

На правах рукописи



Большин Роман Геннадьевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ
РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ СВЕТОДИОДНЫМИ (LED)
ФИТОУСТАНОВКАМИ**

05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2016

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

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Владыкин Иван Регович

Официальные оппоненты:

Овчукова Светлана Александровна,
доктор технических наук, профессор
кафедры электроснабжения и технической
диагностики, ФГБОУ ВО «Марийский
государственный университет»

Юферев Леонид Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, вре-
менно исполняющий обязанности директора
ФГБНУ «Всероссийский научно- исследова-
тельский институт электрификации сельско-
го хозяйства»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Ижевский технический госу-
дарственный университет им. М. Т. Калаш-
никова»

Защита состоится « 28 » июня 2016 года в 9:30 часов на заседании диссертационного совета Д 006.037.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (ФГБНУ ВИЭСХ) по адресу: 109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, д. 2. Телефон: (499) 171-19-20, факт (499) 170-51-01, E-mail: viesh@dol.ru.

С авторефератом и диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ ВИЭСХ, и на официальном сайте www.viesh.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, скрепленные гербовой печатью, просим направлять ученому секретарю совета по адресу: 109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, д.2.

Автореферат разослан «26» апреля 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



Некрасов
Алексей Иосифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Картофель является в нашей стране «вторым хлебом». Известный ботаник П.М. Жуковский утверждал: «Самое ценное, что дало нам открытие Колумба, — это картофель» Традиционно эта культура размножается вегетативно – клубнями, но этот способ имеет два основных недостатка: 1) низкий коэффициент воспроизводства, что не позволяет быстро увеличивать площади посадки, 2) восприимчивость к вирусным, бактериальным и грибным болезням, которые приводят к существенному снижению урожая. В настоящее время единственным способом избавления посадочного материала картофеля от вирусов является меристемная культура (культура тканей, микроклональное размножение) позволяющая в несколько раз сократить сроки размножения новых сортов. Например, из десяти здоровых меристемных растений за год можно получить 20...25 тысяч точных генетических копий растений, не зараженных инфекциями. При этом урожайность такого картофеля составляет 10...15 кг/м².

В Удмуртской Республике семеноводством картофеля на меристемной основе занимается ФГБНУ Удмуртский НИИ сельского хозяйства (УНИИСХ). В лаборатории по выращиванию меристемного картофеля этого института используются люминесцентные лампы типа ЛБ 80, которые не позволяют менять спектр излучения. Поэтому для повышения продуктивности меристемных растений необходимо на основе новых научно-обоснованных разработок создать наиболее эффективные по спектру светодиодные (LED) фитоустановки для меристемного картофеля, способствующие увеличению выхода продукции и снижению энергетических затрат.

По данным Российского Энергетического Агентства осветительными установками расходуется около 30% всей генерируемой в стране электрической энергии. По данным экономиста-маркетолога ФГБНУ УНИИСХ около 17% в себестоимости меристемного картофеля занимают затраты на освещение. Поэтому эффективное расходование электрической энергии каждой LED фитоустановкой приведёт к ощутимой экономии.

Эффективное использование световой энергии в растениеводстве защищенного грунта зависит от спектрального состава LED фитоустановки, дозы спектральных составляющих зоны фотосинтетически активной радиации (ФАР), величины освещенности (облученности) и продолжительность суточного облучения растений (фотопериода).

Учеными в области электрификации сельскохозяйственного производства Л. Г. Прищепом, И. Ф. Бородиным, Д. С. Стребковым, Н. Н. Протасовой, И. И. Свентицким, А. К. Лямцовым, А. М. Башиловым, 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, Л. Ю. Юфревым, Соколовым А. В., Растимешиним С. А., R. McCree, P. Mekkel, B. Singh, M. Fischer, J. Bonnet, P. Harris и другими доказана эффективность применения оптического излучения для получения дополнительной растениеводческой продукции, решены ряд теоретических и прикладных задач в области применения и создания источников излучения для сельскохозяйственных предприятий и биологических исследований.

Исследования выполнялись в течение пяти лет лично автором в соответствии с отраслевой научно-технической программой № 01201350385 «Исследования и разработка электротехнологий на предприятиях АПК» проводимой по заказу Министерства сельского хозяйства и продовольствия Удмуртской Республики.

Целью работы является повышение эффективности светодиодных (LED) фитоустановок для меристемного картофеля за счет научного обоснования наиболее эффективных доз спектральных составляющих зоны ФАР, позволяющих увеличить выход здорового элитного посадочного материала - меристемного картофеля и снизить потребление электроэнергии при его выращивании.

Объектом исследования являлась система, состоящая из меристемы культуры картофеля, технических средств облучения и технологических мероприятий, позволяющая получить здоровый элитный посадочный материал при минимальных затратах.

Предметом исследования являлось изучение процессов воздействия светодиодных (LED) фитоустановок на меристемные растения картофеля.

Задачи исследования:

1. Провести анализ отечественной и зарубежной литературы по применению LED фитоустановок в защищенном грунте, в которых реализована возможность изменения дозы спектральных составляющих зоны фотосинтетически активной радиации (ФАР) при выращивании растений в защищенном грунте.
2. Получить математическую модель по влиянию дозы спектральных составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля.
3. Разработать методику расчета доз спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения.
4. Разработать алгоритм работы программируемого логического контроллера для LED фитоустановок с использованием инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys», позволяющий поддерживать необходимые дозы спектральных составляющих и имитировать наиболее эффективный спектр излучения,
5. Провести лабораторные и производственные испытания и выполнить технико-экономическое обоснование применения LED фитоустановок при выращивании меристемного картофеля.

