

76. Краснопольский, А.В. Разработка методов расчета, оценки и схем пускорегулирующей аппаратуры для газоразрядных ламп / Краснопольский А.В. Дисс. на соиск. уч.ст.канд.техн.наук., М., 1963, С. 175 .
77. Кузнецов, О.И. Облучатель ОТ-100 в импульсном режиме для производства рассады огурцов / Кузнецов О.И. // Зап. ЛенСХИ, 1976, т.855, С. 75 – 90.
78. Кузнецов, О.И. Разработка генераторов импульсов и исследование режимов искусственного облучения растений / Кузнецов О.И. Дис.на соиск.уч.ст.канд.техн.наук., Л., Пушкино, 1971.
79. Лабунцов, В.А. Регулирование среднего и действующего значения напряжения преобразователя с высоким значением коэффициента мощности / Лабунцов В.А., Обухов С.Г., Яров В.А. // преобразовательная техника, 1971, вып.18.
80. Лебедева, В.В. Электросветокультура / Лебедева В.В. // Цветоводство, 1958, №1, С.23.
81. Левин, С.И. Статические методы контроля и анализа качества источников света / Левин С.И. – М., из стандартов, 1968., С.164 .
82. Леман, В.М. Курс светокультуры растений / Леман В.М. М., Колос, 1970
83. Лисовский, Г.И. Экспериментальная оценка эффективности источников света с светокультуре растений / Лисовский Г.И., Прикупец Л.Б., Сарычев Г.С., Сидько Ф.Я., Тихомиров А.Н.// Светотехника, 1983. №4, С. 7-9.
84. Малышев, В.В. Облучательные установки с протяженными отражающими поверхностями / Малышев В.В., Мудрак Е.И., Рымов А.И., Сарычев Г.С. // – Светотехника, 1983, №3, С. 17.
85. Марзоев, В.В. Оборудование для облучения растений / Марзоев В.В. // – Техника в сельском хозяйстве. 1981, №3, С. 19-20.
86. Маршак, И.С., Импульсные источники света / Маршак И.С. // М., Госэнергоиздат, 1963.

- 87.Масекас, С.Ю. Обоснование выбора схемы мгновенного зажигания люминесцентных ламп в ждущем режиме / Масекас С.Ю. Дисс. на соиск. уч. ст. канд.техн.наук. М.,1964, 204 с.
- 88.Матвеев, В.В. Новые источники облучения в растениеводстве / Матвеев В.В., Овчукова С.А., Большина Н.П.// Цветоводство №2, С.5.
- 89.Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. М., Колос, Комиздат, 1989.
- 90.Мошков, Б.С. Выращивание растений при искусственном освещении / Мошков Б.С. М., 1975.
- 91.Мудраж, Е.И. Облучатели тепличные для цветочных теплиц / Мудраж Е.И. - Цветоводство, 1979. №7, С.2.
- 92.Ничипорович, А.А. Фотосинтез и вопросы продуктивности растений / Ничипорович А.А. М., Наука, 1963.– С.158.
- 93.Никифоров, С.Г. Если бы молодость знала, если бы старость могла / Никифоров С.Г.// Полупроводниковая светотехника. 2010. № 6. – С. 10–14.
- 94.Никифоров, С.Г. Исследование параметров семейства светодиодов Cree XLamp / Никифоров С.Г. // Компоненты и технологии. 2006. № 11. – С. 42–49.
- 95.Никифоров, С.Г. Повесть о «вечной» молодости светодиодов / Никифоров С.Г.// Полупроводниковая светотехника. 2010, № 4. – С. 32–35.
- 96.Никифоров, С.Г. Почему светодиоды не всегда работают так как хотят их производители / Никифоров С.Г.// Компоненты и технологии. 2005. №7.– С.16–24.
- 97.Никифоров, С.Г. Проблемы, теория и реальность светодиодов для современных систем отображения информации высшего качества / Никифоров С.Г. // Компоненты и технологии. 2005. № 5. – С. 48–57.
- 98.Никифоров, С.Г. Разработка методик контроля деградации характеристик светодиодов на основе твердых растворов AlGaInP и AlGaInN / Никифоров С.Г.: Дис. ...канд. техн. наук. Москва, 2006. – 195 С.
- 99.Никифоров, С.Г. Стабильность и надежность светодиодов закладывается на производстве / Никифоров С.Г. // Компоненты и технологии. 2007. №5.– С. 59–66.

