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

На правах рукописи

БОЛЬШИН РОМАН ГЕННАДЬЕВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ СВЕТОДИОДНЫМИ (LED) ФИТОУСТАНОВКАМИ

Специальность 05.20.02 — электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

> Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент Владыкин Иван Ревович

Москова 2016

СОДЕРЖАНИЕ

	5
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ	
РИТОУСТАНОВОК	10
1.1. УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ РАСТЕНИЙ ЭНЕРГИЕЙ 1.1.1. Понятие о фотосинтезе	
1.1.2. Анализ влияния на интенсивность процесса фотоси	HTE3A
ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	
1.2. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КУЛЬТУРЫ КАРТОФЕЛЯ	
ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА	
1.3. МИКРОКЛОНАЛЬНОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ КАРТОФЕЛЯ (КУЛЬТ	•
– ГАРАНТИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКИХ УРОЖАЕВ КАРТОФЕЛЯ	
1.3.1. КУЛЬТУРА «IN VITRO», РАСТЕНИЯ ИЗ МЕРИСТЕМ	
1.4. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ФИТОУСТАН	
1.4.1. Влияние РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЕЙ СПЕКТРА ЗОНЫ Φ AP НА РАЗ	
РАСТЕНИЙ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ	
1.4.2. Анализ существующих установок и источников из.	
ОБЛАСТИ ФАР	28
Из истории развития светодиодов, LED источников	29
ВЫВОДЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	41
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАИБОЛЕЕ ЭФФІ	EKTURHLIX
ОЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР П	РИ
ОЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР П ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ	РИ
·	РИ 43
ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ	РИ 43
ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ 2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	43 43
ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ 2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	РИ 4343 ЕЧНОГО45
ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ	РИ 4343 ЕЧНОГО45 яющих зоны
ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ	РИ 4345 яющих зоны50
ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ 2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 2.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПОЗИЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР СОЛН ИЗЛУЧЕНИЯ	РИ 4345 яющих зоны50 льных
ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ	РИ 4345 яющих зоны50 льных
ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ	РИ 4345454550 льных ины картофеля
 ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ	РИ 4345 яющих зоны50 льных ины картофеля
ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ 2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 2.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПОЗИЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР СОЛН ИЗЛУЧЕНИЯ 2.2.1 РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ И ЭКСПОЗИЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯ ФАР СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ 2.2.2. РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПОЗИЦИИ СПЕКТРА СОСТАВЛЯЮЩИХ ФАР СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ РОДИ — ПЕРУ 55 2.3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВ ЗОНЫ ФАР СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	РИ 4345 ЯЮЩИХ ЗОНЫ ЛЬНЫХ ИНЫ КАРТОФЕЛЯ ЛЯЮЩИХ
 ЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ	РИ 43454550 льных ины картофеля ЛЯЮЩИХ58 чного

2.3.2. РАСЧЕТ ДОЗЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ З	ОНЫ
ФАР для Перу	63
2.3.3 Математические зависимости, описывающие изменения дозы	
СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗАВИСИМ	10СТИ ОТ
УГЛА СТОЯНИЯ	65
2.3.4. Математические зависимости, описывающие влияние доз спектр	АЛЬНЫХ
составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля.	69
2.4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОПИСЫВАЮЩАЯ ВЛИЯНИЕ ДОЗ	
СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР НА ПРОДУКТИВНОСТЬ	
МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ	
ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ	78
3. ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИ	й для
РЕАЛИЗАЦИИ LED ФИТОУСТАНОВОК ПРИ ОБЛУЧЕНИИ	, ,
МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ	79
3.1. ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ	1
• •	
СВЕТОДИОДОВ	84
3.2.1. Актуальность применения программируемых логических контрол.	
(ПЛК) при автоматизации технологических процессов	84
3.2.3. Разработка системы автоматического управления светодиодной	
ФИТОУСТАНОВКОЙ В 2012 Г	86
3.2.4. Разработка системы атомического управления светодиодной	
фитоустановкой в 20142015 гг	88
3.3. РАСЧЕТ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ФИТОИСТОЧНИКА В ЗОНЕ ФАР И	
ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ	
3.3.1. РАСЧЕТ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ LED ФИТОУСТАНОВКИ	
3.4.1. Техническая реализация работы LED-фитоустановки	
ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ	104
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ	
ИСПЫТАНИЙ	105
4.1.ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ	105
4.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 2009 года	
4.4 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 2010 года	
4.5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДО	ВАНИЙ
2012 г	116
4.6. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДО	ВАНИЙ
2015 года	
ВЫВОЛЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ	122

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ	
LED ФИТОУСТАНОВОК ПРИ	
ВЫРАЩИВАНИИМЕРИСТЕМНОГОКАРТОФЕЛЯ 1	L23
ВЫВОДЫ ПО ПЯТОЙ ГЛАВЕ:1	126
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ1	L27
ЛИТЕРАТУРА 1	L28
ПРИЛОЖЕНИЯ	L38
Приложение 1	139
ДОКУМЕНТЫ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ1	139
Приложение 2 1	146
Патент и Свидетельство1	146
Приложение 3 1	148
Π РОГРАММА НА ЯЗЫКЕ FBD ДЛЯ Π Л K	148

ВВЕДЕНИЕ

Анализ состояния производства картофеля в последние годы показывает, что в ходе проведения аграрной реформы, перераспределения земель, приватизации, социальных и структурных преобразований в сельской местности произошли существенные изменения в структуре производства картофеля по основным категориям хозяйств.

В 2010г. было произведено картофеля во всех категориях хозяйств примерно 30 млн.т., а в 1991-1995гг. среднегодовой уровень валового производства составил до 39 млн.т.

В 2010 г. картофель во всех категориях хозяйств размещался на площади 3,2 млн.га, в том числе в личных подсобных хозяйствах - на 2,7 млн.га (84%), в сельскохозяйственных предприятиях- примерно, 450 тыс.га (14%) и фермерских хозяйствах - 45тыс.га (2%).

Продолжается нежелательная тенденция сокращения площадей под картофель вследствие снижения урожайности и валовых сборов в основном из-за возникающих трудностей с реализацией выращенного урожая, плохой организацией приема продукции, недостатка финансовых средств и т.п. Серьезные трудности имеют место и с реализацией семенного картофеля высших репродукций в элитно-семеноводческих хозяйствах в виду того, у многих с-х предприятий и фермерских хозяйств не хватает финансовых средств.

Поэтому большого внимания заслуживает положительный зарубежный опыт и опыт тех регионов России, где благодаря использованию новых современных технологий, электротехнологий удалось даже при сокращении площадей существенно повысить урожайность, добиться экономии электроэнергии, значительно сократить потери картофеля.

В 2012г. в России был получен средний урожай картофеля 11 т/га, что обеспечило валовое производство 35 млн.т., в т. ч. в с-х. предприятиях - 4, 1 млн.т. При этом с некоторых хозяйствах, использующие современные техно-

логии, имея хороший опыт по производству картофеля, стали получать стабильно высокие урожаи (30т/га).

Показатели по посевным площадям, урожайности и валовым сборам картофеля на ближайшую перспективу определены, обоснованы представлены в Федеральной программе производства картофеля, в которой предусматривается ориентировать с-х. предприятия прежде всего на наращивание объемов производства семенного картофеля высших репродукций, лучших и наиболее перспективных сортов, учитывая реальные потребности в высококачественных семенах всех производителей включая фермерские и личные подсобные хозяйства.

Для проведения сортосмены и сортообновления этим категориям хозяйств ежегодно необходимо, примерно 2 млн.т. сортовых семян высших репродукций. С учетом этой потребности производство семенного картофеля должно составлять 4,5...5 млн.т., а площади семеноводческих посевов-500...550 тыс.га. Для реализации поставленной задачи необходимо разработать новые инженерные решении в области электротехнологий, позволяющих 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.

Принимая во внимание то, что на цели облучения затрачивается существенное количество электрической энергии, то эффективное расходование электрической энергии каждой LED фитоуставкой приведёт к ощутимой экономии в стране. Повышение эффективности электрооблучения позволит предприятиям АПК снизить себестоимость продукции, получить экономию электроэнергии и увеличить прибыль.

По данным Российского Энергетического Агентства осветительные установки расходуют около 30% всей генерируемой в стране электриче-

ской энергии. Таким образом затраты на энергоресурсы составляют значительную часть в себестоимости сельскохозяйственной продукции.

Эффективное использование световой энергии в растениеводстве защищенного грунта зависит от сспектрального состава LED фитоустановки, дозы спектральных составляющих зоны 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, С.А. Растимешиным, 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, Кондратьевой Н.П., Юферевым Л.Ю., R. МсСгее, Р. Mekkel, В. Singh, М. Fischer, J. Bonnet, Р. Нагтіз 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 и разработки 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 здорового элитного посадочного материала 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 фотосинтетичеки 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, позволяющий имитировать наиболее эффективный спектр излучения, с использованием инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys».
- 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 имитировать требуемый спектр излучения.

Новизна технических решений подтверждена Патентом Российской Федерации на полезную модель № 127286 «Светодиодная система для облучения меристемных растений» и Свидетельство 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.

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 контрол-

лера для LED фитоустановки, позволяющий имитировать наиболее эффективный спектр излучения для получения наибольшей продуктивности растений.

1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ФИТОУСТАНОВОК

1.1. УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ РАСТЕНИЙ ЭНЕРГИЕЙ ЗОНЫ ФАР

1.1.1. Понятие о фотосинтезе

К.А. Тимирязев подчеркивал, что важнейшая задача физиологии растений — найти пути для того, чтобы «вырастить два колоса там, где растет один» [145, 146]. Для выполнении этой задачи необходимо научиться управлять фотосинтетической деятельностью растений, т.к. фотосинтез является основным процессом, при котором образуется сухое вещество растений. Между процессом фотосинтеза и продуктивностью растений (урожаем) существует сложная зависимость. Этими вопросы подробно освещены в работах члена-корреспондента РАН А.А. Ничипоровича [100, 101]. Согласно Ничипоровичу, биологический урожай ($V_{\text{биол}}$) равен сумме приростов сухой массы растения за каждые сутки вегетационного периода. При этом накопление этой сухой массы зависит не только от интенсивности фотосинтеза, но и от коэффициента эффективности, учитывающего затраты на процесс дыхания, размеров листовой поверхности и суммы дней вегетационного периода.

В агрономической практике более важен хозяйственный урожай, чем-биологический, Хозяйственный,

урожай (Y_{xo3}) — это доля полезного продукта, ради которого возделывают данное растение (зерно, корнеплоды, волокно и т. д.). Хозяйственный урожай в большей степени зависит от площади листьев. При этом более высокие урожаи получаются при быстром развитии листовой поверхности именно в начале вегетационного периода.

Таким образом, для получения запрограммированных урожаев, необходимо создать наилучшие условия для фотосинтетической деятельности растений особенно в начале вегетационного периода. При этом необходимо учитывать связь фотосинтеза с ростом и развитием, дыханием растений, с водным и минеральным питанием.

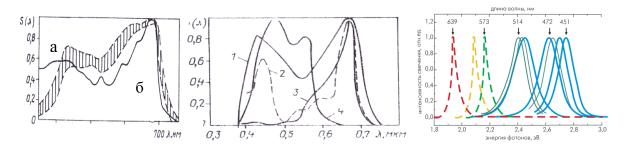
Фотосинтез - это процесс синтеза органических веществ из неорганических за счет энергии света.

Общее уравнение фотосинтеза имеет следующий вид [157]:

$$6C0_2 + 12H_20 + hv -> C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_20$$

Весь кислород фотосинтеза выделяется из воды, которую в правой части уравнения нельзя сокращать, т. к. ее кислород имеет иной изотопный состав, чем кислород в $C0_2$. Анализ этого уравнения показывает, что фотосинтез — это окислительно-восстановительный процесс, в котором вода окисляется до 0_2 , а углекислый газ восстанавливается до углеводов.

У растений имеются системы фоторецепторов, обеспечивающие поглощение энергии по всей области фотосинтетически активной радиации (ФАР), т. к. они являются единственными организмами на Земле, которые самостоятельно синтезируют органические вещества из неорганических (рис.1.1). ФАР – это часть оптического диапазона с длиной волны 380...740 нм.



1) 2) 3)

Рисунок 1. 1. Кривые спектральной эффективности фотосинтеза (a) и кривые спектральной эффективности различных функций растений (б)

- 1) а усредненная по данным разных авторов; б по Свентицкому И.И.
- **2**) 1 фотосинтеза; 2 хлорофиллосинтеза; 3 фотоморфизма; 4 фототоронизма; 3) эЭнергия квантов

Интенсивность фотосинтеза при освещении **смешанным светом** (с двумя длинами волн) оказалась выше суммы интенсивностей фотосинтеза, наблюдаемой при освещении светом каждой длины волны в отдельности. Таким образом, для повышения интенсивности фотосинтеза необходимо одновременное световое возбуждение пигментов, различающихся по спектру поглощения. Это явление называют эффектом усиления или эффектом Эмерсона [160, 165, 166].

1.1.2. Анализ влияния на интенсивность процесса фотосинтеза параметров окружающей среды

Скорость любого процесса, в частности скорость фотосинтеза, зависит в первую очередь от того фактора, который находится в минимуме (ограничивающий фактор). В качестве примера можно привести взаимодействие таких факторов, как интенсивность света и содержание $C0_2$. Чем выше содержание углекислого газа (в определенных пределах), тем при более высокой освещенности показатели фотосинтеза выходят на плато [157].

Интенсивность процесса фотосинтеза может быть выражена в следующих единицах:

- в миллиграммах $C0_2$, ассимилированного 1 дм² листа за 1 ч;
- в миллилитрах 0_2 , выделенного 1 дм² листа за 1 ч;
- в миллиграммах сухого вещества, накопленного 1 дм² листа за 1 ч.

Существенное влияние на процесс фотосинтеза оказывают влияние следующие факторы

1. Солнечное излучение, оцениваемое по коэффициенту использования солнечной энергии при фотосинтезе;

- 2. Температура;
- 3. Содержания $C0_2$ в воздухе;
- 4. Обеспеченность водой и т.д.

Влияние солнечного излучения на интенсивность процесса фотосинтеза показано на рис. 1.2, из которого видно, что влияние освещенности на интенсивность фотосинтеза можно разделить на три зоны:

- зона максимального эффекта увеличение освещенности приводит к соответствующему усилению фотосинтеза. Лимитирующим фактором здесь является световое излучение.
- зона ослабленного эффекта при дальнейшем увеличении освещенности скорость нарастания фотосинтеза снижается.
- зона насыщения плато дальнейшее увеличении освещенности не изменяет фотосинтез.

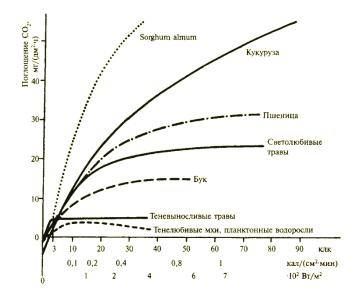


Рисунок 1. 2. Изменение интенсивности фотосинтеза от освещенности для разных типов растений

Наклон кривых, выражающих зависимость фотосинтеза от освещенности, и выход на плато, зависит от:

- 1) недостатка других внешних факторов;
- 2) типа растений по отношению к освещенности;
- 3) скорости темновых (не требующих света) реакций фотосинтеза [157].

С увеличением освещенности возрастает скорость световых реакций, и темновые реакции также протекают быстрее, но отстают от световой реакции.

Показателем эффективности использования растениями солнечной радиации является коэффициент полезного действия ФАР (КПД ФАР), который равен отношению количества энергии, запасенной в продуктах фотосинтеза или образовавшейся в фитомассе урожая, к количеству поглощенной энергии зоны ФАР (рис. 1.3). КПД ФАР выражается либо по отношению к падающей, либо по отношению к поглощенной растениями энергии ФАР. Если рассматривать планету Земля в целом, то КПД ФАР составляет около 0,2%. Следовательно, КПД фотосинтеза в естественных условиях ничтожно мал. Задача повышения КПД ФАР, т. е. эффективного использования энергии зоны ФАР является одной из важнейших в физиологии, а также в селекции с-х. растений [157].

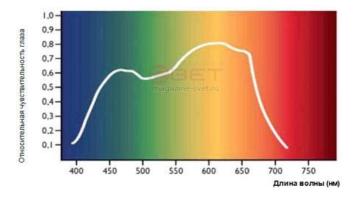


Рисунок 1. 3. Кривая спектральной чувствительности зеленого листа растения

Влияние интенсивности процесса фотосинтеза на температуру.

При низкой освещенности фотосинтез не зависит от температуры. Так при температурах 15° ... 25° С фотосинтез протекает с одинаковой скоростью. Это связано с тем, что при низкой освещенности интенсивность фотосинтеза лимитируется скоростью световых реакций, т. е. если $E\downarrow$, то интенсивность фотосинтеза=const при 15° С < t < 25° С, т. к. лимитирующий фактор – скорость световых реакций.

При высокой освещенности скорость фотосинтеза определяется протеканием темновых реакций. Влияние температуры проявляется очень отчетливо. Так, для подсолнечника повышение температуры в интервале от 9 до 19°С увеличивает интенсивность фотосинтеза в 2,5 раза. Следовательно, если Е↑, то интенсивность фотосинтеза=f(t), а лимитирующий фактор — скорость темновых реакций. **Приход солнечной энергии формирует** также тепловой, водный и воздушный режимы почвы и растений в течение всей их вегетации.

Повышение урожайности культур является главной задачей растениеводства, для успешного решения которой необходимо заранее рассчитать возможный уровень урожайности в зависимости от многих факторов, то есть научиться программировать урожайность, что позволит достигнуть высоких урожаев культур при невысокой себестоимости продукции.

Основы программирования урожаев как науки были заложены еще в XIX - начале XX столетий основоположниками агрономической науки. Среди ученых этого периода следует назвать Ю. Либаха, Г. Гельригеля, М.Э. Вольни, Д.Н. Прянишникова, К.А. Тимирязева, В.Р. Вильямса и многих других.

К.А. Тимирязев считал, что предел плодородия почвы определяется не количеством вносимых удобрений и подаваемой воды, а количеством световой энергии, поступающей от солнца на поверхность поля. Растения, поглощая при участии хлорофилла, зеленого пигмента, солнечную энергию, преобразуют ее в химическую энергию органических соединений и накапливают массу растения [145, 146]. В виду того, что до 95% урожая культур формируется за счет энергии ФАР, то необходимо добиться того, чтобы растения как можно больше использовали энергии солнца или другой искусственной фитоустановки, с таким спектром излучения, который позволит получить максимальный выход продукции при минимальных финансовых затратах.

Растения в процессе фотосинтеза могут использовать из общего количества поступающей на Землю солнечной радиации с длиной волн от 280 до 4000 нм только излучение в зоне ФАР, т. е. в интервале от 310 до 710 нм [70].

ФАР по своему происхождению подразделяется на следующие виды: S' - прямая солнечная радиация — часть лучистой энергии Солнца, поступающая к земле в виде почти параллельных лучей; \mathcal{I} - рассеянная радиация — часть солнечной радиации, которая после рассеивания атмосферой и отражения от облаков падает на горизонтальную поверхность; Q - суммарная радиация, которая равна $S'+\mathcal{I}$.

На долю ФАР приходится 42 % прямой и 60 % рассеянной радиации. Поэтому приход ФАР за вегетационный период выражают как сумму 0,42S'+0,60Д, а количество ФАР, поглощенной растениями, $(\sum Q_n)$ определяется уравнением:

$$\sum Q_n = a_n \cdot (0.42 \cdot S) + 0.60 \cdot Д$$

 a_n – коэффициент поглощения растениями ФАР в относительных единицах;

Прямую солнечную радиацию измеряют актинометрами и пиргелиометрами; суммарную рассеянную и отраженную радиацию – пиранометрами.

Управлять продуктивностью (урожаем) культур для нашив климатических условиях целесообразно в защищенном грунте, который по определению профессора В. А. Брызгалова, представляет собой земельные участки и специальные помещения, оборудованные для создания искусственного благоприятного микроклимата в целях внесезонного выращивания овощных и других сельскохозяйственных культур [28].

Для формирования высококачественного урожая овощей в защищенном грунте необходимо для них создать наиболее благоприятные условия по освещенности и спектральному составу, по продолжительности фотопериода, по тепловому, водному режиму, по обеспечению растений в достаточном количестве углекислым газом и кислородом, минеральными веществами и т.д.

Для поддержания параметров микроклимата в требуемых диапазонах и в первую очередь дозу спектральных составляющих зоны ФАР, необходимо использовать программируемые логические контроллеры (ПЛК), для кото-

рых целесообразно разработать алгоритм работы для LED фитоустановок, позволяющий имитировать требуемые дозы спектральных составляющих зоны ФАР для получения наибольшей продуктивности растений.

1.2. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КУЛЬТУРЫ КАРТОФЕЛЯ

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Родиной картофеля является Латинская Америка, где до сих пор встречаются до 30 видов дикорастущего картофеля. Примерно 9...7 тысяч лет тому назад настоящей удачей для древних людей, гонимых голодом, было найти съедобные клубни дикого картофеля (рис.1.4). Поэтому древние люди долгое время почитали картофель как дар богов, не только употребляя его в пищу, но и поклонялись ему, считая одушевлённым существом.



Рисунок 1. 4. Древняя керамика, изображающая клубни картофеля

В Европу картофель впервые был завезён в Испанию примерно в 1551 году. В 1553 г. В испанском городе Севилья вышла книга «Хроника Перу». Ее автор, вернувшийся из этой страны, писал: «Папас— это особый род земляных орехов. Будучи сварены, они становятся мягкими, как печеный каштан. Они покрыты кожицей не толще кожицы трюфеля». Это было первое письменное упоминание о картофеле в Европе.

1565 год считается годом появления картофеля в Европе, т.к. в этом году по приказу испанского короля Филиппа II овощ был доставлен ко двору. Впервые употребили картофель в пищу в 1573 году. С этого времени и началось распространение картофеля на землях Старого Света; из Испании он

попадает в Италию, затем— в Бельгию, в Австрию, Францию, Германию, Англию и Польшу.

В Россию картофель попал из Голландии в конце XVII века при Петре I. По одной из версий Петр I во время своего путешествия по Голландии вложил несколько картофелин в мешок, который в 1716 году получил из Роттердама граф Б. Шереметьев с повелением разослать клубни по всей России «на расплод». Русское название «картофель» происходит от итальянского слова «тартуффоли» — трюфель. С середины XVIII века выращивали картофель в большинстве губерний России. Желаемого результата, однако, это не дало.

Несмотря на это, по стране прокатилась волна «картофельных бунтов».

Наконец, «картофельная революция» времён Николая I увенчалась успехом. К концу XIX века в России было занято под картофель более 1,5 млн га (рис. 1.5). Постепенно новое растение, из клубней которого можно «печь хлеб и варить кашу», пробивало себе дорогу на крестьянские огороды: доходы от продажи картофеля были даже больше, чем от ржи [66].



Рисунок 1. 5. Монахи, сажающие картофель, на фотографии Прокудина-Горского, 1910 г

К началу XX века картофель считался в России «вторым хлебом», то есть он стал одним из основных продуктов питания. Известный ботаник

П.М. Жуковский утверждал: «Самое ценное, что дало нам открытие Колумба, — это картофель».