Научную новизну работы представляют:

1. Светодиодная (LED) фитоустановка с возможностью регулирования дозы спектральных составляющих зоны ФАР, позволяющая уменьшить расходы на электропотребление и повысить продуктивность растений.
2. Математическая модель, устанавливающая связь между дозой спектральных составляющих зоны ФАР и продуктивностью меристемного картофеля.
3. Методика расчета доз спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения.
4. Алгоритм работы LED фитоустановки, программы для программируемого логического контроллера с использованием инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys», позволяющие поддерживать необходимые дозы спектральных составляющих и имитировать требуемый спектр излучения.

Новизна технических решений подтверждена Патентом Российской Федерации на полезную модель № 127286 «Светодиодная система для облучения меристемных растений» и Свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025661513 «Взаимосвязанное управление параметрами микроклимата защищенного грунта», дата гос.регистрации в Реестре программ для ЭВМ 29 октября 2015 г.

Методика исследований.

При выполнении диссертационной работы применялись аналитические и экспериментальные методы исследования, использовались методы математического моделирования с применением программного обеспечения MS Excel, теоретические основы светотехники, электротехники, теории регрессионного анализа и математической статистики, методы прикладной экономики, а также современная измерительная аппаратура.

Достоверность результатов исследований подтверждена совпадением результатов расчетов по предложенным автором методикам с данными испытаний LED фитоустановки, положительными результатами при применении на практике этих LED фитоустановок, что подтверждается Актами и Протоколами испытаний.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Получена математическая модель по влиянию доз, спектральных составляющих излучения зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля, позволяющая определить наиболее эффективный и экономичный фитоисточник.
2. Разработана методика расчета доз спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения, позволяющая определить количество светодиодов и длительность их работы для получения требуемой дозы ФАР.
3. Разработан алгоритм работы программируемого логического контроллера для

LED фитоустановки, позволяющий поддерживать необходимые дозы спектральных составляющих и имитировать наиболее эффективный спектр излучения для получения наибольшей продуктивности растений.

Практическая ценность работы

1. Разработана LED фитоустановка с возможностью имитации доз спектральной составляющих зоны ФАР.
2. Разработан алгоритм управления LED фитоустановок, позволяющий поддерживать необходимые дозы спектральных составляющих зоны ФАР и имитировать требуемый спектральной состав излучения с использованием инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys».
3. Результаты диссертационного исследования, использованы при проектировании LED фитоустановок, применяемых в ФГБНУ УНИИСХ.
4. Результаты научной работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА.

Реализация результатов исследований

Результаты проведенных исследований LED фитоустановок с возможностью имитации доз спектральных составляющих зоны ФАР применены в ФГБНУ УНИИСХ.

Апробация основных результатов по теме диссертации.

Результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на научных конференциях и конкурсах: на 8-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» (Москва, 2012), Международная научно-практическая конференция «Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы» (Ижевск, 2013); на III-й Международной научной Интернет-конференции «Биотехнология. Взгляд в будущее» (Казань, 2014); на II Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы и тенденции развития в современной науке» (Махачкала, 2015); на IV-й Международной научной Интернет-конференции «Биотехнология. Взгляд в будущее» (Казань, 2015); на XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. МГУ им. Н. П. Огарева (Саранск, 2015); на VI международной научно - практической конференции «Актуальные проблемы энергетики АПК» (Саратов, 2015); на конференции Applied Sciences and technologies in the United States and Europe papers of the 1st International Scientific Conference. edited by Ludwig Siebenberg; technical editor: Peter Meyer (USA, 2015); на конференции Yale Review of Education and Science USA, 2015); на конференции Asian Journal of Scientific and Educational Research (Seoul, 2015).

Публикации результатов исследований. Основные положения диссертации опубликованы в 21 печатной работе, в том числе 5 работ в издании, указанном в «Перечне рецензируемых журналов» Минобрнауки РФ, три ста-

ты в иностранных журналах, Патент РФ на полезную модель и Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 137 страницах текста, содержит 66 рисунков, 48 таблиц. Список литературы включает 178 наименований, из которых 11 на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Анализ существующих облучательных фитоустановок» рассмотрены оптические свойства растений, возможность управления фотосинтетической деятельностью растений и продуктивностью, сделано обоснование выбора культуры (меристемного картофеля), проведён анализ существующих LED фитоустановок с возможностью изменения спектрального состава.

К.А. Тимирязев подчеркивал, что важнейшая задача физиологии растений — найти пути для того, чтобы «вырастить два колоса там, где растет один». На продуктивность растений, в т.ч. и на фотосинтез в первую очередь оказывает влияние доза спектральных составляющих зоны ФАР, т. к. растение является аккумулятивным биообъектом. До 95% урожая культур формируется за счет усвоенной энергии ФАР. Для меристемного картофеля высокие урожаи получаются при быстром развитии листовой поверхности в начале вегетационного периода. Поэтому необходимо научно обосновать наиболее эффективный спектр излучения LED фитоустановок для меристемного картофеля, позволяющий получить максимальный выход продукции при минимальных затратах.

В Удмуртской Республике производством меристемного картофеля занимается ФГБНУ Удмуртский НИИ сельского хозяйства, в меристемных лабораториях которого используются люминесцентные лампы, не позволяющие изменять спектр излучения. В настоящее время светотехническая промышленность выпускает широкий ассортимент LED фитоустановок с возможностью изменения спектрального состава, но в основном, ручным способом. Применяя программируемые логические контроллеры (ПЛК) можно управлять LED фитоустановками, получать требуемую дозу спектральных составляющих зоны ФАР, и получать наибольший выход продукции при уменьшении затрат.