100. Никифоров, С.Г. Температура в жизни и работе светодиодов / Никифоров С.Г. // Компоненты и технологии. № 9, (2005). – С. 48–54, № 1, (2006). – С.18–23.
101. Никифоров, С.Г. Теперь электроны можно увидеть: светодиоды делают электрический ток очень заметным / Никифоров С.Г. // Компоненты и технологии. 2006. № 3. – С. 96–103.
102. Николаев, Д.С., Светодиодные светильники: Ваш первый опыт / Николаев Д., Щеглов С., Феопентов А. // Полупроводниковая светотехника, 2009. № 1. – С. 37-41.
103. Николаев, Ю.Н. Зависимость температурного коэффициента излучения светодиодов от тока питания / Николаев Ю.Н., Кулешов В.М.// Тез. докл. на 5 Всесоюз. конф. «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение». М., 1984. – 164 с.
104. Обухов, С.Г. Коэффициент мощности импульсных регулирующих устройств / Обухов С.Г. - Электричество. 1965. №11,С.36.
105. Овчукова, С.А. Способы повышения эффективности облучательных установок в промышленном растениеводстве / Овчукова С.А., Козинский В.А., Большина Н.П. // В сб.; Проблемы фотоэнергетики растений и повышение урожайности. Львов. 1984.– С.257-258.
106. Османов, С.С. Карусельная высокочастотная установка переменного облучения/ Османов С.С.//- Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1978, №1, С. 11-13.
107. Патент РФ №59206 на полезную модель, МПК7: F21V 9/02. Облучатель для растениеводства / Боев Э.И., Глаголева А.А., Седов В.И., Распопов С.С., Высоцкий В.А. / заявка на изобретение № 2006121556/22 от 20.06.2006. – Оpubл. 10.12.2006.ФГУП «Гиредмет»,ООО «Воля», ГНУ «ВСТИСТ»
108. Патент РФ №107020 на полезную модель, МПК7: A01G 9/00, F21S 2/00. Светодиодная система освещения растений / Юферев Л.Ю., Алферова Л.К. / заявка на изобретение № 2010124684/15 от 18.06.2010. – Оpubл. 10.08.2011. ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии.
109. Патент РФ №39183 на полезную модель, МПК7: F21V 9/10. Универсальный светодиодный осветитель с микропроцессорным управлением / Марков В.Н. / за-

явка на изобретение 2004111438/22 от 16.04.2004. – Оpubл. 20.07.2004 Марков Валерий Николаевич.

110. 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.
111. Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Перспективы применения светодиодов в растениеводстве // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 5. – С. 60–63.
112. Птащенко А.А., Мороз Н.В., Цап Б.В. Деграция излучающих р-n-переходов // Обеспечение качества и надежности РЭА и ЭВА. Межвузовск. сборн. научн. труд. Москва: МИЛ. 1989. – С. 62–79.
113. Рожанский, И.В. Анализ причин падения эффективности электролюминесценции светодиодных гетероструктур AlGaN при большой плотности тока накачки / Рожанский И.В., Закгейм Д.А. // Физика и техника полупроводников, 2006. Т. 40, вып. 7. – С. 861–867.
114. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки за №11630.. Расчет скорости газообмена двуокиси углерода при импульсном облучении. Корепанов Д.А. Кондратьева Н.П., Козырева Е.А. 13.10.2008. , выданное Федеральным агентством по образованию: ФГНУ «Государственный координационный центр информационных технологий»: Отраслевой фонд алгоритмов и программ.
115. Свентицкий, И.И. Экологическая биоэнергетика растений и сельскохозяйственное производство ОНТИ НЦБИ АН СССР/ Свентицкий И.И. //, Пущино,1982, С.222.
116. Семенов, Б.М. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Семенов Б.М. — М.: Солон-Р, 2001.
117. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринга, Л., Э., 1976, 382 с.
118. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.А. Айзенберга, М., Энергоатомиздат, 1983, 472 с.