Академик Николай Иванович Вавилов в 1925—1926 годах направил экспедиции в Мексику, Гватемалу, Колумбию, Перу, Боливию и Чили, а в 1932 году отправился туда сам. Ученые привезли огромное количество диких форм картофеля, которые высадили под Санкт-Петербургом для того, чтобы вывести устойчивые сорта нашего второго хлеба, которые не болеют и не боятся фитофтороза и жука колорадского.

В наши дни картофель культивируется в умеренной климатической зоне по всему земному шару; клубни картофеля составляют значительную часть пищевого рациона народов Северного полушария (русских, белорусов, поляков, канадцев). В 1995 году картофель стал первым овощем, выращенным в космосе. В настоящее время его выращивают даже за Полярным кругом. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН объявила 2008 год «Международным годом картофеля».

В нашей стране до перестройки, посадки картофеля занимали порядка 7 млн га и валовой сбор составлял почти треть мирового производства. Картофель является основным сырьем для производства крахмала, который используется в пищевой, текстильной, бумажной и других промышленностях, из него производят патоку, спирт, глюкозу, углекислоту, а клубни и ботву картофеля скармливают скоту.

1.3. МИКРОКЛОНАЛЬНОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ КАРТОФЕЛЯ (КУЛЬТУРА ТКАНЕЙ) – ГАРАНТИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКИХ УРОЖАЕВ КАРТОФЕЛЯ

Картофель является одной из основных продовольственных культур, а во многих странах мира по важности он занимает вторую позицию после зерновых. Традиционно эта культура размножается вегетативно — клубнями. Но этот способ имеет два основных недостатка. Первый состоит в относительно низком коэффициенте воспроизводства, что не позволяет быстро

увеличивать площади посадки при изменении экономических условий или потребительского спроса. А во-вторых, картофель весьма восприимчив к вирусным, бактериальным и грибным болезням, которые способны привести к существенному снижению урожая. Например, вирусы PLRV и некоторые варианты PVY снижают урожай клубней на 50...80%. Единственным известным на сегодня способом избавления посадочного материала картофеля от вирусов является меристемная культура.

Меристемная культура позволяет быстро получить точные генетические копии растений, **не** зараженные вирусными, грибными и бактериальными инфекциями. Основные преимущества меристемной культуры:

- 1. получение большого количества посадочного материала, **не зараженно- го** вирусами, бактериями и грибами.
- 2. круглогодичного проведения работ.
- 3. наличие **небольшие площади** для получения меристемной культуры **Меристемные сорта** это оздоровленный посадочный материал, который получают с использованием **метода клонального микроразмножения** или **культуры тканей**.

1.3.1. КУЛЬТУРА «IN VITRO», РАСТЕНИЯ ИЗ МЕРИСТЕМ

В начале 20 века жил в Германии физиолог Готлиб Иоганн Фридрих Габерланд, который вырастил из маленького кусочка листа традесканции целое растение [94]. Он разработал специальную теорию, но его попытки культивирования клеток традесканции на искусственной питательной среде успехом не увенчались. Спустя тридцать лет двое исследователей, американец Филипп Уайт и француз Роже Готье повторили его опыты и достигли успеха! Они выделяли кусочек растительной ткани, стараясь не повредить клеточные оболочки, и перенесли этот кусочек на стерильную питательную среду – раствор минеральных солей, сахаров, аминокислот и фитогормонов, на которой клетки ткани начинали быстро делиться. В результате этого деления образо-

вывались мелкие недифференцированные клетки — каллюс. **Недифференцированные клетки** (каллюс) — это клетки, которые могут стать растением, но еще не совсем готовы к этому процессу. При этом клетки каллюса могут делиться сколь угодно долго. Так, например, каллюсные клетки, полученные еще Готье и Уайтом до сих пор используют в некоторых лабораториях. Готье и Уайта переносили эти каллюсные клетки на питательную среду другого состава, где в недифференцированных клетках появлялись и начинали расти зародышевые структуры - зачаточные почечка и корешок, затем они подрастили это растение на питательной среде, а потом уже пересадили в грунт. Спустя время опыт Готье и Уайта был повторен многими исследователями. Сейчас уже возможно выращивать растения не только из кусочка растительной ткани, но и из одной клетки и даже из протопласта - клетки, лишенной оболочки.

Со временем метод выращивания изолированных тканей, клеток, протопластов стал довольно широко использоваться в области **клонального** размножения. (Клон — ряд поколений генетически однородных потомков одной исходной особи, образующейся в результате бесполого размножения). Клонирование позволяет получать большое количество посадочного материала, полностью идентичного исходной особи.

При клональноммикроразмножении, как правило, в качестве исходного материала используются фрагменты верхушечной апикальной меристемы - самых молодых верхушечных клеток. Эти клетки свободны от патогенных микроорганизмов, поэтому растения, полученные от них, будут здоровыми. Таким образом, от клеток меристемы одного растения можно получить огромное число потомков.

Микроклональное размножение (культура тканей) на сегодняшний день является передовым методом, позволяющим в несколько раз сократить сроки необходимые для размножения новых сортов обычным способом. Этот метод вполне пригоден для подавляющего большинства культур плодо-

вых и ягодных растений и ряда сельскохозяйственных культур: томат, клевер, картофель рис и кормовая люцерна.

В настоящее время для многих культур уже разработаны и активно внедряются технологии получения **меристемных сортов**, они особенно необходимы для размножения растений спрос, на которые повышен, это **картофель**, все плодовые и ягодные культуры, а также декоративные и хвойные.

В технологии меристемного размножения картофеля выделяют следующие ключевых стадий:

- 1. Получение не зараженной вирусами меристемной культуры картофеля;
- 2. Несколько этапов размножения культуры черенкованием;
- 3. Стимуляция образования микро- или миниклубней из культуры тканей; Микроклубни это небольшие клубни, выращенные в пробирке со средним весом 0,10...0,15 г. Миниклубни размером 1,0...1,5 см могут быть получены из микроклубней при их плотной высадке на рассадочную грядку или меристемной культуры, используя гидропонику или аэропонику.
- 4. Высадка мини или микроклубней в ростовую среду; на первом этапе в теплицы-изоляторы, на втором этапе в искусственный торфянопесчаный грунт.
- 5. Вегетативное размножение посадочного материала традиционным методом (клубнями) на протяжении нескольких поколений. Следующие этапы размножения посадочного материала проходят в открытом грунте

1.3.2. МЕРИСТЕМНАЯ КУЛЬТУРА КАРТОФЕЛЯ В РОССИИ

Картофель - сельскохозяйственная культура, где были впервые использованы биотехнологические методы для избавления посадочного материала от вирусов. К сожалению, внедрение этой технологии в России происходит не так быстро из-за проблем с высококвалифицированными кадрами (микробиологами, физиологами растений, специалистами по ИФА-анализу и т.д. [116].

В настоящее время в крупных картофелеводческих хозяйствах создаются собственные лаборатории первичного оригинального семеноводства.

В Ставропольском крае с 1992 г. успешно занимается выращиванием оздоровленного посадочного материала экспериментально-тепличный комбинат «Меристемные технологии», который производит 1...1,2 млн миниклубней массой 5...9 г. После их размножения в шесть оборотов (вторая генерация) можно получить 700–800 тыс. т. продовольственного картофеля высокого качества.

В республике Татарстан с 1997 г. ООО «Алчак» занимается производством оздоровленного высококачественного посадочного материала и ежегодно поставляет 3...5 тыс. т. сертифицированного семенного материала в 26 регионов России и за рубеж. Ряд совместных компаний («Самара-Солана», «КРиММ») размножают безвирусный посадочный материал зарубежной селекции.

Отечественный рынок оздоровленного посадочного материала картофеля заполнен еще **очень слабо**, и его развитие должно сопровождаться увеличением производительности картофелеводства и переходом отрасли на качественно новую основу.

С 2012 года на базе Аграрного университета работает лаборатория по микроклональному размножению картофеля — метода ускоренного размножения исходного семенного материала, заключающийся в выращивании растений на питательных средах в стерильных условиях с последующим размножением. В основе микроразмножения лежит уникальная способность растительной клетки: одна клетка может дать начало целому растительному организму, свободному от вирусной, бактериальной и грибной инфекции. Биологический потенциал существующих сортов картофеля позволяет получать в оптимальных условиях до 10...15 кг/м²

Преимущества клонального микроразмножения является высокий коэффициент размножения, позволяющий из одного черенка получить три растения, из которых примерно за три недели образуются новые растения, которые снова можно разделить и пересадить на свежую среду.

Выделяют три этапа микроклонального размножения картофеля (рис. 1.6):

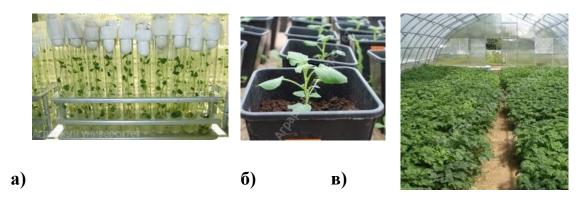


Рисунок 1. 6. Этапы микроклонального размножения картофеля:

- а) первый этап-получение оздоровленных пробирочных растений на первом году;
- б) второй этап производство мини-клубней (посадка пробирочных растений в гидропонную теплицу; сбор мини-клубней);
- в) третий этап размножение семенного материала в полевых условиях (высадка миниклубней в поле получение первого полового поколения картофеля на втором году; размножение семенного материала и получение супер суперэлиты на третьем году; размножение семенного материала и получение суперэлиты на четвертом году ;размножение семенного материала и получение элиты на пятом году)

Если предположить, что за каждую такую операцию растение разделяется минимум на три новых зачатка, а интервал между разделениями составляет 25 дней, то, теоретически, за год может быть получено более 14 млн растений из одного меристемного зачатка.

Недостатком метода получения меристемных сортов является сложность, высокая стоимость оборудования и конечной продукции, что напрямую связано со спросом. Этот метод целесообразнее использовать для размножения в первую очередь уникальных сортов либо культур, которые плохо укореняются в условиях теплицы при использовании традиционных методов размножения.

В Удмуртской Республике Государственное научное учреждение Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Российской академии (ФГБНУ УГНИИСХ) является единственным в Республике научно-производственным учреждением, где сосредоточено первичное семеноводство зерновых культур, многолетних трав и картофеля. ведёт семеноводство по 18 сортам картофеля, основным зерновым, многолетним травам и плодово-ягодным культурам [46]. Оздоровление картофеля от фитопатогенов производится путем микроклонального размножения оздоровленных расте-

ний в меристемной лаборатории объемом 40...45 тыс. пробирочных растений различных сортов (рис. 1.7). ФГБНУ УГНИИСХ ведение семеноводства картофеля и плодово-ягодных культур производится на оздоровленной (меристемной) основе, что обеспечивает семенному материалу высокое качество и большой потенциал Институт реализует высокие репродукции семян сельскохозяйственных культур: картофель, яровая пшеница, ячмень, овес, клевер луговой, козлятник восточный, кострец безостый, овсяница луговая [45].



Рисунок 1. 7 Фрагмент меристемной лаборатории ФГБНУ УНИИСХ

Переход семеноводства картофеля в Удмуртии на сокращенную четырехлетнюю схему производства элиты обеспечивает получение существенного экономического эффекта, но при этом требует увеличения в 4,5 раза количества исходных меристемных растений [116].

Разработка и применение прогрессивных энергоэффективных фитоустановок для облучения меристемных культур позволит получить значительную экономию электрической энергии и повысить продуктивность растений.

1.4. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ФИТОУСТАНОВОК

1.4.1. Влияние различных частей спектра зоны ФАР на развитие растений в защищенном грунте

В растениеводстве защищенного грунта фитоустановки используются для удлинения естественного светового дня (электрооблучение /электросвещение) или для выращивания растений только под фитоустановками (электросветокультура) [73, 79, 81].

К.А. Тимирязев в своей лекции «Космическая роль растений», прочитанной в Лондонском Королевском обществе, показал, что энергия солнечного луча складывается в запас в зеленом листе [145, 146]. Роль хлорофилла в фотосинтезе впервые открыл К. А. Тимирязев, показав, что хлорофилл, поглощая энергию излучения, активно участвует в окислительновосстановительной реакции, в результате которой из воды и углекислого газа образуется органическое вещество и свободный кислород.

Только около 0,2% энергии ФАР, приходящей на Землю, усваивают растения. При этом теоретически возможно усвоить 5 % и даже 10 % энергии ФАР. По данным Ничиппоровича А.А. (1963) максимальный к.п.д. фотосинтеза (но не более 5 %) имеет место при излучении с длиной волны 680 нм. Основной причиной низкой усвояемости растениями энергии ФАР является влияние на растения других лимитирующих факторов, которых в данный момент бывает недостаточно, это, например, тепло, влажность, содержание CO₂ в воздухе, плодородие почвы. Вместе с этим, при выращивании растений под фитоустановками необходимо знать, не только наиболее эффективный спектральный состав излучения, но и дозы этого излучения для получения наибольшего урожая сельскохозяйственных культур. [77].

По данным Протасовой Н.Н. (ИФР) отсутствие в излучении ламп отдельных участков спектра приводит к нарушению нормального роста растений (табл. 1.1).

Таблица 1. 1 Влияние спектра излучения на формирование растений (по Протасовой Н.Н.)[123]

Длина волны, нм	Влияние на растения				
400500	Растения низкорослые с низкой продуктивностью, стебли				
(синий свет)	укорочены, листья утолщены и мелкие				
500600	Растения с вытянутыми осевыми органами, тонкими листьями				
(зеленыйсвет)	и с низкой продуктивностью				
600780	Иинтенсивный рост листьев, осевых органов. Ннедостаток				
(красный свет)	этого излучения приводит к развитию неполноценных				
особенно важна	генеративных органови, следовательно, к низкой				
зона 640680	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 позволяет вырастить полноценные растения, и только излучение с определенным соотношением энергиипо этим трех диапазонов длин волн может обеспечить выращивание полноценных растений. Аналогичное мнение высказал Малышев В.В. [84].

В течение дня спектральная плотность солнечного излученияи зменяется: При уменьшении солнцестояния солнечный спектробогащается длинноволновыми оранжево-красными лучами, а при нахождении солнца в зените — максимум приходится на коротковолновые сине-фиолетовые лучи. Кроме этого га период вегетации существенное значение оказывает величина облученности (освещенности), длительность фотопериода, сезон года, высота стояниясолнца над горизонтом. При этом синий свет способствует увеличению листовой поверхности и способствует быстрому развитию южных короткодневных растений, например, клещевика. Растения длинного дня особенно требовательны к красному свету, а синий свет задерживает их развитие [54, 74, 77, 78].

Таким образом, искусственно воздействуя на растения различной плотностью излучения, величиной облученности, можно регулировать продолжительность вегетационного периода. При укорочении вегетационного

периода онжом значительно уменьшить расходы тепловую на И электрическую энергию при выращивании растений в защищенном грунте [29, 33, 37,50]. Поэтому целесообразно научно обосновать наилучшую дозу составляющих ФАР ДЛЯ конкретной спектральных 30НЫ культуры защищенного грунта [148, 149, 150,].

С учетом постоянного роста стоимости электроэнергии, энергоносителей вопросы, связанные с научным обоснованием технических решений для интенсификации электротехнологий фитоооблучения в защищенном грунте, обеспечивающих увеличение выходапродукции при снижени иэнергетических затрат, являются несомненно актуальными.

1.4.2. Анализ существующих установок и источников излучения в области **Ф**АР

В ВИЭСХе в 60-е годы на основе спектральной чувствительности «среднего» листа, предложенного И.И. Свентицким, были созданы специальные фитолампы низкого давления типа ЛФ-40-1, ЛФ-40-2, имеющие максимум излучения в диапазонах 440...450 нм и 600...700 нм. Лампы не нашли широкого распространения в виду малой единичной мощности [125].

Достаточно длительное время в защищенном грунте использовались дуговые ртутные фитолампы типа ДРЛФ 400. В 80-е годы начали производить металлогенные лампы типа ДРИ, лампы с металлом олово типа ДРОТ 2000, использовались с ксеноновыми лампами ДКсТЛ 10000, которые хорошо зарекомендовали себя в районах Севера. Положительные результаты получены при использовании натриевых ламп типа ДНаТ (рис. 1.8), Фирма ООО «Рефлакс» выпускает натриевые лампы высокого давления типа REFLUX. Спектры некоторых ламп показаны на рис. 1.9.

В настоящее время широкое распространение в защищенном грунте находят светодиодные источники (СД), которые в международной классификации обозначаются как LED.



Рисунок 1. 8. Натриевые лампы высокого давления, используемые для освещения теплиц

И3 истории развития светодиодов, **LED** источников

В 1907 году было впервые отмечено слабое свечение, испускаемое карбидокремниевыми кристаллами вследствие неизвестных тогда электронных превращений. В 1923 году наш соотечественник, сотрудник Нижегородской радиолаборатории Олег Лосев отмечал это явление во время проводимых им радиотехнических исследований с полупроводниковыми детекторами, однако интенсивность наблюдаемых излучений была столь незначительной, что Российская научная общественность тогда всерьез не интересовалась этим феноменом.

Через пять лет Лосев специально занялся исследованиями этого эффекта и продолжал их почти до конца жизни. О.В. Лосев скончался в блокадном Ленинграде в январе 1942 года, не дожив до 39 лет. Открытие «LosevLicht», как назвали эффект в Германии, где Лосев публиковался в научных журналах, стало мировой сенсацией. Только после изобретения транзистора в 1948 году и создания теории р-п-перехода стала понятна природа свечения.

В 1962 году американец Ник Холоньяк продемонстрировал работу первого светодиода, а вскоре после этого сообщил о начале полупромышленного выпуска светодиодов.

Светодиод (англ. lightemissiondiode – LED) является полупроводниковым прибором, его активная часть, называемая «кристалл» или «чип». Он состоит из двух типов полупроводника – с электронной (п-типа) и с дырочной (р-типа) проводимостью. В отличие же от обычного диода в светодиоде на границе полупроводников разного типа существует определенный энергетический барьер, препятствующий рекомбинации электронно-дырочных пар.

Массовое производство СД началось в шестидесятые годы [33]. Принципиальный скачок в улучшении параметров СД произошел в 1992 ... 95 гг., когда японской фирме NichiaChemicalIndustries (NCI) удалось организовать производство нового поколения СД на основе многопроходных гетероструктур нитрида галлия и его твердых растворов. Эта фирма, а также HewlettPackard (США), SankenElectricCo (Япония) и ряд других начали промышленный выпуск высокоэффективных СД повышенной яркости. Световая отдача СД была увеличена в 100 раз.

К основным преимуществам СД можно отнести:

- 1. Высокий срок службы более 100 000 ч,
- 2. Высокая световая отдача 30 лм/Вт и выше.
- 3. Отсутствие какой-либо пускорегулирующей аппаратуры.
- 4. Возможность концентрировать излучаемый световой поток в малых телесных углах, что позволяет приблизить коэффициент использования светового потока к 100%.
- 5. Высокая устойчивость к механическим воздействиям, вибрации, работоспособность в широком интервале температур от -55 до + 100 °C.
- 6. Пониженные затраты на обслуживание.
- 7. Возможность управления динамикой цвета

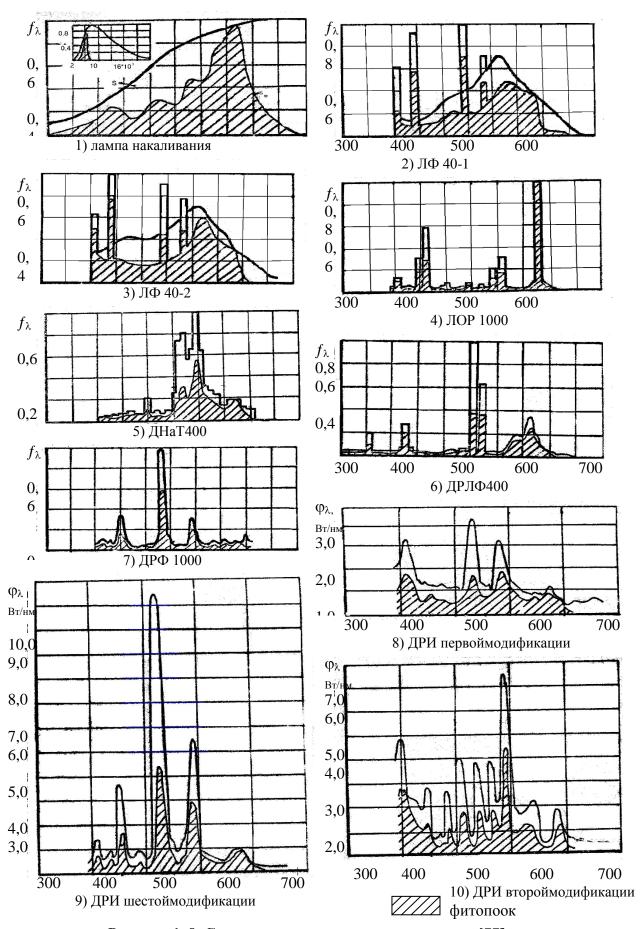


Рисунок 1. 9. Спектры излучения некоторых ламп [77].

- 8. Мгновенность выхода на рабочие характеристики после включения, отсутствие ртути.
- 9. Низковольтное питание на постоянном токе позволяет использовать батарейки, аккумуляторы и другие источниками энергии, например, солнечные элементы и др.

Типовая конструкция наиболее массовых СД показана на рис. 1.10. Корпус *I* имеет сферическую или эллипсоидную поверхность, выполняющую роль линзы и формирующую излучение СД в заданном телесном угле. Сферические поверхности позволяют сконцентрировать излучение в угле от 15° до 120°, эллипсоидные — от 3° до 15°.Излучение генерируется кристаллом 2, который закреплен на кристаллодержателе *З*. Кристаллодержатель является одновременно и одним из электродов СД. Внутренние бортики кристаллодержателя имеют наклон около 45° и высоту до 0,5 мми служат внутренним отражателем, направляя боковое излучение кристалла вдоль оптической оси СД. Выводы 4и 5служат не только для подачи напряжения, но и для фиксации СД на монтажных платах. При повышенных механических нагрузках СД крепятся дополнительно за корпус. Типовые диаметры корпуса — 3, 5, 8 и 10 мм.

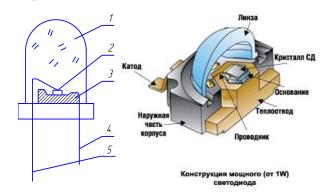


Рисунок 1. 10. Устройство обычного (слева) и мощного (справа) светодиодов

1- корпус-линза; 2- кристалл; 3- кристаллодержатель; 4- катодный вывод; 5- анодный вывод

На рисунке 1.11 показана некоторые характеристика СД,

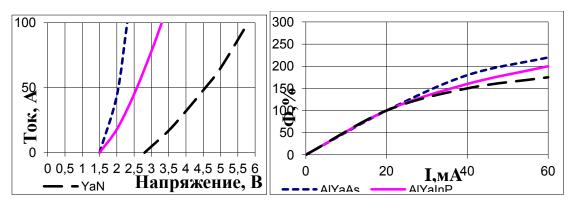


Рисунок 1. 11. Некоторые технические характеристики светодиодов

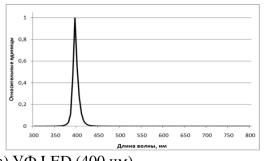
а) Вольтамперные характеристики светодиодов б) Зависимость потока, излучаемого светодиодами, от тока

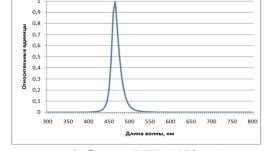
В таблице1.2 приведены предельные параметры СД. Прямое падение напряжения при токе 20 мA составляет для красных LED не более 2,4 B, для желтых - 2,5В, для зеленых - 3,6 В.