Во второй главе «Теоретическое обоснование наиболее эффективных доз спектральных составляющих зоны ФАР при выращивании меристемного картофеля» указывается, что из-за деятельности человека происходило распространение овощных растений из одних регионов земного шара в другие и благо-

даря этому растения приспосабливались к новым условиям. Исследования биологов показали, что растения все-таки сохраняют те биологические свойства, которые они приобрели в местах своего первоначального произрастания и возделывания. Поэтому для получения возможно большей продуктивности овощных культур, необходимо создать условия близкие к исторической родине культуры.

Картофель впервые круглогодично стал возделываться в субтропиках и тропиках. Это станы Перу, Эквадор, Боливия, где до сих пор собирают до четырех урожаев картофеля в год. Поэтому для получения высокой продуктивности растений необходимо смоделировать спектральный состав зоны ФАР этой местности. Ввиду того, что растение является аккумулятивным объектом, то его развитие сильно зависит от дозы излучения зоны ФАР ($H_{\text{ФАР}}$), которая определяется как:

$$H_{\text{ФАР}} = E \cdot t, \quad (1)$$

где E – излучение (облученность /освещенность, интенсивность), t – время действия этого излучения (экспозиция).

Для нахождения $H_{\text{ФАР}}$ была разработана методика расчета доз спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения для Перу и Краснодара. Для этого с помощью пакета MS Excel мы получили математические зависимости, описывающие изменение каждой составляющей зоны ФАР излучения Солнца в весенний и летний периоды для Перу и Краснодара. Например, для Краснодара в марте месяце фиолетовое излучение описывается следующей зависимостью при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,9979$:

$$Y_{\text{фиол_мар}} = -0,0279x^3 + 1,4962x^2 + 3,6333x \quad (2)$$

где x – высота солнца, град, от $0,5^0$ до 40^0 .

На рис. 1 показана динамика изменения спектральных составляющих зоны ФАР для Краснодара в марте и мае.

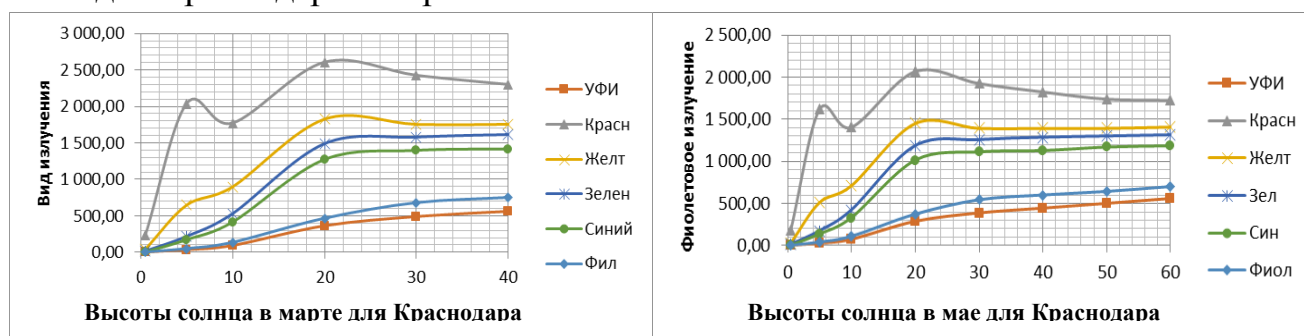


Рисунок 1 - Динамика изменения спектральных составляющих зоны ФАР для Краснодара

Из рис.1 видно, что в Краснодаре в марте максимальная высота солнца составляет 40^0 , а в мае - 60^0 .

Доза фиолетового излучения находится как площадь фигуры под графиком, описываемым уравнением (2):

$$\begin{aligned}
 H_{\text{ФИОЛ_МАР}} &= \int_{0,5}^{40} (-0,0279 \cdot x^3 + 1,4962 \cdot x^2 + 3,6333 \cdot x - 5,7068) dx \\
 &= \left(-0,0279 \cdot \frac{1}{4} \cdot x^4 + 1,4962 \cdot \frac{1}{3} \cdot x^3 + 3,6333 \cdot \frac{1}{2} \cdot x^2 + 5,7068 \cdot x \right) \Big|_{0,5}^{40} = 16\,974,28 - 6,22 = 16\,952,06
 \end{aligned}$$

Динамика изменения спектральных составляющих зоны ФАР для Перу показана на рис. 2.

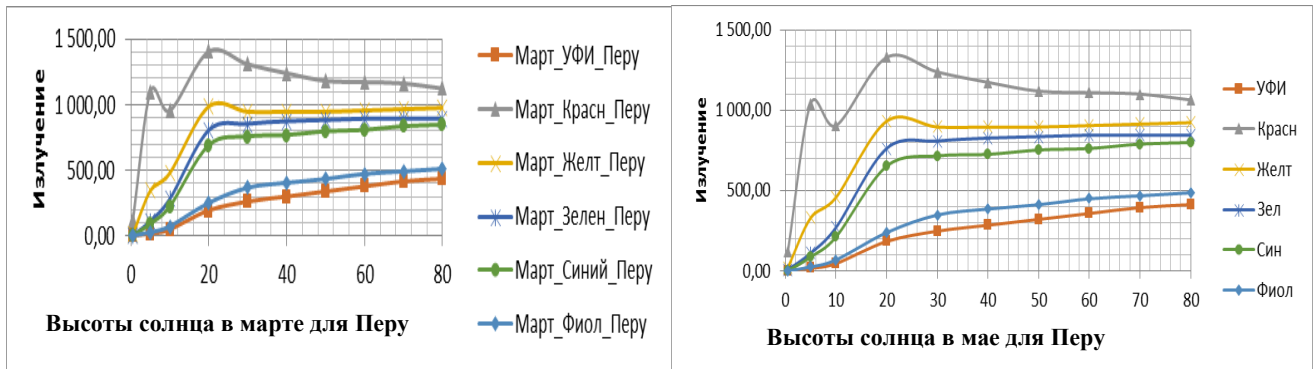


Рисунок 2 - Динамика изменения спектральных составляющих зоны ФАР для Перу

Анализ рис. 2 показывает, что в Перу в и марте и в мае максимальная высота солнца составляет 80° .