119. Станко, С.А. Светоимпульсный стробоскопический метод в фотосинтезе растений / Станко С.А., Вассерман А.Л., Шахов А.А. // В сб.: Проблемы фотоэнергетики растений и повышение урожайности, 1978.– С. 218-220.
120. Сушков, В.П. Физические основы деградации полупроводниковых излучающих диодов / Сушков В.П. // Физические основы надежности и деградации полупроводниковых приборов. Кишнев. 1982. Ч. 1. – С.24–25.
121. Тимирязев, К.А. Космическая роль растений. В сб.: Солнце, жизнь и хлорофилл / Тимирязев К.А. М-Петроград, Госиздат, 1923, С.324.
122. Тиходеев, П.М. Световые измерения в светотехнике. (фотометрия) / Тиходеев П.М. М.-Л., 1962, 464 с. Госэнергоиздат.
123. Фатеев, В.И. Исследование путей повышения эффективности установок для искусственного облучения растений / Фатеев В.И. Дисс. на соиск. уч.ст.канд.техн.наук, Челябинск, 1978, 163 с.
124. Харкевич, А.А. Основы радиотехники / Харкевич А.А. М., Связьиздат, 1963. С.560.
125. Хрусталеv, Д.А. Электронные балласты для люминесцентных ламп / Хрусталеv Д.А. — М.: Схемотехника, 2001, № 2, С.35.
126. Шарупич, В.П. О проектировании сооружений искусственного климата для выращивания растений / Шарупич В.П. – Светотехника, 1984, № 10, С. 12.
127. Шестопалов, В.И. Использование установок ФOU-1-6 для промышленной светокультуры овощей / Шестопалов В.И., Вассерман А.Л., Квашин Г.Н., Рошаль А.А. – Техника в сельском хозяйстве, 1982, № 12.
128. Широков, В.И. Компактные электронные люминесцентные лампы: выбираем, применяем, ремонтируем./ Широков В.И. // Радиолюбби. – 2001.-№ 3, с. –С.48–52.
129. Корис, Р Справочник инженера-схемотехника / Корис Р. Шмидт-Вальтер Х. М., Техносфера, 2008. С.607 .
130. Клапвайк Д. Климат теплиц и управление ростом растений / Клапвайк Д. Пер. с голландск. и предисл. Д. О. Лебла. М., «Колос», 1976.
131. Хазанова Л.Э. Математическое моделирование в экономике: Учебное пособие / Хазанова Л.Э. - М.: Издательство БЕК, 1998.-С.141 .