Таблица 1. 2 Предельные параметры современных светодиодов [141, 168].

Цвет свечения	λ _{max} , нм	Сила света, кд при I = 20 мА	Световая от- дача, лм/Вт	Сила света на единицу мощности, кд/Вт
Красный	630	35	10	900
Оранжевый	600	20	20	500
Желтый	594	20	20	500
Зеленый	525	12	30	200
Синий	470	2,5	2	35
УФ	400	-	-	-

Излучение СД нельзя считать строго монохроматичным, так как ширина полосы излучения составляет 20 ... 30 нм. Анализ спектрального распределения излучения приведен в работах Соколова А.В. и Юферева Л.Ю. (рис. 1.12) [142, 169].





а) УФ LED (400 нм)

б) Синий LED (470 нм)

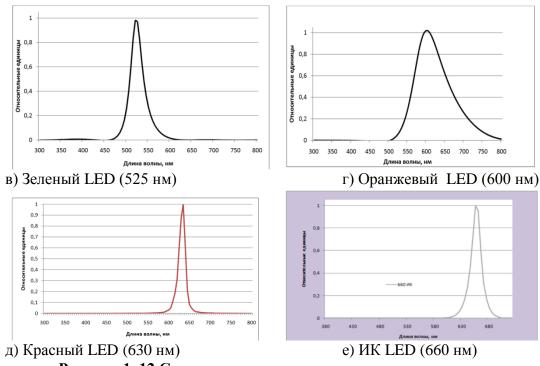


Рисунок 1. 12 Спектры излучения некоторых светодиодов

В 1991 г. по заданию NASA (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США) американские ученые провели эксперимент по использованию СД для облучения растений в условиях космических полетов. Использовались СД на арсениде галлия и алюминия с $\lambda_{\text{max}} = 660$ нм с диаметром корпуса 5 мми уголом излучения 8° [33]. Применялись 540 СД общей мощностью 50 Вт на площадиоблучения (освещения) 19х35 см². Ввидуотсутствия в то время СД с излучением в коротковолновой (синей) области спектра, дополнительно к красному излучению СД растения было добавлено излучение в диапазоне 400 ... 500 нмот люминесцентной лампы F20 T12/246. Суммарная облученность на уровне почвы составляла около 60 Вт ФАР/м². При этом доля облученности от люминесцентной лампы — около 6 Вт Φ АР/м² т.е. примерно 10 % от общей облученности. В этих условиях в течение 21 дня (с фотопериодом 16 ч свет — 8ч темнота) выращивались растения салата. Результаты эксперимента показали, что выращенные под СД растения ни по одному из контролируемых параметров (масса свежесрезанных растений масса сухого вещества в них, количество и размер листьев) не уступали растениям, выращенным в контрольной установке под люминесцентными лампами холодно-белогоизлучения и лампами накаливания при одинокой освещенности (облученности) во всех вариантах. Интерес NASA к использованию СД в космосе обусловлен тем, что, СД обладают рядом свойств, делающих их особенно перспективными при использовании именно на космических объектах. Это высокая надежность, полное отсутствие стекла и ртути, энергоэкономичность, энергоэффективность,

Руководствуясь именно этими соображениями, в проекте международной станции «Альфа»рассматривался альтернативный вариантLEDсветильников для освещения одного из модулей станции. Сравниваются светильники с галогенными лампами накаливания (ГЛН) мощностью 28 В, 150 Вт, компактными люминесцентными лампами (КЛЛ) - 39 Вт, металлогалогенными лампами (МГЛ)- 125 Вт и LED (таблица 1.3).

Таблица 1. 3. Сравнение параметров светильников космической станции «Альфа» с различными источниками света

Попомотр	Источник света				
Параметр	МГЛ	ЛЛ	ГЛН	LED	
Пределы регулирования					
средней освещенности на	45650	45600	0450	0160	
расстоянии 3 м, лк					
Диаметр светового пятна, м	3	-	3	3	
Потребляемая мощность, Вт	150	150	150	110	
Масса светильников, кг	4	6,7	2,5	1,1	
Габаритные размеры, мм	80×200	460×125×230	120×75×80	370×190×35	
Срок службы, ч	200	12000	250	100000	
Наличие вредных веществ:					
Стекло	Да	Да	Да	Нет	
Ртуть	да	Да	нет	Нет	

Анализ табл. 1.3. показывает, что уровень освещенности от LEDсветильника был ниже, но высокая надежность, экологичность, простота говорили о перспективности использования этих световых приборов.

Основные современные материалы, используемые в кристаллах светодиодов:

InGaN- синие, зеленые и ультрафиолетовые светодиоды высокой яркости;

AlGaInP - желтые, оранжевые и красные светодиоды высокой яркости;

AlGaAs - красные и инфракрасные светодиоды;

GaP – желтые и зеленые светодиоды.

На рис. 1.13 показан схема развития искусственных источников сета.

Сравнительный анализ энергоэффективности источников света

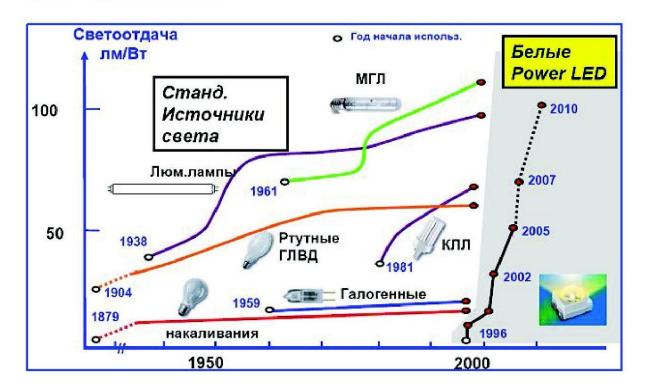


Рисунок 1. 13. Анализ развития искусственных источников света

В последнее время появились СД белого излучения, которое получают либо путем совмещения кристаллов с излучением трех основных цветов (красного, зеленого и синего) в одном корпусе, либо путем преобразования синего излучения нитрида галлия в белое с помощью люминофоров.

В таблице 1.4 приведено сравнение некоторых источников излучения.

Таблица 1. 4. Сравнение некоторых источников излучения

Общий вид	Описание	Рабочая температу- ра, °C	Срок службы, ч	Светоот- дача, лм/Вт	Цветовая температу- ра, К
	Ртутные лампы высокого давле- ния (ДРЛ)	~700	7000– 10000	40–60	6800–7000

	Ртутные вольфрамовые лампы высокого давления (ДРВ)	~700	1000–3000	10–30	4000–6000
Particular in the state of the	Линейные люми- несцентные лампы (ЛЛ)	<50°C	5000– 20000	40–90	2100–25000
=======================================	Линейные люми- несцентные лампы (ЛЛ)	<60	5000– 12000	40–90	2700–25000
	Компактные энергосберегающие лампы (КЛЛ)	<60	5000- 10000	40–65	2100–25000
	Ультрафиолетовые лампы черного света (UVA)	<50	2000– 20000	1–3	Длина вол- ны 350–380нм
	Металлогалогенные лампы (МГЛ – ДРИ)	~450	5000– 12000	70–120	2700–25000

Натриевые лампы высокого давле- ния (ДНаТ)	~400	10000– 30000	70–150	1900–2100
Зеркальные натриевые лампы высокого давления (ДНаЗ)	~400	~400 10000-30000		1900–2100
Натриевые лампы низкого давления		5000-7000	100–190	Длина вол- ны моно 590нм
Светодиоды (LED)	<30°C	50000- 100000	10–100	Длина вол- ны 300–800нм
Светодиодные мо- дули (матрицы)	<30°C	50000- 100000ч	10- 100лм/вт	Длина вол- ны 300–800нм
Светодиодные лампы, имеющие цоколи — как у ламп накаливания		25000- 100000ч	10– 100лм/вт	Длина вол- ны 300–800нм

Разработкой и выпуском светодиодных систем для облучения меристемных растений занимается нидерландская фирма flowmagic. В фитоустановках используются LED дневного света (рис.1.14), мягкого белого (рис.1.15), теплого белого (рис.1.16), синего (рис.1.17), а также красного света (рис.1.18) [99].

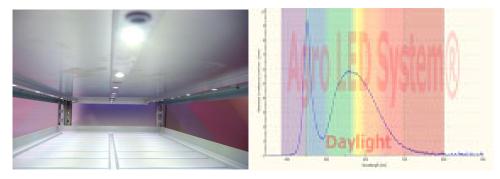


Рисунок 1. 14 Облучательная установка flowmagic со светодиодами дневного света

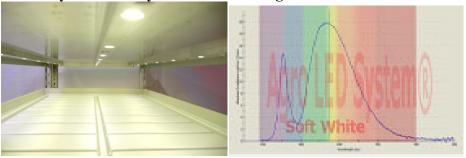


Рисунок 1. 15 Облучательная установка flowmagic с LED мягкого белого света

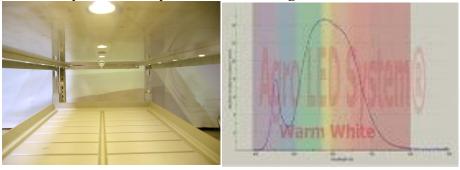


Рисунок 1. 16. Облучательная установка flowmagic с LED тёплого белого света

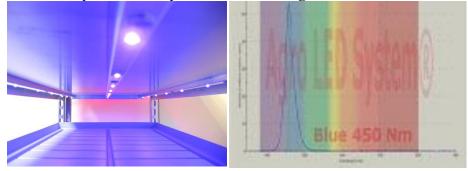


Рисунок 1. 17. Облучательная установка flowmagic со светодиодами синего света

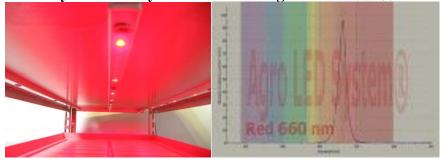


Рисунок 1. 18. Облучательная установка flowmagic со светодиодами красного света

В настоящее время светотехническая промышленность выпускает широкий ассортимент светодиодных ламп для растений, которые широко используются не только в промышленных теплицах, но и в домашних условиях (табл. 1.5).

Таблица 1. 5. Сравнение некоторых светодиодных источников по [127]

Параметры	Consignment same Am provided To			umann, umann	
Мощность, Вт	12	18	100	120	
Количество диодов	1 COB	18 SMD	-	112	
Мощность диодов, Вт	12	18	-	Одного -1 BтLED Grow Light	
Экономия потребления электроэнергии, %	65	65	55	55	
Спектральные характеристики	Red 660 nm; Blue 440nm в соотно- шении 5:1	Red 660 nm; Blue 440nm в соотноше- нии 5:1	Red 660 nm, Blue 440nm, для 8:1 и Red 660 nm: Or- ange 610 nm: Blue 440 nm: UV 400 nm для 6:1:1:1	Red 660 nm; Blue 440nm всоотнош/ 8:1 и Red 660 nm:IR 700 nm: Blue 440 nm: UV 400 nm: White 6500K дляв- соотн. 6:1:1:1	
Срок службы, час	до 50 000	до 50 000	до 50 000	до 50 000	
Освещаемая площадь	0,5 м ² при высоте под- веса 0,7 м	0,7 м ² при высоте подвеса 0,9 м	1.3 м ² при высоте подвеса 2 метра. 1 м ² при высоте подвеса 1,2 м	2 м² при высоте подвеса 2 м; 0.9 1.2 м² при высоте подвеса 1,2 м	
Рабочая температура, ⁰ С	-20 ~ +50	-20 ~ +50	-20 ~ +50	-20 ~ +50	
Вес, кг	0,205	0,305	4	4	
Степень защиты	IP50	IP50	IP50	IP50	
Цоколь	E27	E27			
Угол рассеивания	120° не тре- бует установ- ки отражате- лей		120° не требует установки отражателей	120°, не требует установки отражателей	
Размеры	100x50	130x120	460х120х70 (высота*	400х212х60 (высо- та*	
(высота* длина), мм	(высота* дли- на),	(высота* длина)	*ширина*глубина)	*ширина*глубина)	
	Для подключения не требуется ИЗУ, ПРА	Для подключения не требуется ИЗУ, ПРА		Для подключения не требуется ИЗУ, ПРА	
				При использованиис- ветодиодной лампы для растений LED Growlight 120 нижние	

				ярусы листвы получа- ют достаточное коли- чество света для гене- рации обильного цве- тения
Стоимость, руб.	1 450	2 499	7 900	7 800
Удельная стоимость, Вт/руб.	0,0104	0,0072	0,0127	0,0154
Руб/Вт	120,83	138,83	790	65

В проанализированных сине—красных LED – облучательных установках для растений спектр изменяется в ручную по желанию оператора. Поэтому целесообразно использовать программируемые логические контроллеры, разработать для них алгоритм управления, позволяющий поддерживать требуемые дозы спектральных составляющих зоны ФАР для получения максимальной продуктивности меристемного картофеля и значительную экономию электрической энергии.

ВЫВОДЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 1. Анализ специальной отечественной и зарубежной литературы показал, что имеется широкий ассортимент фитоустановок как с разрядными лампами, так и на базе LED, которые эффективно используются в защищенном грунте.
- 2. На продуктивность растений, в т.ч. и на фотосинтез в первую очередь оказывает влияние доза спектральных составляющих зоны ФАР, далее температура воздуха и почвы, содержание СО₂ и т.д. Грамотно управляя LED фитоустановками с помощью программируемых логических контроллеров можно получать требуемую дозу спектральных составляющих зоны ФАР.
- 3. В существующих сине—красных LED фитоустановках спектр изменяется вручную по желанию оператора. Поэтому целесообразно разработать алгоритм управления программируемым логическим контроллером, позволяющий изменять спектральный состав зоны ФАР для получения наибольшего выхода продукции при уменьшении затрат.

<u>Целью работы</u> 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.

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 фотосинтетичеки 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, позволяющий имитировать наиболее эффективный спектр излучения, с использованием инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys».
- 5. Провести лабораторные и производственные испытания и выполнить технико-экономическое обоснование применения LED фитоустановок при выращивании меристемного картофеля.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ

2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Одновременно с этим растения, как показывают исследования биологов, 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 иметь четкие представления о том из какой части земного шара происходит это растение для того, чтобы создать условия близкие к исторической родине [65, 88, 124].

Обзор специальной биологической и агрономической литературы показал, что глубокое воздействие на биологические особенности овощных растений, которые произрастают у нас в стране, оказывает их место происхождения [81, 144]. Картофель впервые стал возделываться в субтропиках и тропиках. Климатические условия нашей страны вынудили картофель приспосабливаться к ним, что выражается в приобретении новых свойств, которых не имели их предки. Поэтому для получения высокой продуктивности этой культуры необходимо смоделировать спектральный состав Перу, Эквадора и т д., где первоначально произрастало растение [36].. При этом необходимо принимать во внимание, что растение является аккумулятивным объектом, т.е. его развитие связно с дозой облучения.

Ввиду того, что исторической родиной картофеля являются южноамериканские страны Перу, Эквадор, Боливия, то в диссертационной работе предлагается провести анализ изменения доз спектральных составляющих зоны ФАР для южноамериканских стран и для сравнения взять Краснодарский край - основную житницу России.

Анализ специальной литературы показал, что до 95% урожаяв открытом грунте формируется за счет фотосинтетической деятельности растений. К.А.

Тимирязев считал, что предел плодородия почвы определяется не количеством вносимых удобрений и подаваемой воды, а количеством световой энергии, поступающей от солнца, которую поглощают растения с помощью зеленого пигмента хлорофилла, преобразующий солнечную энергию в химическую энергию органических соединений и накопление массы растения [145, 146, 147]. Только солнечная радиация является энергетической основой фотосинтеза, транспирации, поглощения и передвижения элементов минерального питания и ассимилянтов, именно приход солнечной энергии или доза спектральных составляющих зоны ФАР формирует тепловой, водный и воздушный режимы почвы и растений в течение всей их вегетации [144].

В виду того, что при формировании урожайности культур доминирующем фактором параметров микроклимата является доза спектральных составляющих зоны фотосинтетически активной радиации (ФАР), то целесообразно провести анализ доз спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения для исторической родины картофеля на примере государства Перу со столицей Лима, имеющей координаты 87° ю.ш. и 13° з.д, и для Краснодарского края (Краснодар 45° с.ш. и 38° в.д.) для дальнейшего обоснования наиболее эффективного сочетания доз спектральных составляющих для разрабатываемого LED фитоисточника излучения, позволяющего получить максимальную продуктивность меристемного картофеля. На основании полученных результатов необходимо научно обосновать и разработать наиболее эффективную LED фитоустановку.

Поэтому необходимо разработать математическую модель, позволяющую обосновать наиболее эффективные дозы спектральных составляющих зоны ФАР получения максимальной продуктивности меристемного картофеля.

2.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПОЗИЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Поглощение листьями оптического излучения зависит от его спектрального состава, толщины листа, внутреннего строения и состояния его поверхности, а также от состава и концентрации в листе пигментов. Зеленый лист растения поглощает 80...90% падающего на него суммарного фотосинтетически активного излучения, отражает 5...10 % и примерно столько же пропускает. Из всей энергии, падающей на растения, примерно только 2% ее используется на фотосинтез, остальная поглощенная энергия излучения превращается в растении в теплоту. Для получения хорошо развитых растений и высокой продуктивности фотосинтеза лампы фитоустановок должны иметь не только спектр излучения в диапазоне 300...750 нм, но обеспечивать требуемую дозу каждой спектральной составляющей [68, 69].

Для анализа составляющих спектра солнечного излучения зоны ФАР, а также дозы каждой спектральной составляющей солнечного излучения необходимо проанализировать перемещение Солнца по небосводу для этого географического пояса.

Солнце ежедневно перемещается по небосводу. Момент верхней кульминации Солнца — середина дня. На экваторе верхняя точка кульминации Солнца по отношению к горизонту постоянна не только каждый день, но и в течение года. По направлению к Северному полюсу точка кульминации Солнца меняется ежедневно. Если Солнце находится на экваторе, то спектр падающих лучей практически не искажается. Для нашей северной широты угол нахождения Солнца по отношению к горизонту уменьшается, и атмосфера, работая как призма, преломляет видимый солнечный спектр и изменяет его по сравнению с экватором.

Таким образом, спектр солнечного излучения зависит от высоты стояния (склонения Солнца), т. е. от угла между экватором и воображаемой ли-

нией, соединяющей центры Земли и Солнца. Сезонное изменение угла склонения (δ) определяется как:

$$\delta = 23,45^{0} \sin \left[\frac{360}{365} (d - 81) \right],$$
 (2.1)

где d - день года (1 января принимается за единицу).

Склонение положительно, когда в северном полушарии лето и отрицательно, когда там зима. Склонение достигает максимума, равного 23.45° 22 июня (летнее солнцестояние в северном полушарии) и минимума, -23.45°, 22 декабря (зимнее солнцестояние в северном полушарии)

Естественная облученность, так же, как и ее спектральный состав, зависит от высоты стояния солнца над горизонтом (табл. 2.1). Солнечный луч, проходя через земную атмосферу, проделывает различной длины путь в зависимости от высоты солнца над горизонтом в данный момент. Чем ниже солнце над горизонтом, тем меньше солнечного излучения доходит до поверхности земли. Если солнце находится на самом горизонте (0,5°), то путь, проходимый солнечным лучом в атмосфере, будет в 35 раз длиннее, чем при положении солнца в зените (рис. 2.1).

Таблица 2. 1 Зависимость длины пути солнечного луча от высоты солнца [70, 73].

Высота солнца над горизонтом	90°	60°	30°	10°	5°	3°	0,5°
Относительная длина пути солнечного	1	1.2	2	5.6	10.4	15 /	35 /
луча в атмосфере	1	1,2	2	3,0	10,4	15,4	33,4

Спектральный состав солнечного излучения во многом зависит от высоты стояния солнца над горизонтом. Если солнце находится низко (летом в начале и конце дня, а зимой весь день), то в его излучении преобладает инфракрасное и красное. При этом синее, фиолетовое и ультрафиолетовое излучения практически отсутствуют.

Глубокий анализ изменения составляющих спектра солнечного излучения при изменении угла стояния от 0^0 до 90^0 проведен профессором Клешниным А.Ф. и показан в табл. 2.2 [70, 73].

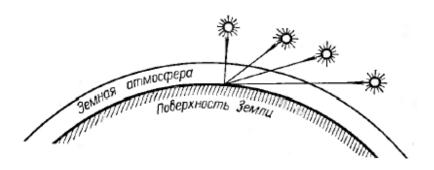


Рисунок 2. 1. Относительная длина пути солнечного луча в атмосфере в зависимости от высоты солнца над горизонтом

Таблица 2. 1. Изменение спектрального состава солнечного излучения от высоты стояния Солнце в % по Клешнину А.Ф.[70]

Dил иолидония			Выс	ота солн	ца, град		
Вид излучения	0,5	5	10	20	30	50	90
Видимое 400760 нм в том числе:	31,2	38,6	41	42,7	43,7	43,9	45,2
• фиолетовое 400440 нм	0	0,6	0,8	2,6	3,8	4,5	5,4
• синее излучение 440490 нм	0	2,1	4,6	7,1	7,8	8,2	9
• зеленое излучение 490565 нм	1,7	2,7	5,9	8,3	8,8	9,2	9,2
• желтое излучение 565595 нм	4,1	8	10	10,2	9,8	9,8	10,1
красное излучение 595760 нм	25,4	25,2	19,7	14,5	13,5	12,2	11,5
Ультрафиолетовое 295400 нм	0	0,4	1	2	2,7	3,2	4,7
Инфракрасное более 760 нм	68,8	61	58	55,3	54,6	52,9	50,1
Общее излучение солнца в оптическом диапазоне 400780 нм, %	100	100	100	100	101	100	100

По данным табл. 2.1 нами была построена диаграмма изменения спектрального состава солнечного излучения (рис. 2.2).

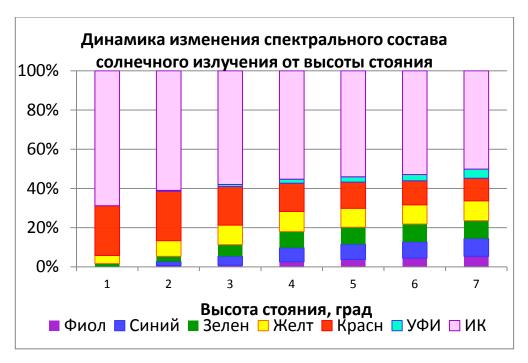


Рисунок 2. 2. Динамика изменения спектрально состава солнечного излучения в зависимости от высоты Солнца по Клешнину А.Ф. [70]

На рис. 2.2. по оси абсцисс номер столбика соответствует своему углу солнцестояния в табл. 2.2. На основании данных, приведенных в табл. 2.1, нами было найдено процентное соотношение составляющих видимого излучения (табл. 2.2).