Результаты расчетов показаны в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1. Сравнение средней дозы спектральных составляющих солнечного излучения зоны ФАР за март месяц

За март	Регион	Доза излучения						Всего	Примеча
		Фиол	Син	Зел	Жел	Кр	УФИ		
Условные единицы	Краснодар	82	197,5	209	268,5	423,5	79,5	1260	
	Перу	132	265	205,8	340,5	463	110,5	1516,8	за 100 %
%	Краснода	5%	13%	14%	18%	28%	5%	83%	
	Перу	9%	17%	14%	22%	31%	7%	100,00%	

Таблица 2. Сравнение средней дозы спектральных составляющих солнечного излучения зоны ФАР за апрель месяц

За апрель	Регион	Доза излучения						Всего	Примеча
		Фиол	Син	Зел	Жел	Кр	УФИ		
Условные единицы	Краснодар	103	223	288	272,5	456,5	78,5	1421,5	
	Перу	130,5	251,9	279,5	340	450,5	106	1558,4	за 100 %
%	Краснода	7%	14%	18%	17%	29%	5%	91%	
	Перу	8%	16%	18%	22%	29%	7%	100,00%	

Таблица 3. Сравнение средней дозы спектральных составляющих солнечного излучения зоны ФАР за май месяц

За май	Регион	Доза излучения						Всего	Примеч
		Фиол	Син	Зел	Жел	Кр	УФИ		
Условные единицы	Краснодар	130	262,5	266,5	352,5	493,5	95,5	1600,5	
	Перу	133,5	238	284	326	443	102	1526,5	за 100 %
%	Краснода	9%	17%	17%	23%	32%	6%	105%	
	Перу	9%	16%	19%	21%	29%	7%	100,00%	

Проведенные исследования показали, что изменения доз спектральных составляющих для Краснодара и Перу (табл. 1, 2 и 3) можно с удовлетворительной точностью смоделировать логистической кривой в диапазоне длин волн 360 ... 460 нм по методике профессора Зайцева Г.Н., а в диапазоне длин волн 460...760 нм можно воспользоваться полиномиальной зависимостью.

Например, среднее излучение за год для Краснодара описывается логистической кривой вида

$$Y_{\text{КРАСН}}_{\text{СР_ГОД}} = \frac{287}{1 + 10^{0,727 - 0,194 \cdot x}}$$

При ошибке уравнения регрессии:

$$m_{x-y} = \sqrt{\frac{\sum(y - y')^2}{N - n}} = \sqrt{\frac{389,95}{11 - 3}} = 7,46$$

Поэтому доза излучения за год для Краснодара в диапазоне 360...460 нм равна:

$$H_{\text{КРАСН_ГОД}} = \int_{360}^{460} \frac{287}{1 + 10^{0,727 - 0,194 \cdot x}} dx. \quad (3)$$

Аналогично за весну для Краснодара среднее излучение имеет вид:

$$Y_{\text{КРАСН}}_{\text{СР_ВЕСНА}} = \frac{240}{1 + 10^{0,743 - 0,233 \cdot x}}$$

При ошибке уравнения регрессии:

$$m_{x-y} = \sqrt{\frac{\sum(y - y')^2}{N - n}} = \sqrt{\frac{515}{11 - 3}} = 8,58$$

Доза облучения от 360 до 460 нм составляет:

$$H_{\text{КРАСН_ВЕСНА}} = \int_{360}^{460} \frac{240}{1 + 10^{0,743 - 0,233 \cdot x}} dx. \quad (4)$$

В диапазоне длин волн от 460 до 760 нм доза находится как:

$$H_{\text{КРАСН_ВЕСНА}} = \int_{460}^{760} (-0,0013 \cdot x^2 + 0,633 \cdot x - 74,152) dx. \quad (5)$$

Аналогичные расчеты проведены для Перу

Нами была установлена связь между дозой спектральных составляющих зоны ФАР и продуктивностью меристемного картофеля, выражающуюся в площади листьев, и были получены следующие математические зависимости по влиянию дозы спектральных составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля:

При облучении лампой ЛБ 80 (контроль) зависимость площади листьев (S) от дней наблюдений (x) имеет вид:

$$S_{\text{КОНТ_ЛБ}} = \frac{400}{1 + 10^{-0,0485 - 0,2925 \cdot x}} \quad (6)$$

При облучении LED фитоустановкой с имитацией спектра Краснодара зависимость площади листьев (S) от дней наблюдений (x) имеет вид:

$$S_{\text{Краснодар}} = \frac{445}{1 + 10^{0,1772 - 0,3143 \cdot x}} \quad (7)$$

При облучении LED фитоустановкой с имитацией спектра Перу зависимость площади листьев (S) от дней наблюдений (x) имеет вид:

$$S_{\text{Перу}} = \frac{505}{1 + 10^{0,3258 - 0,3796 \cdot x}} \quad (8)$$

На рис. 3 показаны полученные зависимости с (6) по (8) и для сравнения приведена кривая, полученная от использования сине-красно-белых LED.