132. Brown H.T. Escombe F. Von Researches on some the Physiological processes leaveg with special referenceto interehange of energut weanthe leaf and surroundings./ Brown H.T. Escombe F. // Pcos Yoc. B/ 1905. B. 76, p.p. 29...111.
133. Emercon, R., Arnold A. A separation of the reaction in photosuntesis by means of in termitteut Zicht. Jicht. J./ Emercon R., Arnold A. A // Cen. Physiola, 1932, v. 15, № 4, p.p. 391...420.
134. Growth control by cyclic lighting. Agricultural Reserch, p.p. 10...11/
135. Harris P. Photoperiodic Control of Flowering in Carnation. Annals of Botany, 1972, v. 36 (145), p.p. 347...352.
136. <http://www.irf.com/whats-new/nr011108.html>
137. <http://ec.irf.com/ec/adirect/ir?cmd=eDownloadBallast>
138. <http://lampa4.narod.ru/lampsh.htm>
139. <http://www.irf.com>
140. <http://www.irf.com/forms/eltdk.html>
141. Makkel P. Uber Modellesubstanzen zur Untersuchung der Wirkung intermittirenden Belichtung. Naturwissenschaft, 1959, v. 46, № 18, J. 537...538.
142. Me Cree H/J/, Joomis R.S. Photosynthesis in fluctuaning light. Ecology., 1969, №3, v.50.
143. Mekkel P. Uber Belichtung von Pflanze mit einer Folge von Electronenblitzen. Naturwissenschaft, 1961, v. 48, №11, J 435 (Laboratorium Fur organische Jynthese, Leipzig).
144. Warburg O. Uber dit Geschwindigkeit der photochemischen kohlensanrezersetzung in lebenden Zellen Biohim., 1919, Bd100,Y230-270.
145. Warburg O.,ychreder W., Gattung N. Zuchtung der Chlrelle mit fluktuirender zich-tensitat. Zeitschrift fur Naturforschung, 1956/ v/116,№11, Y.654-657.
146. Zummer K. Zur Wirkung von Jtorlicht bei einiger photoperiodisch reagierenden Zierpflanzen. Gartenbauwissenschaft, 1973, v/ 38, №1, J. 57...63. , 1991.

Список иллюстрированного материала 1

Таблица 1. 1 Длина волн и их влияние на растения	29
Таблица 3. 1 Доли потребляемой энергии, преобразуемой в энергию излучения и тепла различными источниками света	76
Таблица 3. 2 Спектральный состав солнечного излучения при различной высоте солнца над горизонтом	98
Таблица 3. 3. Высота солнцестояния в полуденные часы на различных широтах в пределах России	102
Таблица 3. 4 Зависимость длины пути солнечного луча от высоты солнца	103
Таблица 3. 5 Зависимость естественной освещенности горизонтальной поверхности от высоты солнца	104
Таблица 4. 1. Результаты опытов по выращиванию малины сорта «Гусар» в зависимости от спектра излучения	113
Таблица 4. 2. Технические данные Схемы 2К1С	115
Таблица 4. 3. Технические данные Схемы 1К1С1Б	116
Таблица 4. 4. Технические данные Схемы 2К1С1Б	117
Таблица 4. 5. Исследование влияния спектрального состава на развитие растений	118
Таблица 4. 6 Результаты опытов по облучению меристемной малины	118
Таблица 5. 1 Оценка технико-экономической эффективности замены ламп ЛПО 3017 на светодиодный светильник с коррекцией спектрального состава	120
Таблица 5. 2 Данные расчета экономической эффективности	123