Таблица 2. 2. Процентное соотношение составляющих видимого излучения от высоты стояния

Номер	Высота			Вид и	злучен	ия, %			
стол- бика к	солнцестоя-	Види-	Фиолето-	Си-	3e-	Жел-	Крас	УФ	ИК
рис.2.2	ния, град	мое	вое	нее	лен	тое	ное	, Ψ	TIIX
1.	0,5	31,2	0,0	0,0	1,7	4,1	25,4	0,0	69
2.	5	38,6	0,6	2,1	2,7	8,0	25,2	0,4	61
3.	10	41,0	0,8	4,6	5,9	10,0	19,7	1,0	58
4.	20	42,7	2,6	7,1	8,3	10,2	14,5	2,0	55
5.	30	43,7	3,8	7,8	8,8	9,8	13,5	2,7	55
6.	50	43,9	4,5	8,2	9,2	9,8	12,2	3,2	53
7.	90	45,2	5,4	9	9,2	10,1	11,5	4,7	50,1

На практике только на Экваторе угол солнцестояния достигает 90⁰. Поэтому **необходимо определить** динамику изменения спектрального состава излучения Солнца для стран Перу, Боливии и Эквадора, а также для Краснодара в течение дня. На исторической родине картофеля государства Перу Солнце ежедневно поднимается над горизонтом почти до 78°, в его излучении наряду с красным, желтым и зеленым имеется значительное количество синего, фиолетового и ультрафиолетового (рис.2.3).

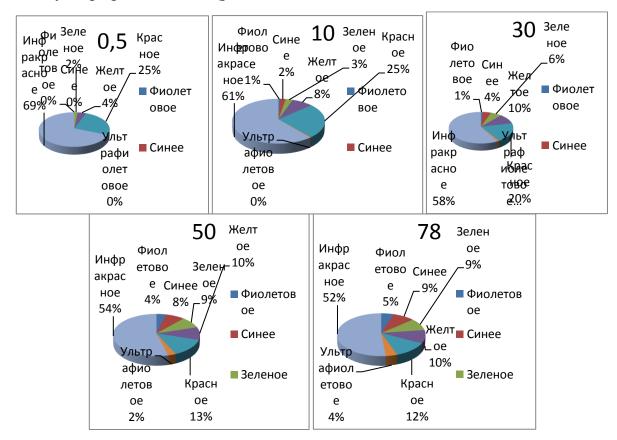


Рисунок 2. 3 - Спектральный состав солнечного излучения в зависимости от высоты стояния солнца над горизонтом Перу

На юге нашей страны - на широте Краснодара спектр в излучения Солнца различен в весенние, летние месяцы (рис. 2.4).

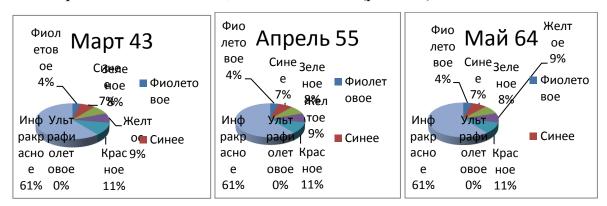


Рисунок 2. 4. Спектральный состав солнечного излучения в зависимости от высоты стояния солнца над горизонтом, весна Россия, Краснодар

Большое значение для растений имеет продолжительность светлого периода суток – фотопериодизм. Астрономическая длина дня в столице Перу, Лима на протяжении всего года не изменяется и составляет примерно 12 ч. На юге России в Краснодаре длина дня колеблется от 10 до 16 ч.

Анализ специальной агрономической и биологической литературы, литературы по программированию урожаев показал, что на процесс фотосинтеза и последующую продуктивность растений существенно влияет доза Φ AP ($H_{\Phi AP}$), которая определяется как

$$H_{\Phi AP} = E \cdot t, \qquad (2.2)$$

где E- излучение (облученность /освещенность), t - время действия этого излучения.

Поэтому целесообразно найти и сравнить дозы спектральных составляющих зоны ФАР на широте Перу и Краснодарского края.

2.2.1 РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ И ЭКСПОЗИЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ **ФАР** СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ **К**РАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Для нахождения доз спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения в соответствии с формулой (2.2) необходимо найти их продолжительность или экспозицию.

По специальным программам, расположенным на сайте http://planetcalc.ru/300/, нами были проведены расчеты по определению высоты стояния с марта по сентябрь и изменению продолжительности дня для города Краснодара, имеющего следующие координаты: 45°2' с.ш. и 38°59' в.д. [41]. Полученные результаты показаны в табл. 2. 3.

Таблица 2. 3. Определение продолжительности дня для г. Краснодара

Дата	Время по Гринвичу		Продол- житель-	Время местное		Истин- ный пол-	Азимут,	Высотка солнца над	
	Boc-	Заката	ность дня,	Boc-	Заката	день, ча-	рад	горизонтом,	
		хода	Jakata	часы	хода	Jakata	сы		град
	1.03.15	4:03	15:10	11:07	7:03	18:10	12:36	179, 83	37,18

10.03.15	3:46	15:22	11:36	6:46	18:22	12:34	179,82	40,65
20.03.15	3:28	15:35	12:07	6:28	18:35	12:31	180,78	44,59
1.04.15	3:05	15:50	12:45	6:05	18:50	12:27	179,55	49,30
10.04.15	2:49	16:01	13:12	5:49	19:01	12:25	179,76	52,72
20.04.15	2:31	16:15	13:43	5:31	19:15	12:22	179,49	56,30
1.05.15	2:14	16:28	14:14	5:14	19:28	12:21	179,87	59,88
10.05.15	2:01	16:39	14:38	5:01	19:39	12:21	179,74	62,45
20.05.15	1:50	16:50	15:00	4:50	19:50	12:21	179,69	64,83
1.06.15	1:55	17:04	15:09	4:55	20:04	12:21	179,54	66,95
10.06.15	1:37	17:09	15:32	4:37	20:09	12:23	179,78	67,93
20.06.15	1:36	17:14	15:38	4:36	20:14	12:25	179,71	68,39
22.06.15	1:37	17:14	15:37	4:37	20:14	12:25	179,44	68,40
1.07.15	1:40	17:14	15:34	4:40	20:14	12:27	179,51	68,11
10.07.15	1:46	17:11	15:25	4:46	20:11	12:28	179,20	67,26
20.07.15	1:56	17:04	15:09	4:56	20:04	12:29	179,20	65,72
1.08.15	2:08	16:52	14:44	5:08	19:52	12:30	179,76	63,11
10.08.15	2:19	16:39	14:20	5:19	19:39	12:28	179,24	60,68
20.08.15	2:30	16:24	13:54	5:30	19:24	12:27	179,71	57,58

В табл. 2.3 под истинным полднем понимается момент верхней кульминации центра Солнца для данной точки земной поверхности [41].

Из табл. 2.3 видно, что продолжительность светового дня с 1 марта по 22 июня на широте Краснодара возрастает с 11 час до 15,5 час и далее уменьшается к концу августа до 13,5 час.

Для расчета пути прохождения Солнца за период времени года, указанный в табл. 2.3 была определена высота Солнца над горизонтом при восходе и закате по методике, изложенной на сайте Азимут и высота солнца над горизонтом http://www.planetcalc.com/320/[3]. Полученные данные показаны в табл. 2.4.

Таблица 2. 4. Результаты расчета высоты Солнца над горизонтом при восходе и закате для широты Краснодара

Дата	Продолжи- тельность	Время местное		над гој	ка солнца ризонтом, рад	Истин- ный пол-	Высотка солнца над
	дня, часы	Вос- хода	Заката	Восхо-	Заката	день, ча- сы	горизонтом, град
1.03.15	11:07	7:03	18:10	-0,01	-0,86	12:36	37,18
10.03.15	11:36	6:46	18:22	-1,03	-0,84	12:34	40,65
20.03.15	12:07	6:28	18:35	-0,93	-0,83	12:31	44,59
1.04.15	12:45	6:05	18:50	-1,01	-0,78	12:27	49,30
10.04.15	13:12	5:49	19:01	-0,91	-0,71	12:25	52,72
20.04.15	13:43	5:31	19:15	-0,99	-0,94	12:22	56,30

1.05.15	14:14	5:14	19:28	-0,98	-0,80	12:21	59,88
10.05.15	14:38	5:01	19:39	-0,95	-0,79	12:21	62,45
20.05.15	15:00	4:50	19:50	-0,88	-0,71	12:21	64,83
1.06.15	15:09	4:55	20:04	1,29	-1,02	12:21	66,95
10.06.15	15:32	4:37	20:09	1,80	-0,76	12:23	67,93
20.06.15	15:38	4:36	20:14	-0,96	-0,83	12:25	68,39
22.06.15	15:37	4:37	20:14	-0,87	-0,76	12:25	68,40
1.07.15	15:34	4:40	20:14	-1,94	-1,22	12:27	68,11
10.07.15	15:25	4:46	20:11	-0,95	-0,70	12:28	67,26
20.07.15	15:09	4:56	20:04	-0,64	-0,54	12:29	65,72
1.08.15	14:44	5:08	19:52	-0,92	-0,78	12:30	63,11
10.08.15	14:20	5:19	19:39	-0,83	-0,85	12:28	60,68
20.08.15	13:54	5:30	19:24	-0,98	-0,76	12:27	57,58

Из табл. 2.4 видно, что высота солнца над горизонтом с 1 марта по 22 июня возрастает с 37^0 до 68^0 и далее уменьшается к концу августа до 57^0 . Используя данные, полученные нами в табл. 2.4, находим скорость движения солнца за исследуемый период, и полученные результаты приводим в табл. 2.5.

Таблица 2. 5. Определение скорости движения Солнца в течение исследуемого времени года для широты Краснодара

Дата	Высотка солнца над горизон-	Продолжительность дня, часы	Скорость	солнца
	том, град	Am, web	град/мин	град/час
01.03.2015	37,18	11,12	0,11	6,69
10.03.2015	40,65	11,60	0,12	7,01
20.03.2015	44,59	12,12	0,12	7,36
01.04.2015	49,3	12,75	0,13	7,73
10.04.2015	52,72	13,20	0,13	7,99
20.04.2015	56,3	13,72	0,14	8,21
01.05.2015	59,88	14,23	0,14	8,41
10.05.2015	62,45	14,63	0,14	8,54
20.05.2015	64,83	15,00	0,14	8,64
01.06.2015	66,95	15,15	0,15	8,84
10.06.2015	67,93	15,53	0,15	8,75
20.06.2015	68,39	15,63	0,15	8,75
22.06.2015	68,4	15,62	0,15	8,76
01.07.2015	68,11	15,57	0,15	8,75
10.07.2015	67,26	15,42	0,15	8,73
20.07.2015	65,72	15,15	0,14	8,68
01.08.2015	63,11	14,73	0,14	8,57
10.08.2015	60,68	14,33	0,14	8,47
20.08.2015	57,58	13,90	0,14	8,28

Из табл. 2.5 видно, что скорость солнца с 1 марта по 22 июня возрастает с 11 град/мин. до 15 град/мин и далее уменьшается к концу августа до 14 град/мин.

На основании данных, полученных в табл. 2.5, было найдено **время** экспозиции каждой спектральной составляющей для того, чтобы можно было в дальнейшем найти дозу требуемого спектрального излучения по формуле (2.2). Динамика изменения спектрального состава излучения и время движения солнца приведены в табл. 2. 6 и 2.7.

Таблица 2. 6. Динамика изменения спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения и длительности их экспозиции в зависимости от времени года для Краснодара

1 марта Угол	Время до этого угла	Экспозиция для опреде-			Вид изл	учения		
солнце-	солнце-	ления дозы,		1	1	I		
стояния	стояния,	мин	Фиолето-	Синее	Зеленое	Желтое	Красное	УФИ
Crossinsi	мин0		вое (ФИ)	(СИ)	(3H)	(ЖИ)	(КИ)	уФИ
0,5	4,48	4,48	0,0	0,0	1,7	4,1	25,4	0,0
5	44,85	40,36	0,6	2,1	2,7	8,0	25,2	0,4
10	89,70	44,85	0,8	4,6	5,9	10,0	19,7	1,0
20	179,40	89,70	2,6	7,1	8,3	10,2	14,5	2,0
30	269,10	89,70	3,8	7,8	8,8	9,8	13,5	2,7
37	331,89	62,79						
1 апреля	Время до	Эксплозия			Вид изл	ульния		
Угол	этого угла	для опреде-			рид изл	учсния		
солнце-	солнце-	ления дозы,	Фиолето-	Синее	Зеленое	Желтое	Красное	
стояния	стояния,	мин	вое (ФИ)	(СИ)	(ЗИ)	(ИЖ)	(КИ)	УФИ
0,5	мин 3,76	3,76	0,0	0,0	1,7	4,1	25,4	0,0
5	38,79	35,04	0,6	2,1	2,7	8,0	25,2	0,4
10	77,59	38,79	0,8	4,6	5,9	10,0	19,7	1,0
20	155,17	77,59	2,6	7,1	8,3	10,0	14,5	2,0
30	232,76	77,59	3,8	7,1	8,8	9,8	13,5	2,7
40	287,07	54,31	3,0	7,0	0,0	7,0	13,3	2,7
50	380,17	93,10						
60	300,17	75,10	_	_	_	_	_	-
1 мая	Время до	- Эксплозия	_	-	-	-	-	_
Угол	этого угла	для опре-			Вид излу	/чения		
солнце-	солнце-	деления	Фиолето-	Синее	Зеленое	Желтое	Красное	
стояния	стояния,	дозы, мин	вое (ФИ)	(СИ)	(ЗИ)	(ЖИ)	(КИ)	УФИ
	МИН		,	(-)	(-)	,	()	
0,5	3,47	3,47	0,0	0,0	1,7	4,1	25,4	0,0
5	35,65	32,18	0,6	2,1	2,7	8,0	25,2	0,4
10	71,31	35,65	0,8	4,6	5,9	10,0	19,7	1,0
20	138,82	67,52	2,6	7,1	8,3	10,2	14,5	2,0
30	213,93	75,10	3,8	7,8	8,8	9,8	13,5	2,7
37	263,84	49,92						
50	356,55	92,70						
60	427,86	71,31		-				

Таблица 2. 7. Время движения солнца до определенной точки солнцестояния в зависимости от времени года для Краснодара

Угол	1 ма	рта	1 ап	реля	1 1	мая	1 ил	Р	1 иг	оля	1 аві	густа
солн-	Время до	Эксплозия	Время до	Эксплозия	Время до	Эксплозия	Время до	Эксплозия	Время до	Эксплозия	Время до	Эксплозия
ния,	этого угла	для опре-	этого угла	для опре-	этого угла	для опреде-	этого угла	для опреде-	этого угла	для опре-	этого угла	для опре-
град	солнце-	деления	солнце-	деления	солнце-	ления дозы,	солнце-	ления дозы,	солнце-	деления	солнце-	деления
	стояния, мин	дозы, мин	стояния, мин	дозы, мин	стояния, мин	МИН	стояния, мин	МИН	стояния, мин	дозы, мин	стояния, мин	дозы, мин
	WHII		WIFIII		WIFIII		Willi		WIIII		WIFIII	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	4,48	4,48	3,76	3,76	3,47	3,47	3,39	3,39	3,43	3,43	3,50	3,50
5	44,85	40,36	38,79	35,04	35,65	32,18	33,94	30,55	34,28	30,85	35,02	31,52
10	89,70	44,85	77,59	38,79	71,31	35,65	67,89	33,94	68,57	34,28	70,04	35,02
20	179,40	89,70	155,17	77,59	138,82	67,52	135,77	67,89	137,13	68,57	140,07	70,04
30	269,10	89,70	232,76	77,59	213,93	75,10	203,66	67,89	205,70	68,57	210,11	70,04
37	331,89	62,79	287,07	54,31	263,84	49,92	251,18	47,52	253,69	48,00	259,13	49,03
50	1	1	380,17	93,10	356,55	92,70	339,43	85,74	342,83	89,14	350,18	91,05
60	1	1	-	-	427,86	71,31	407,32	67,89	411,39	68,57	420,22	70,04
63	-	-	-	-	-	-	427,68	20,37	431,96	20,57	441,23	21,01
67	-	-	-	-	-	-	454,84	47,52	459,39	27,43	-	-
68	-	-	-	-	-	-	-	-	466,25	58,93	-	-

2.2.2. РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПОЗИЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ФАР СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ РОДИНЫ КАРТОФЕЛЯ – ПЕРУ

Исторической родиной картофеля считаются тропические страны Перу, Боливия, Эквадор, которые располагаются на широте 87...83⁰ южной широты [3. 72]. С помощью специальных программ на сайте http://planetcalc.ru/300мы рассчитали продолжительность дня с марта по сентябрь (табл. 2.8)

Таблица 2. 8. Расчет продолжительности светового дня для Лимы – столицы Перу

Дата	Bocx	од сол	пнца,	Захо	од сол	нца,	Солн		Продол- житель-	Прямые солнеч- ные лучи дости-
	час	мин	час	час	мин	час	час	град	ность дня, час	гают поверхно- сти земли, час
01 янв.	5	47	5,78	12,82	36	18,60	12,19	76,6	12,82	10,9
10.янв	5	52	5,87	12,78	39	18,65	12,26	76,6	12,78	11
20.янв	5	57	5,95	12,73	41	18,68	12,32	76,6	12,73	11
01.фев	6	3	6,05	12,45	30	18,50	12,28	76,6	12,45	11
10.фев	6	6	6,10	12,53	38	18,63	12,37	76,6	12,53	11
20.фев	6	9	6,15	12,43	35	18,58	12,37	76,6	12,43	11
01 мар	6	9	6,15	12,37	31	18,52	12,33	76,6	12,37	11
10 мар	6	2	6,03	12,23	16	18,27	12,15	76,6	12,23	11
20 мар	6	3	6,05	12,12	10	18,17	12,11	76,6	12,12	11
1 апр	6	3	6,05	11,98	2	18,03	12,04	76,6	11,98	11
10 апр	6	3	6,05	11,90	57	17,95	12,00	76,6	11,90	11
20 апр	6	4	6,07	11,80	52	17,87	11,97	76,6	11,80	11
1 мая	6	5	6,08	11,70	47	17,78	11,93	76,6	11,70	11
10 мая	6	7	6,12	17	44	17,73	11,93	76,6	11,62	11
20 мая	6	9	6,15	17	42	17,70	11,93	76,6	11,55	11
1 июня	6	12	6,20	17	41	17,68	11,94	76,6	11,48	11
10 июн	6	14	6,23	17	42	17,70	11,97	76,6	11,47	11
20 июн	6	17	6,28	17	44	17,73	12,01	76,6	11,45	11
1 июля	6	19	6,32	17	46	17,77	12,04	76,6	11,45	11
10 июл	6	20	6,33	17	49	17,82	12,08	76,6	11,48	11
1 авг	6	17	6,28	17	53	17,88	12,08	76,6	11,60	11
10 авг	6	14	6,23	17	55	17,92	12,08	76,6	11,68	11
20 авг	6	9	6,15	17	55	17,92	12,03	76,6	11,77	11
01.сен	6	12	6,20	18	4	18,07	12,13	76,6	11,87	11
10.сен	5	6	5,10	18	4	18,07	11,58	76,6	12,97	10,9
20.сен	5	59	5,98	18	4	18,07	12,03	76,6	12,08	11
01.окт	5	52	5,87	18	4	18,07	11,97	76,6	12,20	11
10.окт	5	46	5,77	18	4	18,07	11,92	76,6	12,30	11
20.окт	5	41	5,68	18	5	18,08	11,88	76,6	12,40	11
01.ноя	5	36	5,60	18	8	18,13	11,87	76,6	12,53	11
10.ноя	5	33	5,55	18	11	18,18	11,87	76,6	12,63	11
20.ноя	5	33	5,55	18	15	18,25	11,90	76,6	12,70	11
01.дек	5	34	5,57	18	20	18,33	11,95	76,6	12,77	11
10.дек	5	36	5,60	18	25	18,42	12,01	76,6	12,82	11
20.дек	5	41	5,68	18	31	18,52	12,10	76,6	12,83	11

Из табл.2.8 видно, что средняя продолжительность дня с января по декабрь изменяется от 12 до 13 час. При этом в течение 11 часов круглый год прямые солнечные лучи достигают поверхности земли.

На основании полученных данных определяем скорость движения Солнца с марта по сентябрь (табл. 2.9).

Таблица 2. 9. Результаты расчета скорости движения Солнца для Лимы – столицы Перу

Лото	Высотка солнца над	Продолжитель-	Скорос	ть солнца
Дата	горизонтом, град	ность дня, часы	град/час	град/мин
01 Марта	76,6	12,37	6,19	0,10
10 Марта	76,6	12,23	6,26	0,10
20 Марта	76,6	12,12	6,32	0,11
1 апреля	76,6	11,98	6,39	0,11
10 апреля	76,6	11,90	6,44	0,11
20 апреля	76,6	11,80	6,49	0,11
1 мая	76,6	11,70	6,55	0,11
10 мая	76,6	11,62	6,59	0,11
20 мая	76,6	11,55	6,63	0,11
1 июня	76,6	11,48	6,67	0,11
10 июня	76,6	11,47	6,68	0,11
20 июня	76,6	11,45	6,69	0,11
<u> 1 июля</u>	76,6	11,45	6,69	0,11
10 июля	76,6	11,48	6,67	0,11
20 июля	76,6	11,53	6,64	0,11
1 августа	76,6	11,60	6,60	0,11
10 августа	76,6	11,68	6,56	0,11
20 августа	76,6	11,77	6,51	0,11
20.08.2015	76,6	11,87	6,46	0,11
01.сен	76,6	11,87	6,46	0,11
10.сен	76,6	12,97	5,91	0,10
20.сен	76,6	12,08	6,34	0,11
01.окт	76,6	12,20	6,28	0,10
10.окт	76,6	12,30	6,23	0,10
20.окт	76,6	12,40	6,18	0,10
01.ноя	76,6	12,53	6,11	0,10
10.ноя	76,6	12,63	6,06	0,10
20.ноя	76,6	12,70	6,03	0,10
01.дек	76,6	12,77	6,00	0,10
10.дек	76,6	12,82	5,98	0,10
20.дек	76,6	12,83	5,97	0,10
01.янв	76,6	12,82	5,98	0,10
10.янв	76,6	12,78	5,99	0,10
20.янв	76,6	12,73	6,02	0,10
01.фев	76,6	12,45	6,15	0,10
10.фев	76,6	12,53	6,11	0,10
20.фев	76,6	12,43	6,16	0,10

Из табл. 2.9 видно, что скорость движения Солнца практически не изменятся в течение всего года.