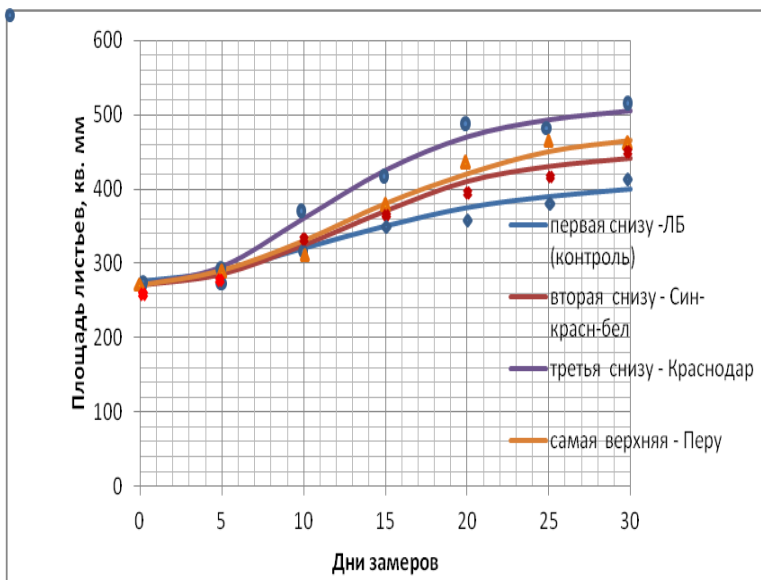


Рисунок 3 - Динамика изменения площади листьев меристемного картофеля в зависимости от дозы спектральных составляющих зоны ФАР:

нижняя кривая – контроль с лампами ЛБ 80; вторая снизу – сине-красно-белые LED в соотношении 2с:3к:1б; третья снизу — имитация спектра Краснодара; верхняя кривая – имитация спектра Перу.

Достоверность результатов для биологических объектов определялась по критерию Стьюдента. Для нашего случая табличный критерий Стьюдента составляет 2,447 для 95% доверительного уровня и 3,707 для 99% доверительного уровня. При этом расчетный критерий Стьюдента во всех случаях оказался

больше табличного (для контроля – 18, 382, для сине-красно-белых LED – 13,739, для схемы Краснодара - 11, 157 и для схемы Перу – 12.712), что означает, что полученные результаты достоверны, т. е. существенность выводов подтверждается в 95 случаев из 100.

На основании полученных результатов была разработана математическая модель описывающая влияние доз спектральных составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля (количества растений) в основу, которой легла формула метрики Г. Минковского:

$$\Phi_{\Sigma\Phi} = \left| \sum_{i=1}^N (\Phi_{\Sigma\Phi,i})^n \right|^{\frac{1}{n}}. \quad (9)$$

В формуле (9) показатель $n = 3$ - это количество основных факторов, влияющих на продуктивность растения: фотосинтез, фотоморфоз и фотопериодизм. В виду того, что для осуществления процесса фотосинтеза необходимо самое максимальное значение энергии (20...30 Вт/м²), для фотоморфогенеза - 3...5 Вт/м² и фотопериодизма – 1...3 Вт/м², то поэтому в нашей модели учитываем только самый энергоемкий процесс – фотосинтез и, следовательно, примем n равным 1.

На основании сказанного выше предлагается следующая математическая модель по определению наиболее эффективного источника излучения, учитывающая влияние дозы спектральных составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля (количества растений):

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}} \right)^{\frac{1}{n}} = \left[\frac{3_{OY} = f(H_{\text{ФАР}})}{V = F(H_{\text{ФАР}})} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (10)$$

где $3_{OY} = f(H_{\text{ФАР}})$ - расходы на реализацию предлагаемых технических решений в зависимости от дозы спектральных составляющих зоны ФАР.

$V = F(H_{\text{ФАР}})$ - количество полученных меристемных растений в зависимости от дозы спектральных составляющих зоны ФАР:

$$V_{\text{КОНТ}} = \int_0^{30} \frac{400}{1 + 10^{-0.0485 - 0.2925 \cdot x}} dx$$

$$V_{\text{Краснодар}} = \int_0^{28} \frac{465}{1 + 10^{0.1772 - 0.3143 \cdot x}} dx$$

$$V_{\text{Перу}} = \int_0^{26} \frac{505}{1+10^{0,3258-0,3796 \cdot x}} dx$$

Таким образом, получаем для контроля с лампами ЛБ 80:

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}} \right)^{\frac{1}{n}} = \left[\frac{3_{\text{ОУ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V_{\text{КОНТ}} = F(H_{\text{ФАР}})} \right]^{\frac{1}{n}} = 60,02 \text{ руб/ раст.}$$

Для варианта «Краснодар»:

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}} \right)^{\frac{1}{n}} = \left[\frac{3_{\text{ОУ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V_{2\text{к}3\text{с}1\text{б}} = F(H_{\text{ФАР}})} \right]^{\frac{1}{n}} = 52,10 \text{ руб/ раст.}$$

Для варианта «Перу»:

$$\left(\frac{3}{G_{\text{ПРОД}}} \right)^{\frac{1}{n}} = \left[\frac{3_{\text{ОУ}} = f(H_{\text{ФАР}})}{V_{3\text{к}2\text{с}1\text{б}} = F(H_{\text{ФАР}})} \right]^{\frac{1}{n}} = 46,3 \text{ руб/ раст.}$$

Таким образом, мы получили снижение удельных затрат в 1,3 раза за счет эффективного использования растениями энергии излучения зоны ФАР.

В третьей главе «**Обоснование и разработка технических решений для реализации LED фитоустановок при облучении меристемного картофеля**» указывается, что светодиодные установки создавались для меристемных растений, начиная с 2009 года. По технологии выращивания меристемные растения растут 30 дней.

В основе работы, предлагаемой нами LED фитоустановки, лежит искусственное обеспечение меристемных растений требуемыми дозами спектральных составляющих зоны ФАР. Алгоритм расчета дозы облучения в автоматическом режиме с использованием ПЛК показан на рис. 4.

При включении системы управления LED фитоустановкой с разными по спектру светодиодами, микроконтроллер начинает обзор данных с датчиков, которые реагируют на различную длину излучения зоны ФАР. При включении, однозначно, доза облучения не будет превышать заданного значения $H_{\text{зад}}$.