Список иллюстрированного материала 2

Рисунок 1. 1	Схема меристемной технологии.....	20
Рисунок 1. 2	Спектр восприятия человеческого глаза.....	24
Рисунок 1. 3	Спектральная фотосинтезная эффективность	26
Рисунок 1. 4	Спектрограмма солнечного света в видимом диапазоне	34
Рисунок 1. 5	Усредненная кривая фотосинтеза зеленого листа по McCree	34
Рисунок 1. 6	Относительная спектральная эффективность фотосинтеза зеленого листа	35
Рисунок 1. 7	Схема процесса легирования.....	38
Рисунок 1. 8	Схема работы светодиода.....	39
Рисунок 1. 9	Конструкция светодиода.....	40
Рисунок 1. 10	Модель аддитивного смешения цветов применяется для света, непосредственно излучаемого световыми источниками	41
Рисунок 1. 11	Модель субтрактивного смешивания цветов	41
Рисунок 1. 12	Основные материалы для производства монохромных светодиодов.....	42
Рисунок 1. 13	Цветовая диаграмма	43
Рисунок 1. 14	Схема смешения желтого и синего цветов	44
Рисунок 1.15.	Схема светодиодного прибора.....	46
Рисунок 1. 16	Вольтамперные характеристики СД.....	47
Рисунок 1. 17	Спектральное распределение энергии излучения.....	49
Рисунок 1. 18	Люмен-амперная характеристика светодиода	50
Рисунок 1. 19	Общий вид лампы MT5070	51
Рисунок 1. 20	Лампа Алмаз-12 Комфорт	52
Рисунок 1. 21	Светодиодный светильник СИДОР	53
Рисунок 1. 22	Светильник светодиодный УСС-70БИО	54
Рисунок 1. 23	лампа Osram Fluora	55
Рисунок 2. 1	Структурно–функциональная схема воздействия энергии оптического излучения на биологический объект	60
Рисунок 2. 2	Приведенные удельные затраты	63
Рисунок 2. 3	Изменение площади листьев меристемной малины за 30 дней	72
Рисунок 3. 1	Схема отвода тепла в светодиоде.....	77
Рисунок 3. 2	Влияние температуры на световой поток светодиодов	79
Рисунок 3. 3	Относительное спектральное распределение излучения светодиодов при различных температурах окружающей среды от -60 до +55 °С:	80
Рисунок 3. 4	Детализировка спектра излучения синего светодиода	80
Рисунок 3. 5	Спектральная эффективность излучения и ширина спектра излучения по уровням 0,1 и 0,5 светодиодов при различных температурах окружающей среды от - 60 до +55 °С.....	82
Рисунок 3. 6	Общая функциональная схема распределенной иерархической системы управления:.....	86
Рисунок 3. 7	Обобщенная схема многоконтурной системы автоматического регулирования (САР).....	88

Рисунок 3. 8	Схема одноконтурной САР	89
Рисунок 3. 9	Светодиодная система для меристемных растений.....	96
Рисунок 3. 10	Характеристика спектра электромагнитных колебаний.....	97
Рисунок 3. 11	Спектр прямого(1) и рассеянного излучения (2).....	99
Рисунок 3. 12	Спектральный состав солнечного излучения в зависимости от высоты стояния солнца над горизонтом	101
Рисунок 3. 13	Относительная длина пути солнечного луча в атмосфере в зависимости от высоты солнца над горизонтом	103
Рисунок 3. 14	Суточный ход освещенности солнцем горизонтальной поверхности	104
Рисунок 3. 15	Число астрономических светлых часов и реальных часов солнечного сияния на широте Москвы	105
Рисунок 3. 16	Схема светодиодной облучательной системы (а) и общий вид светодиодной облучательной установки (б)	106
Рисунок 3. 17	Функциональная схема светодиодной облучательной системы	107
Рисунок 3. 18	Датчик цветовой температуры и освещенности	107
Рисунок 3. 19	Алгоритм управления светодиодной облучательной установкой	108
Рисунок 3. 20	Программа для управления освещенностью и спектральным составом в языке программирования FBD.....	109
Рисунок 4. 1	Прибор-проектор для определения общей площади листьев меристемных растений.....	111
Рисунок 4. 2.	Общий вид сине-красной LED (а) и меристемные растения малины сорта «Гусар» после 10 дней облучения светодиодной установкой (б)	112
Рисунок 4. 3.	Меристемные растения малины сорта «Гусар» на 20 день облучения:.....	112
Рисунок 4. 4.	Меристемные растения малины сорта «Гусар» на 30 день облучения:.....	113
Рисунок 4. 5	Общий вид меристемные растений.....	114
Рисунок 4. 6.	Схема расположения светодиодов в установке 2К1С;	115
Рисунок 4. 7.	Общий вид установки, работающей по схеме 2К1С	115
Рисунок 4. 8	Схема расположения светодиодов в установке 1К1С1Б.....	116
Рисунок 4. 9	Общий вид установки, работающей по схеме 1К1С1Б	116
Рисунок 4. 10.	Схема расположения светодиодов в установке 2К1С1Б.....	116
Рисунок 4. 11	Общий вид установки, работающей по схеме 2К1С1Б	117
Рисунок 4. 12.	Общий вид установки ЛПО 3017 с люминесцентными лампами мощностью 2×36 Вт	117
Рисунок 4. 13	Изменение продуктивности малины сорта «Гусар» в зависимости от спектральной плотности излучения.....	118
Рисунок 4. 14	LED - облучательная установка с возможностью регулирования спектрального состава излучения.....	119