Таблица 2. 10. Время движения Солнца в зависимости от времени года для Лимы – столицы Перу

		5	Вид излучения					
Угол,	Время до	Экспозиция					Крас-	VAII
	этого уг-	для опреде- ления дозы,	Фиолет 40044	Синее 4404	Зеленое 490565	Желт 56559	ное	УФИ 29540
град	ла, мин	мин	40044 0 нм	4404 90 нм	490303 HM	50559 5 нм	595760	29340 0 нм
			O IIW	JO III	111/1	Jim	HM	O IIIVI
На 1 ма	-			0.0				0.0
0,5	4,84	4,84	0,0	0,0	1,7	4,1	25,4	0,0
5	48,43	43,59	0,6	2,1	2,7	8,0	25,2	0,4
10	96,87	48,43	1,5	4,6	5,9	10,0	19,7	1,0
20	193,73	96,87	2,6	7,1	8,3	10,2	14,5	2,0
30	290,60	96,87	3,8	7,8	8,8	9,8	13,5	2,7
40	387,47	96,87	4,2	7,9	9,0	9,8	12,8	2,9
50	484,33	96,87	4,5	8,2	9,1	9,8	12,2	3,2
60	581,20	96,87	4,9	8,3	9,2	9,9	12,1	3,7
70	678,07	96,87	5,1	8,6	9,2	10	12	4,1
80	774,93	96,87	5,3	8,7	9,2	10,1	11,6	4,5
90	871,80	96,87	5,4	9,0	9,2	10,1	11,5	4,7
На 1 ап	•							
0,5	4,69	4,69	0,0	0,0	1,7	4,1	25,4	0,0
5	46,93	42,24	0,6	2,1	2,7	8,0	25,2	0,4
10	93,86	46,93	1,5	4,6	5,9	10,0	19,7	1,0
20	187,73	93,86	2,6	7,1	8,3	10,2	14,5	2,0
30	281,59	93,86	3,8	7,8	8,8	9,8	13,5	2,7
40	375,46	93,86	4,2	7,9	9,0	9,8	12,8	2,9
50	469,32	93,86	4,5	8,2	9,1	9,8	12,2	3,2
70	657,05	93,86	5,1	8,6	9,2	10	12	4,1
80	750,91	93,86	5,3	8,7	9,2	10,1	11,6	4,5
90	844,78	93,86	5,4	9,0	9,2	10,1	11,5	4,7
На 1 ма								
0,5	4,58	4,58	0,0	0,0	1,7	4,1	25,4	0,0
5	45,82	41,24	0,6	2,1	2,7	8,0	25,2	0,4
10	91,64	45,82	1,5	4,6	5,9	10,0	19,7	1,0
20	183,29	91,64	2,6	7,1	8,3	10,2	14,5	2,0
30	274,93	91,64	3,8	7,8	8,8	9,8	13,5	2,7
40	366,58	91,64	4,2	7,9	9,0	9,8	12,8	2,9
50	458,22	91,64	4,5	8,2	9,1	9,8	12,2	3,2
60	549,87	91,64	4,9	8,3	9,2	9,9	12,1	3,7
70	641,51	91,64	5,1	8,6	9,2	10	12	4,1
80	733,16	91,64	5,3	8,7	9,2	10,1	11,6	4,5
90	824,80	91,64	5,4	9,0	9,2	10,1	11,5	4,7

В табл. 2.9 и 2.10 приведены полученные расчетным путем данные по длительности экспозиции спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения, с помощью которых будет рассчитана доза каждого излучения.

2.3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.3.1. РАСЧЕТ ДОЗЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ (КРАСНОДАРА)

На основании табл. 2.7 и 2.8 были построены графические зависимости, описывающие изменение каждой составляющей спектра излучения Солнца в зависимости от угла солнцестояния в марте месяце в Краснодаре (рис. 2. 5).

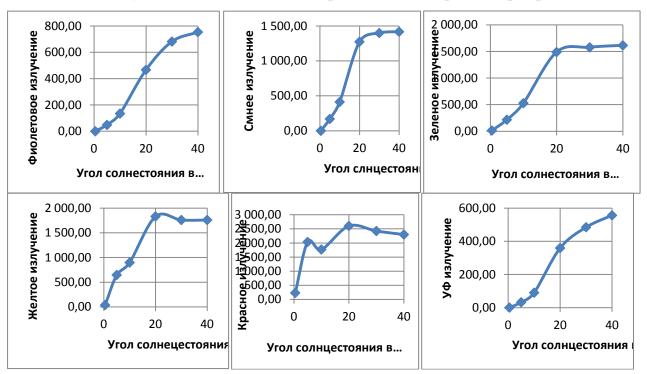


Рисунок 2. 5. Графические зависимости изменение каждой составляющей спектра излучения Солнца в зависимости от угла солнцестояния в марте в Краснодаре

С помощью пакета MS Excel были получены математические зависимости, описывающие изменение каждой составляющей спектра излучения Солнца в зависимости от угла солнцестояния для весенних месяцев. В качестве примера приведен расчет для марта месяца в Краснодаре.

Для фиолетового излучения при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,9979$ эта зависимость имеет вид

$$Y_{\Phi HOJI_MAP} = -0.0279x^3 + 1.4962x^2 + 3.6333x - 5.7068$$
 (2. 3)

где x - yгол стояния, град, от 0.5^0 до 40^0

Доза фиолетового излучения находится как площадь фигуры под графиком, описываемым уравнением (2.3) и которую находим как

$$H_{\Phi UOЛ_MAP} = \int_{0,5}^{40} (-0.0279 \cdot x^3 + 1.4962 \cdot x^2 + 3.6333 \cdot x - 5.7068) dx = \left(-0.0279 \cdot \frac{1}{4} \cdot x^4 + 1.4962 \cdot \frac{1}{3} \cdot x^3 + 3.6333 \cdot \frac{1}{2} \cdot x^2 + 5.7068 \cdot x\right) \Big|_{0,5}^{40} = 16 \ 974.28 - 6.22 = 16 \ 952.06$$
 у.е. Где $x - y$ гол стояния, град

Для синего излучения при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,9954$ эта зависимость имеет вид

$$Y_{CHH MAP} = 0.0056x^4 - 0.4875x^3 + 12.314x^2 - 35.574x + 33.94$$
 (2. 4)

Доза синего излучения находится как площадь фигуры под графиком, описываемым уравнением (2.4) и составляет

$$H_{\text{CUH_MAP}} = \int_{0,5}^{40} (0,0056 \cdot x^4 - 0,4875 \cdot x^3 + 12,314 \cdot x^2 - 35,574 \cdot x + 33,94 \, dx = 0,0056 \cdot 15 \cdot x5 - 0,4875 \cdot 14 \cdot x4 + +12,314 \cdot 13 \cdot x3 - 35,574 \cdot 12 \cdot x2 + 33,94 \cdot x | 0,540 = 662 \ 293,07 - 13,05 = 662 \ 280,02 \ \text{y.e.}$$

Для зеленого излучения при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,9962\,$ эта зависимость имеет вид

$$Y_{3EJI_MAP} = 0.0069x^4 - 0.5866x^3 + 14.354x^2 - 37.174x + 49.831$$
 (2. 5)

Доза зеленого излучения находится как площадь фигуры под графиком, описываемым уравнением (2.5) и составляет

$$H_{3EJI_MAP} = \int_{0,5}^{40} (0,0069 \cdot x^4 - 0,5866 \cdot x^3 + 14,354 \cdot x^2 - 37,174 \cdot x + 49,831 dx = 0,0069 \cdot 15 \cdot x5 - 0,5866 \cdot 14 \cdot x4 + +14,354 \cdot 13 \cdot x3 - 37,174 \cdot 12 \cdot x2 + 49,831 \cdot x | 0,540 = 44 \ 360,71 - 20,86 = 44 \ 339,85 \ y.e.$$

Желтое излучение при коэффициенте детерминации $R^2 = 0.983$ описывается зависимостью:

$$Y_{\text{ЖЕЛ_MAP}} = 0.0044x^4 - 0.3325x^3 + 5.5105x^2 + 73.698x + 40.512$$
 (2. 6)

Доза желтого излучения находится как площадь фигуры под графиком, описываемым уравнением (2.6) и составляет

 $H_{\text{ЖЕЛ_MAP}} = \int_{0,5}^{40} (0,0044 \cdot x^4 - 0,3325 \cdot x^3 + 5,5105 \cdot x^2 + 73,698 \cdot x + 40,512 dx = 0,0044 \cdot 15 \cdot x5 - 0,3325 \cdot 14 \cdot x4 + +5,5105 \cdot 13 \cdot x3 + 73,698 \cdot 12 \cdot x2 + 40,512 \cdot x | 0,540 = 55448,21 - 29,69 = 55418,52 \text{ y.e.}$

Красное излучение при коэффициенте детерминации $R^2 = 0.858$ описывается зависимостью:

$$Y_{KPAC\ MAP} = 0.1361x^3 - 11.338x^2 + 286.06x + 306.86$$
 (2.7)

Доза красного излучения находится как площадь фигуры под графиком, описываемым уравнением (2.7) и составляет

$$\begin{aligned} & \mathbf{H}_{\text{KPAC_MAP}} = \int_{0,5}^{40} (\ 0.1361 \cdot x^3 - 11.338 \cdot x^2 + 286.06 \cdot x + 306.86) \ dx = \Big(0.1361 \cdot 14 \cdot x^4 - 11.338 \cdot 13 \cdot x^3 + 286.06 \cdot 12 \cdot x^2 + 306.86 \cdot x \Big| \ 0.540 = 86429.07 \\ & -188.73 = 86240.34 \text{ y. e.} \end{aligned}$$

УФ излучение при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,9974$ описывается зависимостью:

$$Y_{Y\Phi H MAP} = 0.0012x^4 - 0.1122x^3 + 3.2673x^2 - 12.938x + 11.011$$
 (2. 8)

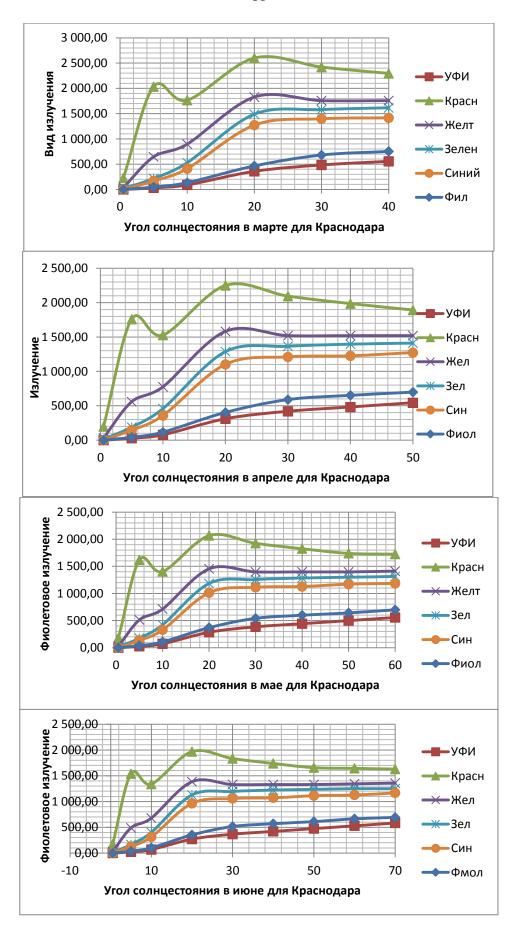
Доза УФ излучения находится как площадь фигуры под графиком, описываемым уравнением (2.8) и составляет

$$H_{\text{УФИ_MAP}} = \int_{0.5}^{40} (0.0012 \cdot x^4 - 0.1122 \cdot x^3 + 3.2673 \cdot x^2 - 12.938 \cdot x + 11.011 dx = 0.0012 \cdot 15 \cdot x5 + 0.1122 \cdot 14 \cdot x4 + 3.2673 \cdot 13 \cdot x3 - 12.938 \cdot 12 \cdot x2 + 11.011 \cdot x | 0.540 = 156 \ 176.44 - 4.03 = 156 \ 172.41 \ \text{y.e.}$$

$$Y_{\Phi HOJI_A\Pi P} = 0,0007x^4 - 0,0799x^3 + 2,6365x^2 - 6,8693x + 68959$$

$$R^2 = 0.9993$$

На рис. 2. 7 показаны расчетные зависимости изменения доз спектральных составляющих для Краснодара весной и летом по месяцам.



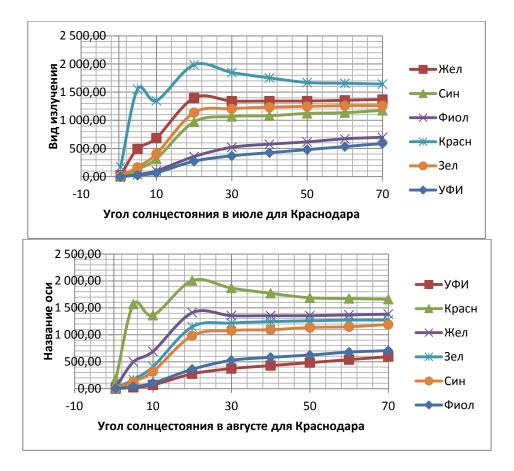


Рисунок 2. 6. Изменение доз спектральных составляющих по месяцам весной и летом для Краснодара

В табл. 2.11 приведены результаты расчета доз спектральных составляющих солнечного излучения для Краснодара по месяцам весной и летом.

Таблица 2. 11. Результаты расчета доз спектральных составляющих солнечного излучения для Краснодара за период вегетации в условных единицах

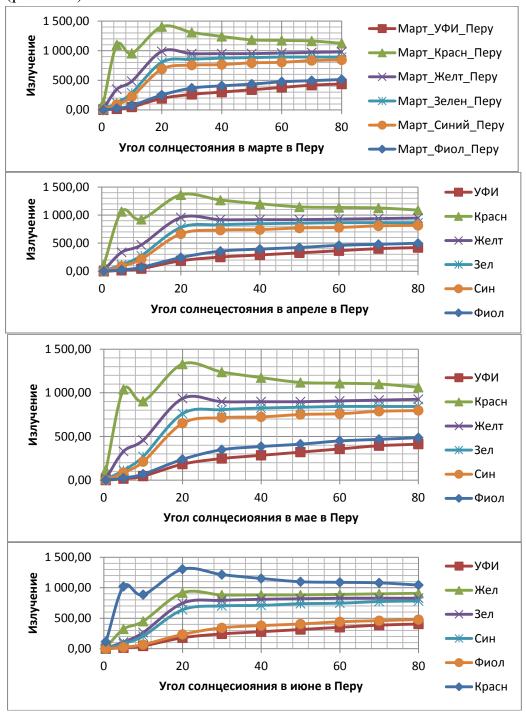
	Фиолет	Синее	Зеленое	Желт	Красное	УФИ	
Месяц	400440	440490	490565	565595	595760	295400	Всего
	HM	HM	HM	HM	HM	HM	
Март	82,0	197,5	209,0	268,5	423,5	79,5	1 260,0
Апрель	103	223	288	272,5	456,5	78,5	1 421,5
Май	130	262,5	266,5	352,5	493,5	95,5	1 600,5
Июнь	166,5	300	346,5	407,5	569,5	115	1 905,0
Июль	157	314,5	335,5	412	583,5	121,5	1 924,0
Август	146	341	389,5	392,5	564,5	124	1 957,5
Всего	784,5	1 638,5	1 835,0	2 105,5	3 091,0	614,0	10 068,5
В%	7,79%	16,27%	18,23%	20,91%	30,70%	6,10%	100,00%

Анализ табл. 2. 11 показывает, что дозы зон ФАР значительно изменяются по месяцам. Если расположить излучения по приоритетности, то большая часть среднего значения излучения приходится на красное (31%), затем желтое

(21%), зеленое (18%), синее (16%), фиолетовое (8%) и УФ (6%). При этом по месяцам качественный состав излучения значительно изменяется.

2.3.2. РАСЧЕТ ДОЗЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗОНЫ ФАР для Перу

На основании табл. 2.12 были построены графические зависимости, описывающие изменение каждой составляющей спектра излучения Солнца в зависимости от угла стояния весной и летом помесячно для Лимы — столицы Перу (рис. 2. 8).



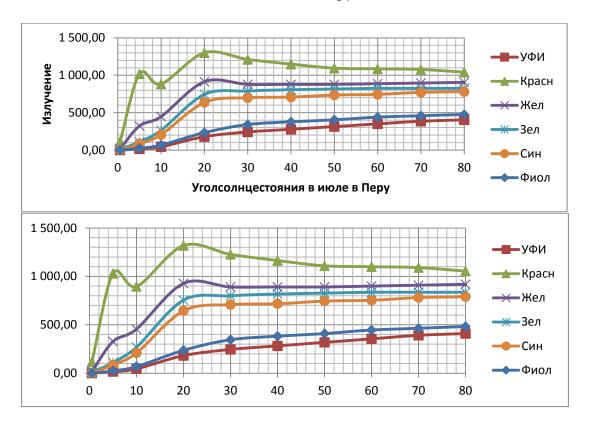


Рисунок 2. 7. Изменение дозы спектральных составляющих по месяцам весной и летом для Лимы

В табл. 2.12 приведены результаты расчета доз спектральных составляющих солнечного излучения для Лимы – столицы Перу по месяцам весной и летом.

Таблица 2. 12. Результаты расчета доз спектральных составляющих солнечного излучения для Лимы – столицы Перу по месяцам в условных единицах

Месяц	Фиолет 400440	Синее 440490	Зеленое 490565	Желт 565595	Красное 595760	УФИ 295400	Всего
	HM	HM	HM	HM	HM	HM	
Март	132,0	265,0	205,8	340,5	463,0	110,5	1 516,8
Апрель	130,5	251,85	279,5	340	450,5	106	1 558,4
Май	133,5	238	284	326	443	102	1 526,5
Июнь	142	240,5	304,5	325,5	434,5	100,5	1 547,5
Июль	142	240,5	284,5	325,5	434,5	100,5	1 527,5
Август	129	237,5	284,5	321,5	436,5	100,5	1 509,5
Всего	809,0	1 473,4	1 642,8	1 979,0	2 662,0	620,0	9 186,1
В%	8,81%	16,04%	17,88%	21,54%	28,98%	6,75%	100%

Анализ табл. 2.12 показывает, что существенного различия доз зоны ФАР по месяцам не наблюдается. Если расположить излучения по приоритетности, то большая часть излучения приходится на красное (29%), затем желтое (22%), зеленое (18%), синее (16%), фиолетовое (9%) и УФ (6%), но при сравнении с табл. 2.11. видно, что качественный состав излучения различен.

2.3.3 Математические зависимости, описывающие изменения дозы спектральных составляющих зоны **ФАР** солнечного излучения в зависимости от угла стояния

Средние значения доз спектральных составляющих для Краснодара и Перу, вычисленные по табл. 2.11 и 2.12 приведены в табл. 2.13, 2.14 и 2.15.

Таблица 2. 13. Сравнение средней дозы спектральных составляющих солнечного излучения зоны ФАР за март месяц

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

Таблица 2. 14. Сравнение средней дозы спектральных составляющих солнечного излучения зоны ФАР за апрель месяц

За апрель	Регион				Всего	Примеча			
За апрель	гегион	Фиол	Син	3ел	Жел	Кр	УФИ	BCEIO	Примеча
Условные	Краснодар	103	223	288	272,5	456,5	78,5	1421,5	
единицы	Перу	130,5	251,9	279,5	340	450,5	106	1558,4	за 100 %
%	Краснода	7%	14%	18%	17%	29%	5%	91%	
/0	Перу	8%	16%	18%	22%	29%	7%	100,00%	

Таблица 2. 15. Сравнение средней дозы спектральных составляющих солнечного излучения зоны ФАР за май месяц

За май	Регион			Доза из	лучения			Всего	Примеча
За Май Регион		Фиол	Син	3ел	Жел	Кр	УФИ	bcero	Примеча
Условные	Краснодар	130	262,5	266,5	352,5	493,5	95,5	1600,5	
единицы	Перу	133,5	238	284	326	443	102	1526,5	за 100 %
%	Краснода	9%	17%	17%	23%	32%	6%	105%	
70	Перу	9%	16%	19%	21%	29%	7%	100,00%	

Изменения доз спектральных составляющих для Краснодара и Перу (табл. 2.13, 2.14 и 2.15) можно с удовлетворительной точностью смоделировать **логистической кривой** в диапазоне длин волн 360 ...460 нм по методике профессора Зайцева Г.Н. [56], уравнение которой в общем виде имеет вид

$$y' = \frac{a_1}{1 + 10^{\gamma + \beta \cdot x}} + a_0 \tag{2.9}$$

где y` - функция или зависимая переменная; a_0 – нижняя асимптота, т. е. предел, с которого начинается рост функции; a_1 – расстояние между верхней и

нижней асимптотами; β , γ - параметры уравнения, определяющие наклон и изгиб логистической кривой.

В последующем диапазоне длин волн от 460 до 760 нм изменение доз с достаточной точностью описывается полиноминальной зависимостью, найденной с помощью линии тренда.

Для расчета логистической кривой воспользуемся данными таблицы2. 12.

Таблица 2. 16. Данные для вычисления логистической кривой среднегодовых доз излучения в диапазоне длин волн от 360 до 460 нм для Перу

X	`x ²	у	`a ₁ /y	`(a ₁ /y)-	`lg((a1/y)-1)=z	XZ	y`	(y`-y) ²
460	2E+05	270	1,02593	0,0259	-1,5863	-729,6822	272	4
450	2E+05	262,5	1,05524	0,0552	-1,2578	-565,9926	265	6,25
440	2E+05	252,25	1,09812	0,0981	-1,0083	-443,6326	255	7,5625
430	2E+05	230	1,20435	0,2043	-0,6896	-296,5409	240	100
420	2E+05	211,5	1,30969	0,3097	-0,5091	-213,8090	210	2,25
410	2E+05	184	1,50543	0,5054	-0,2963	-121,4973	180	16
400	2E+05	153,85	1,80045	0,8005	-0,0967	-38,6652	150	14,8225
390	2E+05	144	1,92361	0,9236	-0,0345	-13,4592	130	196
380	1E+05	127,5	2,17255	1,1725	0,0691	26,2698	120	56,25
370	1E+05	110	2,51818	1,5182	0,1813	67,0898	110	0
360	1E+05	103,35	2,68021	1,6802	0,2254	81,1312	106	7,0225
4050	2E+06				-3,4164	-1519,10		406,1575

Для определения параметров β , γ логистической кривой решается система уравнений:

$$\begin{cases} N \cdot \gamma + \beta \cdot \sum x = \sum z \\ \gamma \cdot \sum x + \beta \cdot \sum x^2 = \sum x \cdot z \end{cases}$$
 (2. 10)

Из первого уравнения находим

$$\gamma = \frac{\sum z - \beta \cdot \sum x}{N}$$

Из второго уравнения находим

$$\beta = \frac{\sum (x \cdot z) - \gamma \cdot \sum x}{\sum x^2}$$

В нашем случае

$$\begin{cases} 10 \cdot \gamma + \beta \cdot 4050 = -3,4164 \\ \gamma \cdot 4050 + \beta \cdot 4050^2 = -1519,01 \end{cases}$$

Таким образом, уравнение логистической кривой, описывающей среднегодовое изменение доз, спектральных составляющих диапазона 360...460 нм для Перу, имеет вид:

$$Y_{\text{ПЕРУ}_{\text{СР_ГОД}}} = \frac{271,11}{1 + 10^{0.561 - 0.164 \cdot x}} + 0$$

Ошибка уравнения регрессии:

$$m_{x-y} = \sqrt{\frac{\sum (y-y')^2}{N-n}} = \sqrt{\frac{406,1575}{11-3}} = 7,13$$

где у – эмпирическое значение функции,

у` - теоретическое значение функции,

N - число точек эмпирической линии регрессии, по котором вычислялось уравнение регрессии;

n – число коэффициентов уравнения, включая свободный член.