При включении системы управления LED фитоустановкой с разными по спектру светодиодами, микроконтроллер начинает обзор данных с датчиков, которые реагируют на различную длину излучения зоны ФАР. При включении, однозначно, доза облучения не будет превышать заданного значения $H_{\text{зад}}$. Далее микроконтроллер подает команду на включение LED фитоустановки. Аналогично

проверяется каждое последующее значение дозы при каждом опросе датчиков, до тех пор, пока значение дозы не превысит $H_{зад}$. Как только это произойдет, микроконтроллер подает команду на отключение LED фитоустановки. Вместе с этим закончится работа алгоритма и установки в целом.

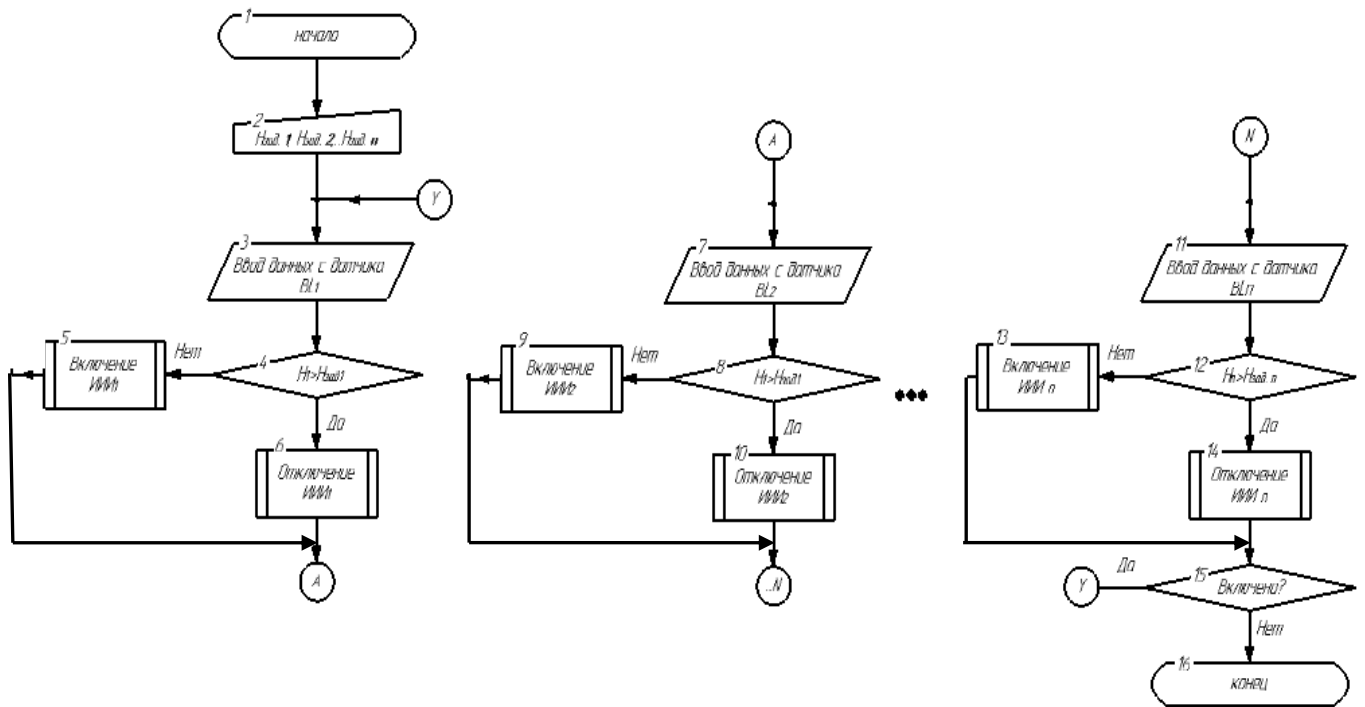


Рисунок 4 - Алгоритм управления ПЛК для LED фитоустановки

На рисунке 5 показан фрагмент программы работы фитоустановки для ПЛК 63. На аналоговые входы «Е1» подается показания с датчиков освещенности. На вход «Еуст» записывается требуемая освещенность для определенной спектральной составляющей. Затем микроконтроллер рассчитывает время работы для этой группы светодиодов и на выходе «diod1» подается сигнал для их включения на рассчитанное время. При уменьшении потока излучения необходимо корректировать дозу и поддерживать ее на уровне заданного значения. Для этой цели предусмотрена вторая строка в программе. Принцип работы программы для других светодиодов аналогична.

Программа для Перу обеспечивает работу LED фитоустановки в течение 30 дней по 16 часов в сутки, имитируя спектральный состав этого региона. Программа для Краснодара работает 10 дней имитируя спектр марта, следующие 10 дней - спектр апреля и последние 10 дней - спектр мая также по 16 часов в сутки.

Разработанные системы управления светодиодной установкой на базе ПЛК позволяют имитировать спектральный состав излучения для любой местности в течение дня и на протяжении требуемых месяцев.