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

УТВЕРЖДАЮ:
ректор ФГБОУ ВПО Ижевской
государственной
сельскохозяйственной академии
профессор Любимов А.И.

«10» _____ 2013 г.



УТВЕРЖДАЮ:
директор ГНУ Удмуртского
научно-исследовательского
института сельского хозяйства
Россельхозакадемии
Скурыгин И.Н.

«10» _____ 2013 г.



АКТ

о внедрении результатов научных исследований

Настоящий акт свидетельствует о внедрении законченной научно-исследовательской работы по влиянию различных по спектральному составу облучательных установок на рост и развитие **меристемной ремонтантной малины сорта «Гусарская»**.

Результатом законченной научно-исследовательской работы является облучательная установка на светодиодах, разработанная д.т.н., профессором Кондратьевой Надеждой Петровной, аспирантом Валеевым Русланом Альфредовичем. Предлагаемая облучательная установка выполнена на светодиодах и позволяет увеличить площадь листьев меристемных растений малины сорта «Гусарская» на 15...18%.

Экономический эффект при использовании облучательной установки на светодиодах выражается в экономии электрической энергии на 40..50% при улучшении качества меристемной малины сорта «Гусарская» на 15...18%..

Представители
ФГБОУ ВПО Ижевской ГСХА

Проректор по научной работе
д.с.-х.н., профессор Ратыхов И.Ш.

Руководитель исследований:
д.т.н., профессор Кондратьева Н.П.

Исполнитель
Аспирант Валеев Р.А.

Представители
ГНУ Удмуртского НИИСХ

Начальник меристемной
лаборатории УНИИСХ

Главный энергетик
УНИИСХ

Главный экономист УНИИСХ

УТВЕРЖДАЮ:
ректор ФГБОУ ВПО Ижевской
государственной
сельскохозяйственной академии
профессор Любимов А.И.

«10» апреля 2013 г.

УТВЕРЖДАЮ:
директор ГНУ Удмуртского
научно-исследовательского
института сельского хозяйства
Россельхозакадемии
Сурьин И.Н.

«10» апреля 2013 г...

ПРОТОКОЛ

Облучательные установки на светодиодах, разработанные представителями ФГБОУ ВПО Ижевской ГСХА, испытывались при выращивании **меристемной ремонтантной малины сорта «Гусарская»** в меристемной лаборатории ГНУ Удмуртский НИИСХ.

Испытывалась светодиодная облучательная установка, состоящая из белых, красных и синих светодиодов.

Начало эксперимента 17 апреля 2012 г., окончание эксперимента 18 мая 2012 г. Опыты были заложены в трех кратной повторности. В меристемной лаборатории поддерживалась температура в пределах $+25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, фотопериод составлял 16 часов в сутки. Результаты приведены в таблице.

Таблица. Динамика изменения средней площади листьев меристемной малины сорта «Гусарская»

Источник излучения	Дни измерений	Средняя площадь листьев растений мм^2	Количество облучаемых меристемных растений, шт
Лампы ЛПО 3017 (контроль)	0	42,98±2,1	90
	10	46,66±2,2	
	20	47,21±1,9	
	30	47,61±2,1	
Светодиодная установка	0	42,4±2,1	90
	10	52,3±1,9	
	20	54,75±2,2	
	30	56,97±2,4	



Результаты исследований показывают, что использование светодиодов позволяют улучшить биометрические показатели меристемных растений и способствуют значительной экономии электрической энергии на 40...50%.