Таким образом, доза излучения в диапазоне длин волн с 360 до 460 для Перу определяется как:

$$H_{\Pi E P Y_{\Gamma} O Д} = \int_{360}^{460} \frac{271,11}{1+10^{0.561-0.164 \cdot x}} dx.$$
 (2. 11)

В диапазоне длин волн 460 до 760 нм для Перу изменение средних значений доз за год описывается полиномом второго порядка:

$$y = -0.0002x^2 + 0.8357x - 77.256$$

при коэффициенте детерминации $R^2 = 0.9984$

$$\mathbf{H}_{\text{ПЕРУ_ГОД}} = \int_{460}^{760} (-0,0002 \cdot x^2 + 0,8357 \cdot \mathbf{x} - 77,256) \, dx.$$
 (2. 12)

Для расчета логистической кривой для Краснодара воспользуемся данными таблицы 2. 11.

Таблица 2. 17. Данные для вычисления логистической кривой доз излучения от 360 до 460 нм для Краснодара за год

X	`x ²	у	`a ₁ /y	`(a ₁ /y)-	`lg((a1/y)-1)=z	XZ	y`	(y`-y) ²
460	2E+05	287	1,0000	0,0000		0,0000	295	64
450	2E+05	278,5	1,0305	0,0305	-1,5154	-15,1541	285	42,25
440	2E+05	269,25	1,0659	0,0659	-1,1810	-10,6286	271	3,0625
430	2E+05	242,5	1,1835	0,1835	-0,7364	-5,8908	238	20,25

420	2E+05	215	1,3349	0,3349	-0,4751	-3,3257	200	225
410	2E+05	175,5	1,6353	0,6353	-0,1970	-1,1820	170	30,25
400	2E+05	143,25	2,0035	1,0035	0,0015	0,0076	150	45,5625
390	2E+05	129	2,2248	1,2248	0,0881	0,3523	130	1
380	1E+05	117	2,4530	1,4530	0,1623	0,4868	120	9
370	1E+05	110,5	2,5973	1,5973	0,2034	0,4068	110	0,25
360	1E+05	102,35	2,8041	1,8041	0,2563	0,2563	106	13,3225
4050	2E+06				-3,3933	-34,6716		389,9475

Уравнение логистической кривой, описывающей изменение доз спектральных составляющих диапазона 360...460 нм для Краснодара, за март имеет вид:

$$Y_{\text{KPACH}}$$
 $_{\text{CP_FOJJ}} = \frac{287}{1 + 10^{0.727 - 0.194 \cdot x}}$

Ошибка уравнения регрессии:

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

Доза излучения за год для Краснодара определяется как:

$$\mathbf{H}_{\text{KPACH_ГОД}} = \int_{360}^{460} \frac{287}{1+10^{0.727-0.194 \cdot x}} dx.$$
 (2. 13)

В диапазоне длин волн 460 до 760 нм для Краснодара изменение средних значений доз за год описывается полиномом второго порядка:

$$y = 5E-05x^2 + 0.6202x - 11.602$$

при коэффициенте детерминации $R^2 = 0.9984$

$$H_{\text{KPACH_\Gamma OJ}} = \int_{460}^{760} (-0,0013 \cdot x^2 + 0,6202 \cdot x - 11,602) dx.$$
 (2. 14)

Аналогично были получены дозы спектральных составляющих зоны ФАР для Краснодара за весну:

$$\mathbf{H}_{\text{KPACH_BECHA}} = \int_{360}^{460} \frac{240}{1 + 10^{0.743 - 0.233 \cdot x}} dx. \tag{2.15}$$

Ошибка уравнения регрессии:

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

$$\mathbf{H}_{\text{KPACH_BECHA}} = \int_{460}^{760} (-0,0013 \cdot x^2 + 0,633 \cdot x - 74,152) \, dx.$$
 (2. 16)

при
$$R^2 = 0,9965$$

2.3.4. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ ДОЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ

В технологическом процессе выращивания меристемного картофеля мы рассматриваем только первый этап -выращивание меристемного картофеля из клетки, который длится 30 дней. К положительному воздействию спектра излучения следует отнести сокращение сроков готовности растений.

Рассмотрим изменение площади листьев меристемного картофеля в зависимости от дозы спектральных составляющих зоны ФАР. Многие явления роста, увеличения площади листьев, изменения физиологического состояния растения могут быть смоделированы логистической кривой, которая устанавливает связь между дозой спектральных составляющих оптического излучения и продуктивностью меристемного картофеля, выражающуюся в площади листьев. Данные для расчета логистических кривых приведены в таблицах 2.18...2.20.

Таблица 2. 18. К вычислению параметров логистической кривой, описывающие нарастание площади листьев меристемного картофеля от спектрального состава фитооблучателя (лампа ЛБ 80 – контроль)

х	\mathbf{x}^2	ЛБ 80	`a ₁ /y	$(a_1/y)-1$	`lg((`a1/y)-1)=z	`xz	$10^{(\gamma+\beta x)}$	`1+`10 ^(γ+βx)	`y`	`(y`-y) ²
6	36	400	1,000	0,000		0,0000	0,01572	1,01572	393,81	38,33610
5	25	390	1,026	0,026	-1,59106	-7,9553	0,03083	1,03083	388,04	3,85895
4	16	375	1,067	0,067	-1,17609	-4,7044	0,06047	1,06047	377,19	4,80564
3	9	350	1,143	0,143	-0,84510	-2,5353	0,11858	1,11858	357,6	57,68851
2	4	320	1,250	0,250	-0,60206	-1,2041	0,23255	1,23255	324,53	20,51602
1	1	289	1,384	0,384	-0,41557	-0,4156	0,45606	1,45606	274,71	204,10478
15	55	•			-4,62989	-16,81468				290,97389

Асимптоты: $a_1 = 400$: $a_0 = 0$: Сшибка регрессии: $m_{x-y} = 9,8484$:

Для нахождения значений у и β составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} 5 \cdot \gamma + \beta \cdot 15 = -4,62989 \\ 15 \cdot \gamma + \beta \cdot 55 = -16,81468 \end{cases}$$

Умножим первое уравнение на число 3 и получим новую систему уравнений:

$$\begin{cases} 15 \cdot \gamma + \beta \cdot 45 = -13,88967 \\ 15 \cdot \gamma + \beta \cdot 55 = -16,81468 \end{cases}$$

Вычтем из первого уравнения второе и получим: $-\beta \cdot 10 = 2,925010$

Откуда $\beta = 0.29250108$ и $\gamma = -0.0485$

Проверка по второму уравнению: левая часть равна правой и составляет -16,81468.

Проверка по первому уравнению: левая часть у которого равна правой части и составляет -4,629889.

Таблица 2. 19. К вычислению параметров логистической кривой, описывающие нарастание площади листьев меристемного картофеля от спектрального состава LED фитооблучателя при имитации спектра Краснодара

	2	Красно-					((+ 0)		2
X	\mathbf{x}^2	дар	`a ₁ /y	$(a_1/y)-1$	$\lg((a1/y)-1)=z$	`xz	$10^{(\gamma+\beta x)}$	$1+10^{(\gamma+\beta x)}$	`y`	$(y-y)^2$
6	36	441	1,000	0,000		0,0000	0,01572	1,01572	393,81	2 227,04858
5	25	430	1,026	0,026	-1,59208	-7,9604	0,03083	1,03083	388,04	1 761,01254
4	16	405	1,089	0,089	-1,05115	-4,2046	0,06047	1,06047	377,19	773,27506
3	9	368	1,198	0,198	-0,70252	-2,1076	0,11858	1,11858	357,6	108,25788
2	4	324	1,361	0,361	-0,44236	-0,8847	0,23255	1,23255	324,53	0,28033
1	1	285	1,547	0,547	-0,26172	-0,2617	0,45606	1,45606	274,71	105,81259
15	55				-4,04983	-15,41900				2 748,63840

Асимптоты: $a_1 = 441$: $a_0 = 0$: Сшибка регрессии: $m_{x-y} = 30,269$:

Для нахождения значений ү и β составляем систему уравнений:

$$5 \cdot \gamma + \beta \cdot 15 = -4,04983$$

$$15 \cdot \gamma + \beta \cdot 55 = -15,41900$$

Умножим первое уравнение на число 3 и получим новую систему уравнений:

$$15 \cdot \gamma + \beta \cdot 45 = -12,1495$$

$$15 \cdot \gamma + \beta \cdot 55 = -15,41900$$

Вычтем из первого уравнения второе и получим: $-\beta \cdot 10 = 3,26950$

Откуда
$$\beta = -0.32695044$$
и $\gamma = 0.1709$

Проверка по второму уравнению: левая часть равна правой и составляет -15,419.

Проверка по первому уравнению: левая часть у которого равна правой части и составляет -4,04983

Таблица 2. 20. К вычислению параметров логистической кривой, описывающие нарастание площади листьев меристемного картофеля от спектрального состава LED фитооблучателя при имитации спектра Перу

X	\mathbf{x}^2	Перу	`a ₁ /y	$(a_1/y)-1$	$\lg((a1/y)-1)=z$	`XZ	$10^{(\gamma+\beta x)}$	$1+10^{(\gamma+\beta x)}$	`y`	$(y-y)^2$
6	36	505	1,000	0,000		0,0000	0,01572	1,01572	393,81	12 363,57536
5	25	493	1,024	0,024	-1,61367	-8,0683	0,03083	1,03083	388,04	11 017,52944
4	16	470	1,074	0,074	-1,12803	-4,5121	0,06047	1,06047	377,19	8 613,29215
3	9	425	1,188	0,188	-0,72530	-2,1759	0,11858	1,11858	357,6	4 543,39423
2	4	360	1,403	0,403	-0,39493	-0,7899	0,23255	1,23255	324,53	1 258,15914
1	1	285	1,772	0,772	-0,11242	-0,1124	0,45606	1,45606	274,71	105,81259
15	55				-3,97435	-15,65864				25 538,18754

Асимптоты: $a_1 = 505$: $a_0 = 0$: Сшибка регрессии: $m_{x-y} = 92,264$:

Для нахождения значений у и β составляем систему уравнений:

$$5 \cdot \gamma + \beta \cdot 15 = -3,97435$$

$$15 \cdot \gamma + \beta \cdot 55 = -15,65864$$

Умножим первое уравнение на число 3 и получим новую систему уравнений:

$$15 \cdot \gamma + \beta \cdot 45 = -11,92305$$

$$15 \cdot \gamma + \beta \cdot 55 = -15,65864$$

Вычтем из первого уравнения второе и получим: $-\beta \cdot 10 = 3,73558$

Откуда
$$\beta = -0.373558$$
и $\gamma = 0.3258$

Проверка по второму уравнению: левая часть равна правой и составляет -15,65864.

Проверка по первому уравнению: левая часть у которого равна правой части и составляет -3,97435

После математичкой обработки данных, приведенных в табл. 2.18...2.20, были получены следующие модели по влиянию доз спектральных составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля:

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

$$S_{\text{KOHT_JIB}} = \frac{400}{1 + 10^{-0.0485 - 0.2925 \cdot x}}$$
 (2. 17)

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

$$S_{Kpachodap} = \frac{445}{1 + 10^{0,1772 - 0,3143 \cdot x}} \tag{2.18}$$

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

$$S_{\Pi epy} = \frac{505}{1 + 10^{0.3258 - 0.3796 \cdot x}} \tag{2.19}$$

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

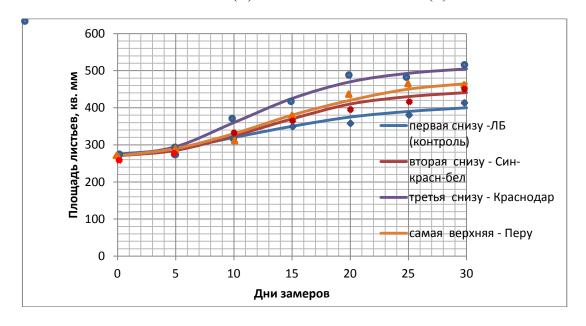


Рисунок 2. 8. Динамика изменения площади листьев меристемного картофеля в зависимости от доз спектральных составляющих зоны ФАР:

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

Для определения достоверности результатов воспользуемся методикой биометрических расчетов профессора Зайцева Г.Н. [56]. Для оценки достоверности находим среднее арифметическое значение по формуле:

$$M = \frac{\sum x}{N}$$

где M – средняя арифметическая: $\sum x$ – сумма всех вариант ряда; N – объем выборки.

Для достоверности средней арифметической вычисляем ее ошибку:

$$m_M = \frac{\delta}{\sqrt{N}}$$

где m_M - ошибка средней арифметический; δ - среднее квадратическое от-

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (x - N)^2}{N - 1}}$$

где х – варианты ряда

Достоверность биометрических параметров оценивается большей частью по критерию Стьюдента по общей формуле:

$$t=rac{ ext{биометрический показатель}}{ ext{ошибка этого показателя}}.$$

Для нашего случая табличный критерий Стьюдента для 95% доверительного уровня составляет 2,447 и для 99% доверительного уровня — 3,707. Во всех случаях расчетный критерий Стьюдента 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). Поэтому средняя квадратическая достоверна. 95% доверительный уровень означает, что существенность выводов подтверждается в 95 случаев из 100.

2.4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОПИСЫВАЮЩАЯ ВЛИЯНИЕ ДОЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗОНЫ ФАР НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ

Разработка математической модели по обоснованию наиболее эффективных доз спектральных составляющих зоны ФАР для меристемного картофеля

В математической формулировке задач нелинейного программирования выделяются три составные части:

- целевая функция
- система ограничений
- условие неотрицательности искомых переменных.

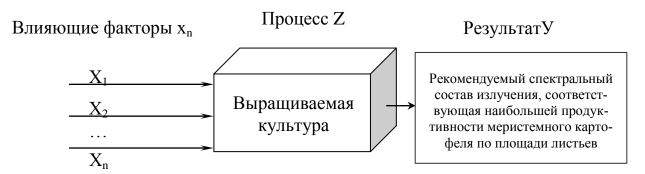


Рисунок 2. 9. Структурно-функциональная схема воздействия дозы оптического излучения на биологический объект

В идеализированной модели воздействия дозы оптического излучения необходимо принять следующие ограничения или допущения:

- □ х₁ вид растения: меристемный картофель;
- x_2 фаза развития по технологии выращивания меристемного картофеля, используемой в ФГБНУ УНИИСХ;
- 1. x_4 характеризует требования растений к **тепловому режиму**;
- 2. x_4 характеризует **требования** растений **к водному режиму:**
- 3. x_5 характеризует **требования** растений **к воздушно-газовому режиму**;
- 4. x_6 характеризует **требования** растений **к условиям питания**;
- 5. x_7 характеризует **требования** растений **кспектральному составу** излучения (E),
- 6. x_8 характеризует **требования** растений **кдозе облучения** (H)
- 7. х₉ -модель справедлива для условий **меристемной лаборатории, т. е. этот показатель входит** комплекс дополнительных факторов, опреде-

ляющих жизнедеятельность меристемного растения не только впериод облучения, но и в последующие периоды.

В разрабатываемой модели мы принимаем все уровни перечисленных факторов такими, которые устанавливаются в меристемной лаборатории ФГБНУ УНИИСХ УНИИСХ. Поэтому разрабатываемая нами модель предусматривает связь между влиянием дозы спектральных составляющих зоны ФАР и продуктивностью меристемного картофеля, определяемую количеством сборов меристемных растений за год.

Поэтому в разрабатываемой нами математической модели мы будем изучать только влияние доз спектральных составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля, а остальные факторы не рассматриваются нами и соответствуют технологии выращивания меристемного картофеля, приятой в ФГБНУ УНИИСХ. При этом под продуктивностью меристемного картофеля понимается площадь его листьев.

Растения используют энергию оптического излучения, в основном, для протекания таких процессов как фотосинтез, фотоморфогенез, фотопериодизм. Наиболее энергоемким процессом является фотосинтез, т.к. его нормального протекания требуется высокая освещенность (облученность) [125].

Анализ специальной литературы показал, что возможные модели преобразования энергии оптического излучения в биологическом приемнике базируются на формулу метрики Г. Минковского [77], которая имеет широкие возможности, позволяющие представить растение как неизолированную незамкнутую систему, получающую энергию не только от поглощенного излучения.

Формула метрики Г. Минковского имеет вид:

$$\Phi_{\ni \Phi} = \left| \sum_{i=1}^{N} (\Phi_{\ni \Phi, i})^n \right|^{\frac{1}{n}}$$
 (2. 20)

В формуле (2.20) показатель n=3 - это количество факторов, влияющих на продуктивность растения.

Сарычев Г.С.предложил свою математическую модель, позволяющую находить кривую эффекта (выхода хозяйственного продукта в зависимости от уровня облученности) для данного вида растений с учетом расходов на затраченную электроэнергию [77].

$$\frac{Q_{\mathcal{I}}}{N} = \frac{q \cdot E_e \cdot t \cdot 10^{-3}}{A \cdot E_e^b \cdot e^{-cE}}$$

где ${f q}$ — тариф электроэнергии, руб./(кВт ч); ${f t}$ — суммарное время работы облучательной установки, часы; ${f E}_{{f e}}$ — облученность, ${f B}{f T}/{{\sf M}^{12}}$

Предложенная им математическая модель несомненно интересна, т.к. учитывает затраты на электроэнергию, но в ней используется облученность, измеряемая в Bt/m^2 , что не позволяет судить о спектре излучения источника, а, следовательно, невозможно проанализировать и выбрать наиболее эффективный по дозам спектральных составляющих Φ AP источник излучения, который позволит повысить продуктивность выращиваемой культуры.

Кроме этого для получения объективной оценки разрабатываемая нами модель должна учитывать не только удельные затраты, но и тот факт, что растение — это фотобиологический приемник, который относится к числу аккумулятивных, т. е. эффективность действия облучения для них пропорциональна энергии облучения или дозе облучения.

Поэтому предлагаемая нами модель должна так же учитывать влияние дозы спектральных составляющих излучения на количество полученных меристемных растений.

На основании сказанного выше предлагается следующая математическая модель по определению наиболее эффективного по дозам спектральных составляющих зоны ФАР источника излучения, учитывающая аккумулятивные свойства растения, финансовые расходы: и описывающая влияние доз спектральных составляющих зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля:

$$\left(\frac{3}{G_{\Pi POJ}}\right)^{\frac{1}{n}} = \begin{bmatrix} 3_{OV} = f(H_{\Phi AP}) \\ V = F(H_{\Phi AP}) \end{bmatrix}^{\frac{1}{n}}$$
(2. 21)

В формуле (2.21) показатель степени n = 3, это три фактора: фотосинтез, фотоморфоз и фотопериодизм. В виду того, что для осуществления процесса фотосинтеза необходимо самое максимальное значение облученности $20...30 \text{ Bt/m}^2$, для фотоморфогенеза $-3...5 \text{ Bt/m}^2$ и фотопериодизма $-1...3 \text{ Bt/m}^2$, то в нашей модели примем этот показатель равным 1 [125].

 $3_{OV} = f(H_{\phi_{AP}})$ - финансовые расходы на реализацию предлагаемых технических решений в зависимости от дозы ФАР (табл. 5.1.).

 $V = F(H_{\phi_{AP}})$ - количество полученных меристемных растений в зависимости от дозы спектральных составляющих Φ AP:

$$V_{\text{КОНТ}} = \int_{0}^{30} \frac{400}{1 + 10^{-0.0485 - 0.2925 \cdot x}} dx$$

$$V_{\text{Краснодар}} = \int_{0}^{28} \frac{465}{1 + 10^{0.1772 - 0.3143 \cdot x}} dx$$

$$V_{\text{Перу}} = \int_{0}^{26} \frac{505}{1 + 10^{0.3258 - 0.3796 \cdot x}} dx$$

где х – дни выращивания.

Таким образом, получаем для контроля с лампами ЛБ 80:

$$\left(\frac{3}{G_{\Pi POJ}}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\begin{array}{c} \frac{3_{OV} = f(H_{\phi AP})}{V_{KOHT} = F(H_{\phi AP})} \end{array}\right]^{\frac{1}{n}} = \frac{348540}{20000} = 60,02 \, py6 \, / \, pacm.$$

Для варианта «Краснодар»:

$$\left(\frac{3}{G_{\Pi P O \mathcal{I}}}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\begin{array}{c} \frac{3_{O V} = f\left(H_{\Phi A P}\right)}{V_{1 \kappa 2 c} = F\left(H_{\Phi A P}\right)} \end{array}\right]^{\frac{1}{n}} = \frac{167872}{20000} = 52,10 \, py6 \, / \, pacm.$$

Для варианта «Перу»:

$$\left(\frac{3}{G_{\Pi POII}}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\begin{array}{c} \frac{3_{OV} = f(H_{\phi AP})}{V_{2\kappa 3c16} = F(H_{\phi AP})} \end{array}\right]^{\frac{1}{n}} = \frac{167872}{20000} = 46,30 \, py6 \, / \, pacm.$$

Таким образом, мы получили снижение затрат на каждую единицу получаемой продукции за счет более полного использования меристемными растениями энергии зоны ФАР излучения LED фитоустаговкок.

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

- 1. Обзор специальной биологической и агрономической литературы показал, что глубокое воздействие на биологическое развитие овощных растений, произрастающих у нас в стране, оказывает их место первичного происхождения. Поэтому для получения высокой продуктивности растений необходимо смоделировать спектральный состав той местности земного шара, где первоначально произрастала эта культура.
- 2. Ввиду того, что до 95% урожая в открытом грунте формируется за счет фотосинтетической деятельности растений. поэтому целесообразно провести анализ доз спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения для исторической родины картофеля и для житницы России Краснодарского края для дальнейшего обоснования наиболее эффективного по спектру LED фитоисточника, применение которого позволит получить максимальную продуктивность меристемного картофеля. Для этого нами разработана методика определения дозы спектральных составляющих зоны ФАР солнечного излучения для изучаемого региона.
- 3. Разработана математическая модель по влиянию доз спектральных составляющих излучения ФАР на продуктивность меристемного картофеля, которая показала, что имитация спектра излучения Перу позволяет сократить вегетацию меристемного картофеля на 4 дня и снизить затраты на одно растение в 1,3 раза. Полученные результаты будут использоваться нами для обоснования доз спектральных составляющих зоны ФАР, которые необходимо поддерживать разрабатываемой LED фитоустановки.

3. ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ LED ФИТОУСТАНОВОК ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МЕРИСТЕМНОГО КАРТОФЕЛЯ

3.1. ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ

На основании анализа спектрального состава излучения, проведенного в главах 1 и 2, нами были сконструированы сначала две LED фитоустановки с разным спектральным излучением для проведения предварительных лабораторных испытаний в 2009 г. (рис. 3.1 и рис. 3.2) [12].