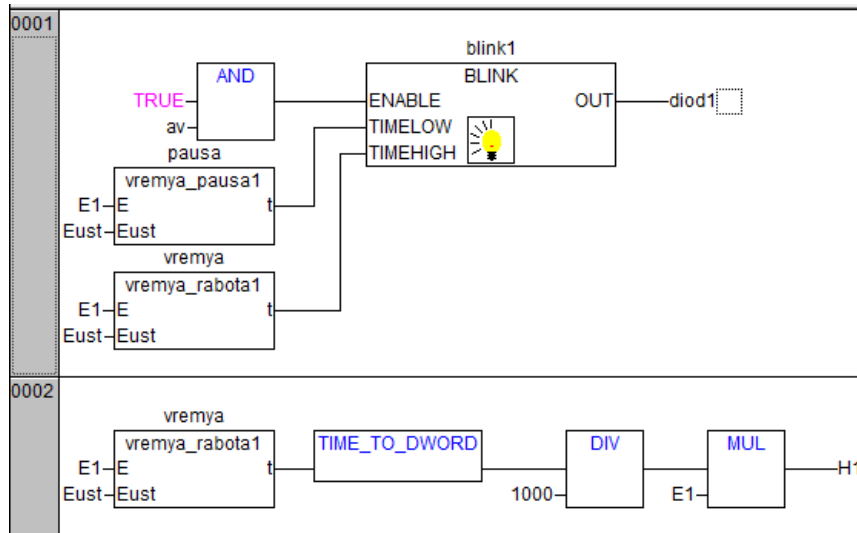


Рисунок 5. Фрагмент программы, написанной на языке FBD, для управления работой LED одного цвета с применением инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys»

В четвертой главе «**Результаты лабораторных и производственных испытаний**» указывается, что производственные испытания с разными LED фитоустановками проводились нами в меристемной лаборатории ФГБНУ УНИИСХ с 2009 по 2014 гг. В опытах 2015 года сравнивались три варианта:

1. LED фитоустановка мощностью 24 Вт, имитирующая спектральный состав излучения исторической родины картофеля – Перу.
 2. LED фитоустановка мощностью 24 Вт, имитирующая спектральный состав излучения зоны ФАР Краснодар.
 3. Люминесцентные лампы мощностью ЛБ 80 Вт (контроль).
- В таблицах 4 и 5 приведены результаты исследований.

Таблица 4 Исследование влияния спектрального состава излучения фитоустановок на развитие меристемного картофеля

Параметры	Схема Перу	Схема Краснодар	ЛБ 80 (контроль)
Действительное время работы облучательной установки, ч	2080	2240	2400
Расход электроэнергии, %	87	93	100
Изменение площади листьев, %	126	116	100
Удельные затраты электроэнергии, %	43,5	48,2	100

Анализ изменения ассимиляционной площади листьев показал, что наибольшая площадь листьев оказалась при выращивании растений под LED фитоустановкой по схеме Перу.

Таблица 5 Результаты опытов по облучению меристемного картофеля

Характеристики растений	Способ облучения		
	Схема Перу	Схема Краснодар	ЛБ 80 (контроль)
Длина стебля, см	4,8	4,9	5,1
Количество листьев, шт.	7,5	7,45	5,57
Степень развития корневой системы, в баллах	2,73	2,7	2,06

Анализ данных показывает, что наиболее высокая продуктивность растений оказалась при использовании фитоустановки со схемой Перу.

В пятой главе «Технико-экономическое обоснование применения LED фитоустановок при выращивании меристемного картофеля» приведен расчет экономической эффективности методом приведенных затрат для двух вариантов фитооблучательных установок меристемного картофеля: по схеме Перу и контроля (ЛБ 80).

Расчеты показали, что применение предлагаемой LED фитоустановки с имитацией спектра Перу позволяет сократить сроки готовности меристемных растений картофеля на 4 дня и получить за счет этого за год примерно на 15% растений больше по сравнению с контролем. Ожидаемый экономический эффект составляет около 76 тыс. руб., доход от сэкономленной электроэнергии равен 148 тыс. руб., при сроке окупаемости около 4 лет.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Анализ специальной отечественной и зарубежной литературы показал, что имеется широкий ассортимент светодиодных (LED) фитоустановок, применение которых позволяет получить практически любую дозу спектральных составляющих зоны ФАР, но регулировка спектра осуществляется, в основном, вручную. Применение ПЛК позволило бы повысить эффективность LED фитоустановок и привести к увеличению выхода продукции при уменьшении затрат.
2. Предложена математическая модель, описывающая влияние дозы спектральных составляющих излучения зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля, которая показала, что имитация спектра излучения Перу позволяет уменьшить время выращивания меристемного картофеля на 4 дня и снизить удельные затраты примерно в 1,3 раза.
3. Предложена методика расчета дозы ФАР на основании которой было определено количество светодиодов в фитоустановке и требуемая длительность спектральных составляющих излучения зоны ФАР.
4. Разработан алгоритм работы ПЛК с использованием инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys» для LED фи-

тоустановок, позволяющий поддерживать необходимые дозы спектральных составляющих и имитировать требуемый спектр излучения зоны ФАР.

5. Эксперименты по влиянию доз спектральных составляющих зоны ФАР на рост и развитие меристемного картофеля проводились в ФГБНУ Удмуртском НИИСХ с 2009 по 2015 гг. на картофеле сорта «Удача» (2009г.) и «Ладожский» (2010...2015гг). Наиболее эффективной является фитоустановка, имитирующая спектр Перу, применение которой позволяет снизить расход электрической энергии на 50% и повысить выход продукции на 15%. Ожидаемый экономический эффект составляет около 76 тыс. руб., доход от сэкономленной электроэнергии равен 148 тыс. руб. при сроке окупаемости около 4 лет.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в периодических журналах из перечня ВАК:

1. Большин Р.Г. Комбинированному режиму облучения тепличных растений – инженерные разработки / Н.П. Кондратьева, Е.А. Козырева, Р.Г. Большин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 6. С. 4-5.
2. Большин Р.Г. Реализация комбинированного режима облучения растений рядными лампами /Н.П. Кондратьева, Е.А. Козырева, Р.Г. Большин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 10. С. 28
3. Большин Р.Г. Современные методы проектирования облучательных установок для защищенного грунта / Н.П. Кондратьева, Д.А. Глухов, Р.Г. Большин // Известия Международной академии аграрного образования. 2012. Т. 2. № 14. С. 376-379.
4. Большин Р.Г. Светодиодные облучательные установки для меристемных растений / Н.П. Кондратьева, Р.А. Валеев, Р.Г. Большин //Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 1. № 16. С. 23-25.
5. Большин Р.Г. Электротехнологии и электрооборудование, обеспечивающие оптимальный состав фотосинтетически активной радиации для растений защищенного грунта /Н.П. Кондратьева, В.В. Белов, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая // Известия международной академии аграрного образования. Вып. №25 (2015). Т.1. – СПб. 111...,114.