Начальник меристемной
лаборатории УНИИСХ *Ж. Несмеяна*

Главный энергетик УНИИСХ

Руководитель исследований:
д.т.н., профессор Кондратьева Н.П. *Кондратьева*

Исполнитель
Аспирант Валеев Р.А. *Вз*



**Государственное научное учреждение
Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
Российской академии сельскохозяйственных наук**

427007, Удмуртская Республика, Завьяловский район, с. Первомайский, ул. Ленина, д. 1, (ОГРН 1021801169477, ИНН 1831089200, КПП 184101001) Отделение по Завьяловскому району Управления Федерального казначейства по Удмуртской Республике

"03" марта 2014 г. № 01-06/38

На № _____ от « _____ » _____ 2014 г.

СПРАВКА

В период с 01.02.2011 года по 01.02. 2013 года светодиодные облучательные установки с сине-красными и белыми светодиодами, разработанные учеными ФГБОУ ВПО Ижевской сельскохозяйственной академии доктором техн. наук профессором Кондратьевой Надеждой Петровной и аспирантом Валеевым Русланом Альфредовичем проходили производственные испытания в ГНУ Удмуртский научно исследовательский институт сельского хозяйства Россельхозакадемии при выращивании различных меристемные культур.

Применение разработанных светодиодных с различным спектральным составом излучения позволило повысить продуктивность меристемных культур в среднем на 8...12%, уменьшить расход электроэнергии на цели облучения (освещения) на 30...40% при сроке окупаемости от 3 до 4 лет, что подтвердило целесообразность их использования.

Директор



И. Н. Скурыгин

**МИНИСТЕРСТВО
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ»**

(ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА)

УДМУРТСКАЯ РЕСПУБЛИКА,
Студенческая ул., д. 11, Ижевск, 426069,
тел.(3412) 58-99-48, факс 58-99-47

e-mail: info@izhgsha.ru

<http://www.izhgsha.ru>

ОКПО 00493646, ОГРН 1021801172370,
ИНН/КПП 1831036505/183101001

07.04.2014 № 01-52/401

на № _____ от _____

В высшую аттестационную комиссию
Министерства образования
Российской Федерации

Справка

Дана Валееву Руслану Альфредовичу, соискателю ученой степени кандидата технических наук, аспиранту кафедры автоматизированного электропривода, в том что, результаты его научной работы используются в учебном процессе при преподавании учебной дисциплины «Электрическое освещение и облучение» на факультете энергетики и электрификации, при преподавании дисциплины «Электропривод и электрооборудование» на агроинженерном факультете, а также при преподавании соответствующих дисциплин на факультете непрерывного профессионального образования.

Ректор академии
профессор



(Handwritten signature)

А.И. Любимов

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 127286

**СВЕТОДИОДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ
МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012130687

Приоритет полезной модели 17 июля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 апреля 2013 г.

Срок действия патента истекает 17 июля 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



ПРИЛОЖЕНИЕ 3





Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»

ГРАМОТА

НАГРАЖДАЕТСЯ

Валеев

Руслан Альфредович

за победу в конкурсе

«Инновационному развитию
Удмуртской Республики –
потенциал молодых учёных»

Ректор академии
Профессор



А.И. Любимов

А.И. Любимов

Приказ № 1703-с от 24.10.2012 г

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Башкирский государственный аграрный университет»**

ДИПЛОМ

награждается

Валеев

Руслан Альфредович

*принявший активное участие
во II туре Всероссийского конкурса
на лучшую научную работу
среди студентов, аспирантов и
молодых ученых в
номинации «Технические науки»*

РЕКТОР



И.И. ГАБИТОВ

25 апреля 2013г.