На рис. 3.1 приведена схема 1, в которой использовались 15 красных LED марки LXHL-MH1D (62,5%) и 9 синих LED марки LXHL-FB1C (37,5%). Мощность каждого LED составляла 1 Вт. Напряжения питания для красных LED оставляло 2,95 В, для синих -LED - 3,42 В.



Рисунок 3. 1 Схема 1 размещения 15 красных LED и 9 синих LED в первом экспериментальном источнике излучения (соотношение красных LED к синим LED составляет 63%:37%)

На рис. 3.2 показана схема 2, в которой использовались 16 красных LED марки LXHL-MH1D, 8 синих LED марки LXHL-FB1C и 8 белых LED марки LXHL-WW1S. Мощность каждого LEDсоставляла 1 Вт. Напряжения питания для красных LED оставляло 2,95В, для синих LED - 3,42 В, для белых – 3В В.

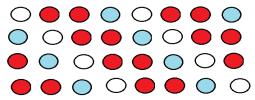


Рисунок 3. 1 Схема 2 размещения 16 красных LED, 8 синих LED и 8 белых LED во втором экспериментальном источнике излучения (соотношение красных LEDк синим LED и белымLED составляет 50%:25%:25%)

Для реализации схем 1 и 2 нами был произведен следующий расчет при подключении светодиодов к одному источнику питания. При этом соединение светодиодов может быть, как параллельное или последовательное.

При этом надо помнить следующее:

- если напряжение источника питания напряжение светодиода($U_{\Pi P}$), умноженное на 3, то следует выбрать параллельное соединение,
- если напряжение источника питания для светодиода больше чем паспортное прямое напряжение светодиода, то выбирают их последовательное соединение, т.е.

если $U_{\it пит} < 3 \cdot U_{\it пP}$ то следует **параллельно** соединять светодиоды; если $U_{\it пит} \ge 3 \cdot U_{\it пP}$ то следует **последовательно** соединять светодиоды.

Срок службы светодиодов также зависит от температуры кристалла. Желательно, чтобы температура кристалла не превышала 60° C (рис.3.2) [128, 129, 130, 131, 167].

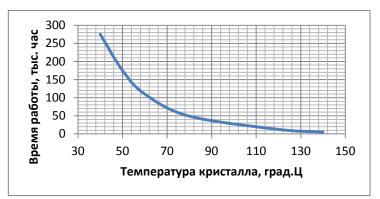


Рисунок 3. 2. Изменение службы светодиодов от температуры

Поэтому для охлаждения светодиодов или светодиодной матрицы необходимо грамотно спроектировать систему охлаждения так, чтобы максимально допустимая температура светодиодов составляла 90°C при температуре окружающего воздуха более 40°C.

Общее напряжение питания двух светодиодов $(U_{\Pi P})$ при последовательном их включении с учетом возможности увеличения напряжения за счет старения светодиода или изменения температуры равно:

$$U'_{IIP} = 1.5 \cdot U_{IIP} + 1.5 \cdot U_{IIP}$$
 (3. 1)

где 1,5 - коэффициент запаса, учитывающий, что при старении светодиода его напряжение U*np* может вырасти в 1,5 раза, например, с 3 В до 4,5 В.

Принимая во внимание то, что у нас $U_{\Pi\!H\!T} \ge 3 \cdot U_{\Pi\!P}$, то был выбран **последовательный** способ соединения светодиодов, электрическая схема которого показана на рис. 3.3.

Для того чтобы светодиод не сгорел во время эксплуатации необходимо использовать дополнительное сопротивление для ограничения тока, расчет которого зависит от схемы соединения светодиодов. При этом каждую цепочку необходимо собирать из светодиодов с одинаковыми параметрами и одного производителя [130, 132, 135, 135].

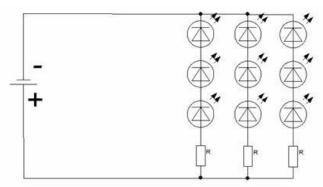


Рисунок 3. 3. Электрическая схема экспериментальной установки с последовательным соединеним светодиодов

По закону Ома произведен расчет ограничивающего ток резистора (защитного резистора):

$$R = \frac{U_{\Pi H T} - U_{\Pi A \Pi}}{I}$$
 (3.2)

где R — сопротивление резистора, O_{M} ; $U_{\Pi MT}$. — действующее (эффективное, среднеквадратичное) напряжение источника питания, B.; $U_{\Pi AD}$.— прямое падение напряжения на светодиодах, B. Обычно оно указывается в характеристиках и обычно составляет 2 B. При последовательном включении нескольких светодиодов величина падений напряжений на них складываются; I — максимальный прямой ток светодиода. При последовательном соединении нескольких светодиодов прямой ток не увеличивается. Прямой ток учитывается только при соединении нескольких линий последовательно соединенных светодиодов: для получения общего тока складываются все прямые токи линий светодиодов.

Минимальная мощность резистора определяется из выражения:

$$P = 2 \cdot \frac{(U_{\Pi MT} - U_{\Pi A / I})}{R}, \qquad (3.3)$$

где Р — мощность резистора, Вт; R — сопротивление резистора, Ом.

В таблицах 3.1 и 3. 2 приведены данные для схем 1 и 2, изображенных на рис. 3.1 и 3.2.

Таблица 3. 1. Исходные данные для расчета схемы 1, показанной на рис. 3.1

Цвет излучения	Количество, шт.	Ток светодиода, мА	Напряжение на светодиоде, В	
Синий	9	350	3,42	
Красный	15	350	2,95	

Для схемы, показанной на рис 3.1, защитное сопротивление рассчитано с учетом того, что для трех синих светодиодов ток каждого 350 мА, падение напряжения 3,42 В; для 5-ти красных светодиодов ток каждого ток 350 мА, падение напряжения 2,95 В

Следовательно, величина ограничивающего ток резистора составляет:

$$R = \frac{28 - (5 \cdot 2,95 + 3 \cdot 3,42)}{0,35} = 8,54 \,\text{Om}$$

Таким образом, при последовательном включении светодиодов в эту ветвь необходимо поставить резистор 8,54 Ом, или ближайший по номинальным данным резистор 10 Ом.

Минимальная мощность этого ограничивающего ток резистора составляет:

$$P = 2 \cdot \frac{28 - (5 \cdot 2,95 + 3 \cdot 3,42)}{10} = 0,898 \text{ Bt.}$$

Во избежание перегрева мощность резистора принимаем равной 1 Вт. Мощность блока питания для схем определяется как.

$$P = N \cdot U_{IIP} \cdot I = (5 \cdot 2,95 + 3 \cdot 3,42) \cdot 0,35 \cdot 3 = 26,2$$
 BT

Таким образом, для подключения светодиодов с указанными характеристиками, нам потребуется ограничивающий ток резистор на 10 Ом мощностью 1 Вт и блок питания мощностью 27 Вт.

В таблице 3. 2 приведены данные для схемы 2, изображенной на рис. 3.2.

Таблица 3. 2. Исходные данные для расчета схемы 2, показанной на рис. 3.2

Цвет излучения	Количество, шт.	Ток светодиода, мА	Напряжение на светодиоде, В
Синий	8	350	3,42
Красный	16	350	2,95
Белый	8	350	3

Величина ограничивающего ток резистора составляет:

$$R = \frac{28 - (4 \cdot 2,95 + 2 \cdot 3,42 + 2 \cdot 3)}{0,35} = 9,6 \text{ Om}$$
 (3.4)

Следовательно, последовательно со светодиодами необходимо поставить резистор 9,6 Ом, но ближайшим по номиналу является резистор 10 Ом.

Минимальная мощность этого резистора:

$$P = 2 \cdot \frac{28 - (4 \cdot 2,95 + 3 \cdot 3,42 + 2 \cdot 3)}{10} = 0,759 \text{ Bt.}$$

Мощность резистора должна быть не менее этой величины (0,759 Bт). Поэтому для избежания его нагрева используем резистор на 1 Bт.

Мощность блока питания для этой схемы.

$$P = N \cdot U_{TP} \cdot I = (5 \cdot 2.95 + 3 \cdot 3.42 + 2 \cdot 3) \cdot 0.35 \cdot 3 = 34.4 \text{ BT}$$

Таким образом, для включения светодиодов с указанными характеристиками нам потребуется резистор 10 Ом мощностью 1 Вт и блок питания мощностью 35 Вт

На рис. 3. 4 показаны фото приборов, лабораторных образцов фитооблучателей, сделанные в процессе разработки и испытания LED фитосветильников.









а) приборы для измерения тока, напряжения и потока излучения, фитооблучатели в сборке





б) фитооблучатели в работе

Рисунок 3. 4. **Лабораторный макет облучательной установки на светодиодах с регулированием спектральной плотности излучения**

3.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

3.2.1. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ (ПЛК) ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Широкое применение средств автоматизации производственных процессов напрямую влияет на сокращение издержек и повышение качества продукции и поэтому, 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 программного обеспечения. При этом, в отличие от компьютерных сетей, центральным звеном ПТК является не главный процессор, а программируемые логические контроллеры (ПЛК), объединенные в сеть.

При программировании ПЛК используется стандартный язык контактно-релейной логики или функциональных схем.

В настоящее время используются системы автоматизации на ПЛК, 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. ПЛК или программируемые логические реле совмещают функции множества других изделий и могут использоваться в большинстве разрабатываемых систем управления.

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.

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).

Международная компания Schneider Electric (год создания - 1836) является одним из мировых лидеров в производстве электротехнического оборудования низкого напряжения и средств автоматизации. [6, 172, 177]. Для управления фитоустановками мы использовали интеллектуальные программируемые реле Zelio Logic (рис. 3.5)..

На Российском рынке широко известна продукции фирмы ОВЕН, занимающая разработкой приборов автоматики в т. ч и для предприятий АПК.

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. Термином ПЛК обозначают устройства, осуществляющие преобразование, обработку, хранение информации и выра-

ботку команд управления или управляющих и регулирующих воздействий, управления в реальном масштабе времени

качестве управляющего устройства для светодиодной фитоустановки можно выбрать программируемые логические контроллеры и реле как зарубежного, так и отечественного производства. Создать программу имитации спектрального состава солнечного излучения для любого региона на них можно применяя один из стандартных языков программирования.



Рисунок 3. 5. Общий вид ПЛК

3.2.3. Разработка системы автоматического управления светодиодной фитоустановкой в **2012** г.

Нами была разработана система автоматического управления LED фитоустановкй с использованием ПЛК. На языке FDD была разработана схема управления для ПЛК (Zelio Logic), позволяющая автоматически включать LED фитоустановки в зависимости от изменения времени суток (угла солнцестояния), а также — от изменения освещенности растений в течении дня (рис. 3. 6). ПЛК включает фитооблучатель в 6:00 и выключает в 23:00 для увеличения светового дня растений, следовательно, для увеличения времени фотосинтеза растений [22, 24].

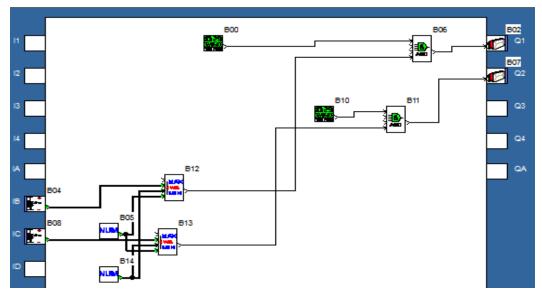


Рисунок 3. 6. Схема программы ПЛК Zelio Logic

Алгоритм работы фиотоустановки показан на рис. 3. 7.

При достижении солнечной освещенности 6000 лк происходит отключение фитоустановок для экономии электроэнергии.

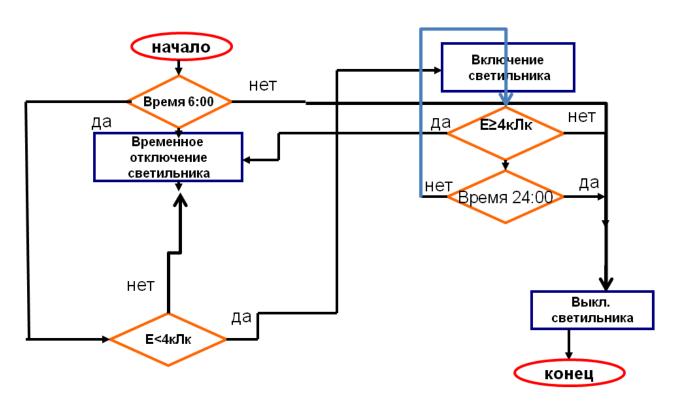


Рисунок 3. 7 Алгоритм работы ПЛК ZelioLogic

При недостаточной естественней освещенности (E_{ECT} <4 клк) программа автоматически включает фитоустановки, что позволяет поддерживать необ-

ходимую освещенность в вечерние и утренние часы и таким образом растение получает требуемую дозу облучения в сутки.

3.2.4. Разработка системы атомического управления светодиодной фитоустановкой в 2014 ...2015 гг

В виду того, что биологи считают, что на развитие любой овощной культуры влияет генетическая память о том месте, откуда он произрастает, то нами был проведен анализ динамики изменения среднего годового спектрального состава для государства Перу – родины картофеля и житницы России – Краснодарского края, результаты которого показаны в таблицах 3.3 и 3.4.

Таблица 3. 3. Среднегодовой состав солнечного излучения на родине картофеля госуларства Перу

Вид излучения	Фиоле- товы	Синий	Зеле- ный	Жел- тый	Крас- ный	УФ	Всего
Среднегодовое значение, %	8,81%	16,04%	17,88%	21,54%	28,98%	6,75%	100%
Время действия, час	12,82						

В таблице 3.4 показаны результаты анализа изменения спектра излучения в Краснодаре

Таблица 3. 4. Среднегодовой состав солнечного излучения в Краснодаре

Таолица 3. 4. Среднегодовой состав солис того излучения в красподарс								
Вид излучения		Фио- летовы	Синий	Зеленый	Желтый	Красный	УФ	Всего
M	Среднегодовое значение, %	5%	13%	14%	18%	28%	5%	100
Март	Время дейст- вия, час	11,61						
Ап-	Среднегодовое значение, %	7%	14%	18%	17%	29%	5%	100
рель	Время дейст- вия, час	13,22						
Май	Среднегодовое значение, %	9%	17%	17%	23%	32%	6%	100
Маи	Время дейст- вия, час	14,93						
Июнь	Среднегодовое значение, %	7,98	15,74	17,90	21,18	31,11	6,10	100
июнь	Время дейст- вия, час	15,59						
Июль	Среднегодовое значение, %	8,08	15,83	17,90	21,14	30,81	6,24	100
	Время дейст- вия, час	15,38						
Август	Среднегодовое значение, %	8,08	15,83	17,90	21,14	30,81	6,24	100
	Время дейст- вия, час	14,32						

По технологии, принятой в ФГБНУ УдНИИСХ, меристемные растения выращиваются в пробирках 30 дней при освещенности (облучённости) 5...6 клк (рис. 3.8).

- 6. Для реализации доз спектральных составляющих зоны ФАР, которые приведены в табл. 3.3 и 3.4. был разработан алгоритм работы программируемого логического контроллера для LED фитоустановок, позволяющий имитировать спектры излучения, с использованием инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys». В наших опытах мы также использовали ПЛК Zelio Logic. Мы разработали программы управления для реализации следующих режимов облучения:
- 1. Имитация солнечного спектра генетической родины картофеля государства Перу в течение 30 дней;
- 2. Имитация солнечного спектра для Краснодара в течение 30 дней: при этом в первые 10-ть дней как в марте, затем 10 дней как в апреле и оставшиеся 10 дней как в мае;

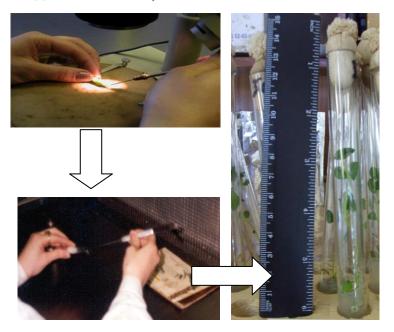


Рисунок 3. 8. Выращивание меристемного растения картофеля от выделения клона до сформированного растения через 30 дней

3. Контроль – освещение (облучение) лампами ЛБ 80, используемыми в меристемной лаборатории ФГБНУ УНИИСХ.

Разработана программа на языке лестничных диаграмм (LADDER diagram) для ПЛК имитирующая спектр излучения Перу (рис. 3.9), которая обеспечивает работу LED фитоустановки в течение 30 дней по 16 часов в сутки, поддерживая требуемые дозы спектральных составляющих зоны ФАР, как это происходит при естественных условиях.

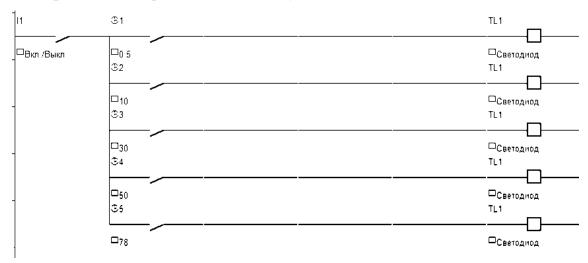


Рисунок 3. 9 Система управления на языке лестничных диаграмм (LADDER) Zelio Logic для Перу

Разработана программа на языке лестничных диаграмм (LADDER diagram) для Краснодара, которая обеспечивает работу LED фитоустановки в течение 30 дней по 16 часов в сутки и в первые 10 дней имитируется спектр марта, следующие 10 дней имитируется спектр апреля и последние 10 дней имитируется спектр мая (рис. 3.10).

		© 1	TL1 \square
		□0,5	□Светодиод
11		Ф2	TL1
□Вкл./Выкл.	□Март	□10	⊏светодиод
		Ф3	TL1
		□ s o	⊏светодиод
		⊕4	TL1
			□Светодиод
		© 1	TL1
		□,5	Светодиод
		© 2	TL1
	□Апрель		Светодиод
	Alipello	Фз	TL1
			⊏Светодиод
		©4	TL1
		—————————————————————————————————————	
		©1	⊏светодиод ТL1
	-		
		□ 0,5 ⊕2	⊏Светодиод TL1
	—Май	□10 ©3	⊏Светодиод TL1
		□30 ©4	⊏Светодиод TL1
		⊏50	⊏Светодиод
		©5	TL1
		□ 78	— Светодиод

Рисунок 3. 10 Система управления на языке лестничных диаграмм (LADDER) Zelio Logic для Краснодара

Для использования ПЛК фирмы Овен разработана программа в среде программирования CoDeSys. В этой программе заложены данные, как по изменению спектрального состава Перу, так и для юга России, Краснодар (рис. 3.11). В дальнейшем эта программа нами усовершенствовалась. Ее описание изложено в разделе 3.4.1.

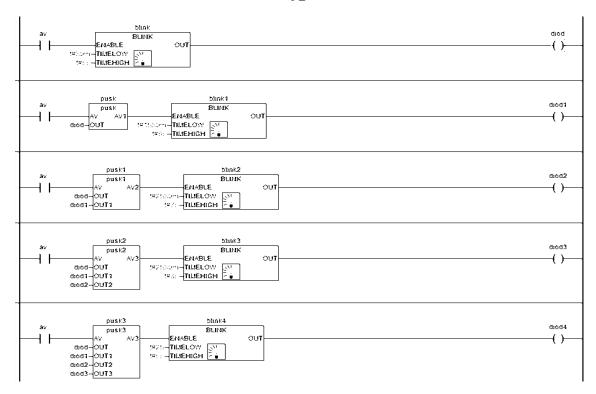


Рисунок 3. 11 Система управления на языке релейной (лестничной) логики в программе CoDeSys для ПЛК фирмы Овен

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

3.3. РАСЧЕТ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ФИТОИСТОЧНИКА В ЗОНЕ ФАР И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Значительный вклад в разработку методики расчета дозы облучения внесли ученые: Ю.М. Жилинский, В.Д. Свентицкий И.И., Кумин, В.А. Козинский, Н.П. Большина, Д.Н. Лазарев, В.А. Белинский, С.С. Шевель, И.Р. Владыкин, В.N. Singh, С.Р. Кароог, R.S. Choudhari и многие другие.

Элементы методик определения дозы облучения, изложенных в вышеперечисленных работах, целесообразно использовать и в наших расчетах для фитоустановки, т.к. их применение широко известно и доказало свою практическую ценность уже не в один десяток лет.

3.3.1. РАСЧЕТ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ LED ФИТОУСТАНОВКИ

Предлагаемая нами LED фитоустановка для облучения меристемного картофеля размещается над двумя – тремя штативами, в каждом из которых по 31 пробирке с меристемными растениями. Схема облучения показана на рис. 3.12.

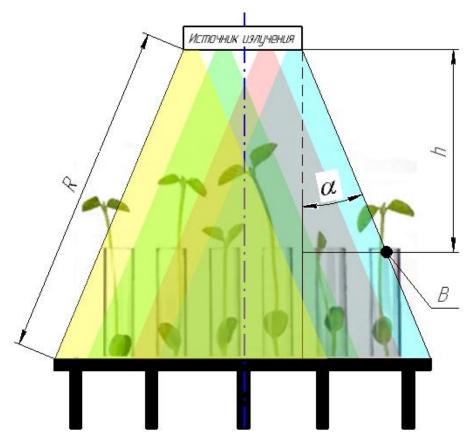


Рисунок 3. 12 Схема облучения для расчета дозы спектральных составляющих от LED фитоустановки

Доза облучения от LED фитоустановки определяется по выражению (2.2) и зависит от времени выдержки меристемного картофеля под источником излучения и интенсивности излучения светодиодов.

В соответствии с основным законом светотехники, облученность от источника в точке \boldsymbol{B} (рис.3.12) на плоскости составит:

$$E_{\rm B} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}, (B_{\rm T}/M^2) \tag{3.5}$$

где I_{α} – сила излучения на плоскости под углом α от нормали;

h — расстояние между источником излучения и плоскостью облучения по нормали (высота подвеса лампы).

Из литературы [54, 70, 125] известно, что облученность E, Bt/m^2 , на любой поверхности определяется по выражению:

$$E = \frac{d\Phi}{dS},\tag{3.6}$$

где Φ – облучающий поток;

S — площадь облучаемой поверхности.

Облученность отдельных участков листьев меристемных растений, не имеющих правильной геометрической формы, изменяется в зависимости от их формы и направления падающего потока.

Таким образом, допустим, что на некоторую поверхность S падает равномерный лучистый поток удельной мощности Φ_n , Вт/м^2 . На элемент этой поверхности приходится поток ΦdS , а его нормальная составляющая к этому элементу будет [38, 52, 54, 78]:

$$d\Phi_{H} = \Phi_{n} \cdot \cos \alpha \cdot dS, \tag{3.7}$$

где α – угол между направлением потока и нормалью к элементу.

Величина нормальной составляющей потока для стороны поверхности *S*, обращенной к потоку или части этой стороны, определим как:

$$\boldsymbol{\Phi}_{H} = \int \boldsymbol{\Phi}_{n} \cdot \cos \boldsymbol{\alpha} \cdot d\boldsymbol{S}, \tag{3.8}$$

где интеграл должен распространяться на интересующую нас часть поверхности [70].