Патенты, Свидетельства

6. Большин Р.Г. 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., Большин Р.Г.,

Маркова М.Г. / заявка на изобретение № 2012130687/13 от 17.07.2012. – Оpubл. 27.04.2013. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА.

7. Большин Р.Г. Взаимосвязанное управление параметрами микроклимата защищенного грунта / И.Р. Владыкин, Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая, В.В. Логинов, И.А. Баранова, Р.Г. Большин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ за № 2025661513, дата гос.регистрации в Реестре программ для ЭВМ 29 октября 2015 г. Заявитель и правообладатель НОУ ДПО «УНИЦ «ОМЕГА».

Статьи в других изданиях:

8. Большин Р.Г. Энергосберегающая система освещения мясного кросса «Смена 7» / Н.П. Кондратьева, С.А. Баранов, Р.Г. Большин // Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. 2012. Т. 3. С. 177-179.
9. Большин Р.Г. Влияние музыкальных звуковых колебаний на надои коров голштинской породы / Н.П. Кондратьева, Р.А. Валеев, Р.Г. Большин / В сборнике: Биотехнология. Взгляд в будущее Материалы III Международной научной Интернет-конференции: в 2 томах. Составитель Д.Н. Синяев. 2014. С. 104-105.
10. Большин Р.Г. Система технического зрения для статических и динамических объектов предприятий АПК / Н.П. Кондратьева, М.Г. Сколов, Р.Г. Большин, Р.Н. Петров // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4 (41). С. 37-40.
11. Большин Р.Г. Энергоэффективные электротехнологии в подготовке семян к посеву / Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая, Р.Г. Большин // В сборнике: Актуальные вопросы и тенденции развития в современной науке Материалы II Международной научно-практической конференции. Издательство: Автономная некоммерческая образовательная организация "Махачкалинский центр повышения квалификации" (Махачкала). - 2015. С. 49-55.
12. Большин Р.Г. Прогрессивные электротехнологии электрооблучения для меристемных растений / Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая, Р.Г. Большин // В сборнике: Актуальные вопросы и тенденции развития в современной науке Материалы II Международной научно-практической конференции. Издательство: Автономная некоммерческая образовательная организация "Махачкалинский центр повышения квалификации" (Махачкала). - 2015. С. 55-63.
13. Большин Р.Г. Использование прогрессивных электротехнологий электрооблучения меристемных растений / Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая, Р.Г. Большин // В сборнике: Биотехнология. Взгляд в будущее IV Международная научная Интернет-конференция. Казань, 2015. С. 52-56.

14. Большин Р.Г. Энергоэффективное электрооборудование для обработки семян перед посевом / Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая, Р.Г. Большин // В сборнике: Биотехнология. Взгляд в будущее IV Международная научная Интернет-конференция. Казань, 2015. С. 62-66.
15. Большин Р.Г. Энергосберегающие электротехнологии электрооблучения меристемных растений / Н.П. Кондратьева, А.П. Коломиец, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VI международной научно -практической конференции / Под общ.ред. Трушкина В.А. – Саратов: ООО «ЦеСАин», 2015. – с. 104-107.
16. Большин Р.Г. Энергосберегающие электротехнологии для предпосевной обработки семян / Н.П. Кондратьева, А.П. Коломиец, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VI международной научно -практической конференции / Под общ.ред. Трушкина В.А. – Саратов: ООО «ЦеСАин», 2015. – с. 108-111.
17. Большин Р.Г. Энергосберегающие электротехнологии электрооблучения меристемных растений LED фитоустановками / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая, Л. Я. Лебедев // В сборнике: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики материалы XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. МГУ им. Н. П. Огарева; редколлегия: О.Е. Желечникова (ответственный редактор), А.Д. Ашрятов (заместитель ответственного редактора), А.М. Кокинов. 2015. С. 252-255.
18. Bolshim R. Energiesparende Elektrotechnologie mit Nutzung vor RGB – Leds fuer die meristem Pflanzen / N.P.Kondratieva, O.M., Filatova, R. G. Bolshin, M. G. Krasnolutskaaya // В сборнике: Applied Sciences and technologies in the United States and Europe papers of the 1st International Scientific Conference. Edited by Ludwig Siebenberg; technical editor: Peter Meyer (USA). 2015. С. 50-52.
19. Bolshim R. Energy-saving equipment: RGB technologies and ultra-violet LEDs for protected soil / Nadezhda Kondratieva, Vera Litvinova, Roman Bolshin, Maria Krasnolutskaaya // Yale Review of Education and Science (USA), 2015, No.1. (16), (January-June). Volume V. “Yale University Press”, 2015. - p. 758-761.
20. Bolshim R. Progressive electric equipment and electro technologies for the protected soil./ .. Nadezhda Kondrateva, Maria Krasnolutskaaya, Roman Bolshin // Asian Journal of Scientific and Educational Research, “Seoul National University Press”, 2015, No 1(17), (January - June). Volume II. “Seoul National University Press”, 2015. - p 848-852.
21. Большин, Р.Г. Возможность использования систем автоматического управления освещением в длинном коридоре / И.А. Баранова, Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая, Д.В. Коростелёв // XI Международная научно-

практическая конференция Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 кн. (4-5 февраля 2016 г.). Барнаул. РИО Алтайского ГАУ, 2016. Кн. 3. 372 с., с. 10-11.