Величина потока, падающего на поверхность листа, с учетом выражения (3.8), (после замены элемента поверхности dS его проекцией dS_{xy} на горизонтальную плоскость) запишется в виде:

$$d\Phi_{\rm H} = \Phi_{n} \cdot dS_{xy},\tag{3.9}$$

где x и y — координаты элемента.

Интегрированием этого выражения можно определить величину потока, падающего перпендикулярно на листа S_n , обращенной к облучающему потоку:

$$\boldsymbol{\Phi}_{H} = \boldsymbol{\Phi}_{n} \iint d\boldsymbol{S}_{xy}, (BT) \tag{3.10}$$

где S_{xy} – проекция поверхности листа на горизонтальную плоскость.

Выражение (3.10) показывает, что величина лучистого потока, падающего нормально на лист растения, равна произведению величины удельной мощности падающего лучистого потока на проекцию этой поверхности на горизонтальную плоскость и не зависит от формы поверхности листа [38, 70, 78]. Следовательно, нормальная средняя облученность, создаваемая падающим лучистым потоком на поверхности листа любой формы, равна облученности, создаваемой на проекции этой поверхности на облучаемую плоскость [38,70].

Отсюда следует, что средняя облученность, создаваемая на поверхности листа любой формы, будет меньше облученности, создаваемой на горизонтальной проекции облучаемой поверхности при одних и тех же условиях облучения во столько раз, во сколько эта поверхность больше своей проекции на горизонтальную плоскость. Обозначим это отношение через k_{ϕ} . Обе площади в настоящее время, возможно, измерить прибором-проектором.

Доза или количество облучения, которое получат меристемные растения за время нахождения под источником излучения, можно определить следующим способом:

$$H = \int E \cdot dt, (Дж/м^2)$$
 (3.11)

где t – время нахождения меристемных растений в зоне облучения.

С учетом того, что площадь облучаемой поверхности меньше, чем площадь излучающей поверхности светильника (рис. 3.12) имеем:

$$E_{\alpha} = E_0 \cdot \cos \alpha, \tag{3.12}$$

и принимая во внимание архитектонику меристемных растений, вводим коэффициент формы архитектоники меристемных растений, определяем облученность под центром светильника как:

$$\boldsymbol{E_0} = \boldsymbol{k_\phi} \cdot \boldsymbol{I_0} \cdot \boldsymbol{h},\tag{3.13}$$

где I_0 – сила излучения под центром лампы, Вт;

 k_{ϕ} – коэффициент формы;

h – высота подвеса источника излучения, м.

С учетом того, что для точки $B \cos \alpha$ равен отношению высоты подвеса лампы, к расстоянию от источника:

$$\cos \alpha = \frac{h}{R}.\tag{3.14}$$

Следовательно, доза облучения в крайней точке B, определяется по выражению:

$$H_B = \frac{k_\phi \cdot I_0 \cdot h^2 \cdot t}{R},\tag{3.15}$$

Определение дозы облучения меристемных растений по выражению (3.15) можно осуществлять в режиме реального времени с применением современных технологий, основанных на ПЛК.

3.4.1. ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ LED-ФИТОУСТАНОВКИ

В основе работы, предлагаемой нами LED фитоустановки, лежит искусственное обеспечение меристемных растений требуемыми дозами спектральных составляющих зоны ФАР.

Алгоритм расчета дозы облучения по выражению (3.15) в автоматическом режиме с использованием ПЛК показан на рис. 3.13.

При включении системы управления LED фитоустановкой с разными по спектру светодиодами, микроконтроллер начинает считывание данных с датчиков, которые реагируют на различную длину излучения зоны ФАР. При включении доза облучения не будет превышать заданного значения $H_{3a\partial}$. Далее ПЛК подает команду на включение LED фитоустановки. Аналогично проверяется каждое последующее значение дозы при каждом опросе датчиков, до тех пор, пока значение дозы не превысит $H_{3a\partial}$. При превышении дозы ПЛК подает команду на отключение соответствующих светодиодов. Таким образом, закончится работа LED фитоустановки в целом.

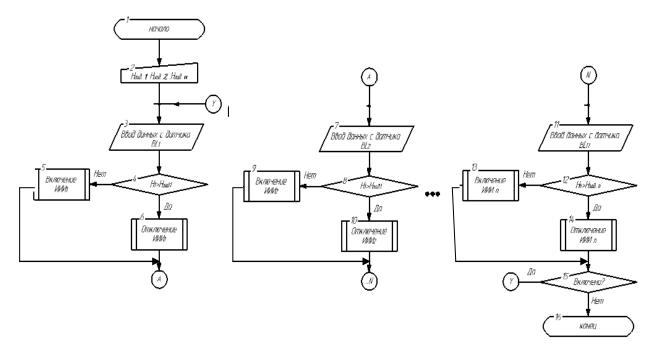


Рисунок 3. 13. Алгоритм работы LED фитоустановки

В нашем случае LED фитоустановка должна контролировать работу отдельных групп светодиодов различного спектра. Поэтому, предлагаем, обычную одноконтурную структуру регулирования дозы облучения, часто используемую, в настоящее время, в разных регуляторах, преобразовать в п-контурную, в зависимости от конкретного числа спектральных составов светодиодов, которые необходимо контролировать (рис. 3.14).

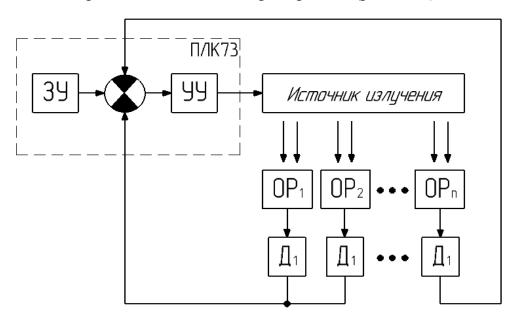


Рисунок 3. 14 N-контурная функциональная структура LED фитоустановки

3У – задающее устройство; УУ – устройство управления; $OP_1, OP_2, \dots OP_n$ – объекты регулирования; $Д_1, Д_2, \dots J_n$ – датчики облученности.

Здесь задающее устройство, элемент сравнения и управляющее устройство входят в состав программируемого логического контроллера (ПЛК), который управляет длительностью работы источников излучения, т.е. светодиодов различного спектра. Следовательно, осуществляет управляющее воздействие на объекты регулирования OP_1 , OP_2 , ... OP_n , под которыми понимают дозы облучения различного спектрального состава. В качестве звеньев обратной связи применяем датчики, настроенные на различный спектр $Д_1$, $Д_2$, ... $Д_n$. На основании показаний датчиков микроконтроллер выдает управляющие воздействия на источник излучения, регулируя время его работы. Таким образом, осуществляем регулирование доз различного спектрального состава на биологические объекты, т.е. меристемные растения.

Техническая реализация алгоритма управления и многоконтурной структуры управления работы LED фитоустановки следующая. Электрическая принципиальная схема показана на рис. 3.15.

Здесь элемент A1 — это программируемый логический контроллер. проведя анализ технических характеристик и цен мы остановили свой выбор на логическом контроллере фирмы «Овен» — российского производителя — ПЛК73. Не смотря большое количество аналоговых выходов для нашей LED фитоустановки потребуется модуль расширения выходных элементов MP1.

Питание этого модуля и ПЛК должно осуществляться синхронно. Для питания светодиодов используем понижающий трансформатор G1. Поскольку в работе LED фитоустановки целесообразно осуществлять регулирование пяти доз разного спектрального состава, то светодиоды в светильнике разбиты на 5 групп.

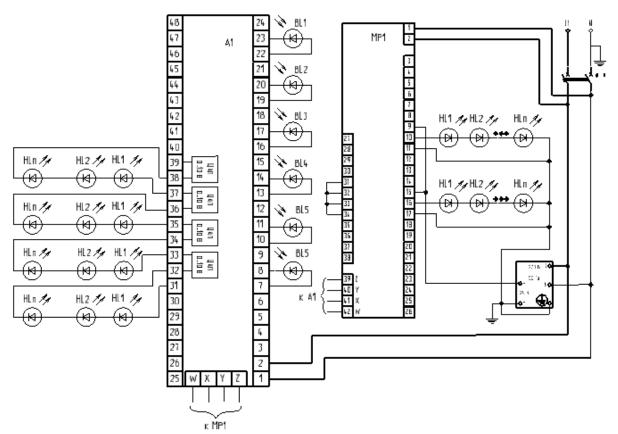


Рисунок 3. 15 Электрическая принципиальная схема работы LEDфитоустановки

Питание этого модуля и ПЛК должно осуществляться синхронно. Для питания светодиодов используем понижающий трансформатор G1. Поскольку в работе LED фитоустановки целесообразно осуществлять регулирование пяти доз разного спектрального состава, то светодиоды в светильнике разбиты на 5 групп.

Таким образом, в качестве воспринимающих элементов можно использовать различные фотодатчики $BL_1, BL_2, \dots BL_5$. Для которых под каждый спектральный состав необходимо применять различные светофильтры.

На рис. 3.16 приведены эпюры изменения доз спектральных составляющих для Перу и Краснодара.

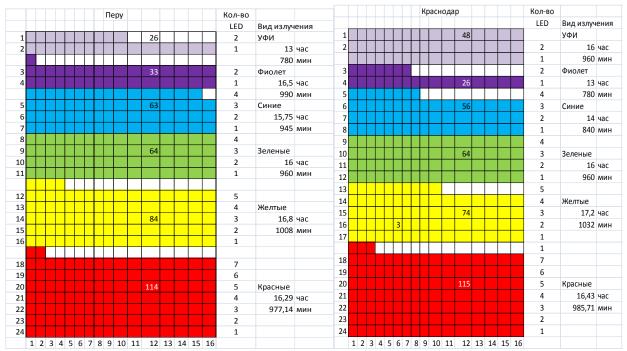


Рисунок 3. 16. Дозы спектральных составляющих зоны ФАР для Перу и Краснодара

В табл. 3. 5 показано время экспозиций каждой зоны, которую мы рассчитали по эпюрам (рис. 3.16).

Таблица 3. 5. Время экспозиции доз спектральных составляющих, мин

Вид излучения	Перу	Краснодар
УФИ	780	960
Фиолетовое	990	780
Синее	945	840
Зеленое	960	960
Желтое	1008	1032
Красное	977,14	985,71

Для выполнения поставленных технических задач мы выбрали ПЛК 63, имеющие аналоговые входы и дискретные выходы (рис. 3.17).

На рисунке 3.18 представлен фрагмент программы работы фитоустановки для ПЛК 63. На аналоговый 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.

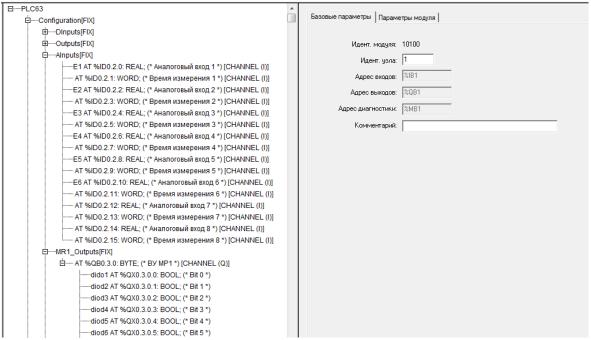
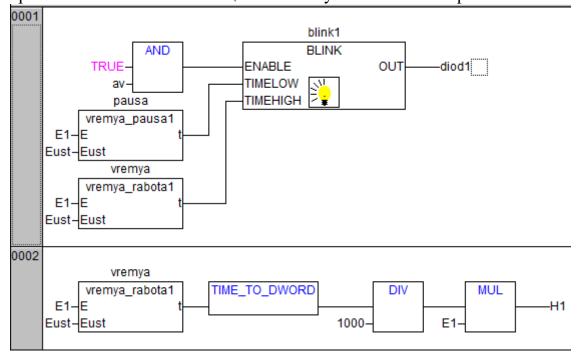
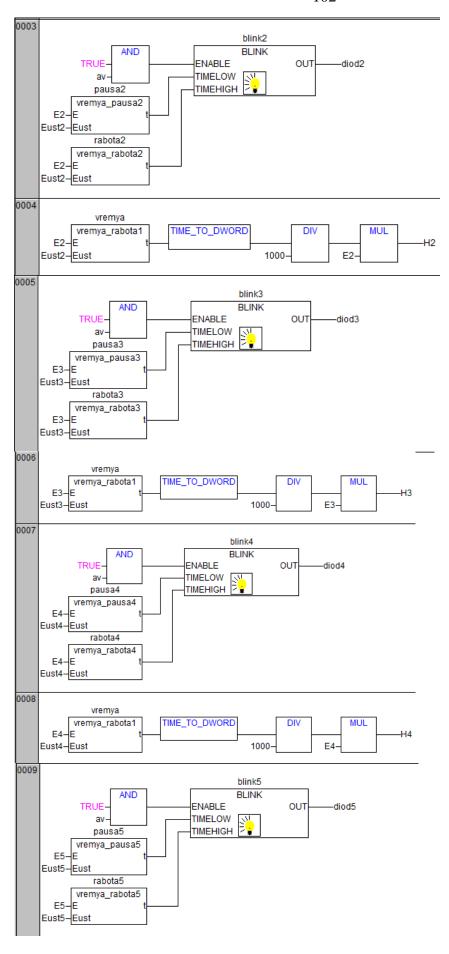


Рисунок 3. 17. Конфигурация ПЛК 63

Результаты разработки инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys» показаны на рис. 3.18.





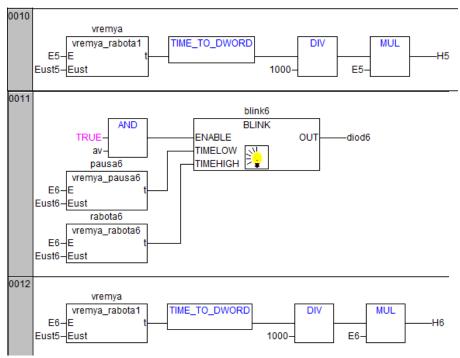


Рисунок 3. 18. Программа на языке FBD для инструментального программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys»

Описание программы приведено в приложении 3.

На рис. 3.19 наглядно показано различие доз спектральных составляющих зоны ФАР.

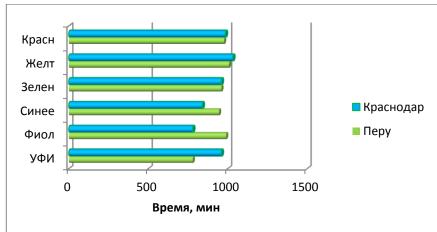


Рисунок 3. 19. Сравнение экспозиций доз спектральных составляющих зоны ФАР

Анализ рис. 3.19 показывает, что значительные отличия наблюдаются в коротковолновой части излучения зоны ФАР.

выводы по третьей главе

- 1. На основании анализа специальной литературы нами в 2012 г. были разработаны две экспериментальные LED фитоустановки. Первая состояла из 15 красных LED марки LXHL-MH1D (62,5%) и 9 синих LED марки LXHL-FB1C (37,5%). Мощность каждого LED составляла 1 Вт. Напряжения питания для красных LED оставляло 2,95 В, для синих LED 3,42 В. Вторая установка состояла из 16 красных LED марки LXHL-MH1D, 8 синих LED маркиLXHL-FB1C и 8 белых LED маркиLXHL-WW1S. Мощность каждого LED составляла 1 Вт. Напряжения питания для красных LED оставляло 2,95 В, для синих LED 3,42 В, для белых 3В В.
- 2. В 2015 году, принимая во внимание утверждение биологов о том, что целесообразно создать спектр излучения, соответствующий исторической родине картофеля, были разработаны две новых LED фитоустановки, имитирующих спектр Перу и для сравнения Краснодара.
- 3. Для реализации технических задач, поставленных в п. 3, для ПЛК были разработаны системы управления на языке Ladder диаграмм и для среды программирования CoDeSys. Реализации режимов облучения осуществлялась с помощью ПЛК, для которых были разработаны соответствующие программы управления по имитации солнечного спектра генетической родины картофеля государства Перу в течение 30 дней; по имитации солнечного спектра для широты Краснодара в общей сложности в течение 30 дней: в течение 10-ти дней как в марте, затем 10 дней как в апреле и оставшиеся 10 дней как в мае. Контроль освещение (облучение) лампами ЛБ, используемыми в меристемной лаборатории ФГБНУ УНИИСХ.
- 4. Разработанные системы управления светодиодной установкой на базе ПЛК позволяют имитировать спектральный состав излучения для любой местности в течение дня и на протяжении требуемых месяцев.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

4.1.ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ

Эксперименты проводились в меристемной лаборатории на базе ФГБНУ Удмуртский НИИСХ Удмуртской Республики с 2009 по 2015 гг. [45, 46, 154]. В этом институте технология размножении меристемных растений была достаточно подробно описана Козыревой Е.А. [75].

Преимущества меристемных растений заключаются в том, что они не поражаются вирусами, даже если меристемные ткани были взяты у зараженного растения, т. к. вирус не поражает меристемы на верхушках побегов. Кроме этого урожайность меристемных растений выше в 2...2,5 раза по сравнению с обычными растениями. Меристемное размножение дает возможность получения огромного количества однородных здоровых растений за короткое время (более тысячи растений в год от одного маточного растения).

Оздоровление картофеля включает в себя предварительную подготовку клубней к выделению меристем; вычленение верхушечных меристем из ростков; получение первых регенератов (растений); черенкование; тщательную проверку их на зараженности вирусами методом иммуноферментного анализа (ИФА); проверку оригинальности сорта; поддержание и сохранение в стерильных условиях коллекции оздоровленных сортов. Оздоровленный исходный материал получают в больших количествах методом ускоренного размножения картофеля (микрочеренкованием) (рис. 4.1).

Меристемные растения — это не генно-модифицированные растения. Генно-модифицированные растения получают путем удаления из их генной структуры «вредных» генов или путем внедрения «полезных». При микро-клональном размножении клетка не подвергается никаким изменениям, соот-

ветственно растение не приобретает новых свойств или новых сортовых качеств [94, 95, 95, 97, 98].

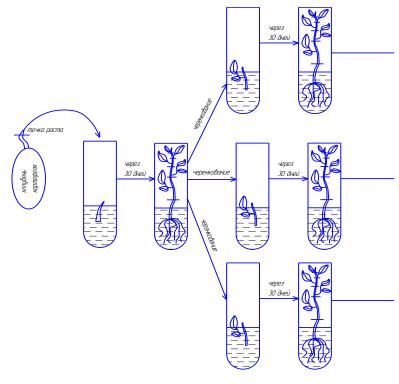


Рисунок 4. 1 Схема получения меристемного картофеля у Козыревой Е.А. [75]

На рис. 4.2 показан фрагмент меристемной лаборатории ФГБНУ Удмуртский НИИСХ Удмуртской Республики.





Рисунок 4. 2. Размещение пробирок в штативах на стеллажах

Таких стеллажей в меристемой картофельной лаборатории ФБГНУ УГИИСХ 13 штук. На каждом стеллаже работают 15 ламп по 80 Вт. В шта-

тив входит 31 растение, на одну полку размещают по 4...5 штативов с растениями (рис. 4.3).



Рисунок 4. 3. Размещение в пробирках черенкованных растений (начальная стадия роста)

В настоящее время технология производства семенного материала в ФГБНУ УНИИСХ несколько изменена и показана в табл. 4.1. Наши исследования проводились только для первого

года выращивания.

Таблица 4. 1. Технологическая схема получения картофеля в ФГБНУ УНИИСХ

П	Гериод	Этап	Кол-во, шт	Урожай- ность	Сохран- ность	Примечание
	нварь - май	Меристема на 13 стеллажах	20 000 25 000	-	90%	
lгод	Июнь -	Укрываемые теплицы	5 000	712 мини клубней с растения	90%	На продажу по 15 руб за клубень
сен	сентябрь	Открытый грунт	20 000	712 мини клубней с растения	50%	На продажу по 15 руб за клубень
2 год		Питомник кло- нов (ПК)	-	150 ц/га		
3 год		Супер- суперэлита	1	200 ц/га		На продажу
4 год		Супер элита	-	200230 ц/га		На продажу
5 год		Элита	-	230250 ц/га		На продажу

Потребность Удмуртской Республики в меристемном картофеля составляет 23 000 шт. Главным заказчиком является ООО «Европлант». С одного меристемного растения картофеля, высаженного в укрывные теплицы или открытый грунт, собирают от 7 до 12 мини клубней весом 20...30 г и размером 30...40 мм (рис. 4.4). С площади 0,8 га обычно получают 15...16 тонн тепличных мини — клубней при грядовой схеме посадки в шахматном порядке. Стоимость одного мини-клубня в Удмуртии 15 руб./шт., в Москве — 45 руб./шт.



Мини - клубни используются для закладки в полевых условиях питомника, объединенных мериклонов. Из клубней, объединенных мериклонов закладываются питомники супер — суперэлиты. Густота посадки составляет 40..50 тысяч клубней на гектаре, в зависимости от размеров фракции.

Рисунок 4. 4. Схема посадки картофеля

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем:

- 1. Закрепление LED фитоустановок на стеллажах, измерение параметров микроклимата.
- 2. Отбор меристемных растений для контроля и опытов, измерение площади листьев растений в начале опыта и в дальнейшем через каждые десять дней.

4.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 2009 года

Для определения площади листьев был использован специальный проектор (рис.4.5), разработанный Н.П. Большиной Н.П. [9].

Проектор работает от сети напряжением 220 В, которое подается на лампу накаливания мощностью 60 Вт (2). Для перераспределения светового потока от лампы служит отражатель (1), который направляет его через щель (3). В этот световой поток помещается пробирка (4) с меристемным растением (5). Световой поток, проходя через листья меристемного растения, проецирует их тень на плоский селеновый фотоэлемент (6) люксметра (7).

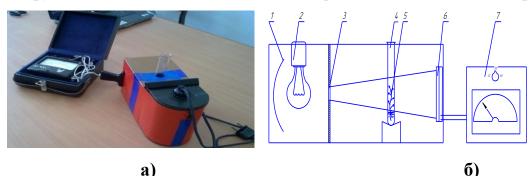


Рисунок 4. 5. Общий вид специального проектора для определения общей площади листьев меристемных растений (а) и схема его работы (б)

1 – отражатель; 2 – источник излучения; 3 – матовое стекло; 4 – пробирка; 5 – растение; 6 – селеновый фотоэлемент; 7 – люксметр.

Для определения площади листьев, была снята градировочная кривая (рис. 4.6).

Общая площадь ассимиляционной поверхности листьев определялась как средняя геометрическая от суммы двух взаимно перпендикулярных проекций растений.

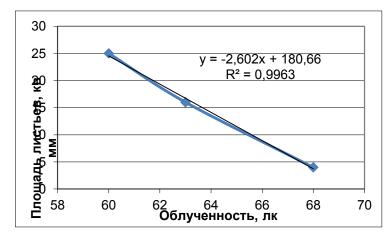


Рисунок 4. 6 Градуировочная кривая для определения площади листьев меристемного картофеля

x - освещенность, лк; y – площадь, mm^2

В 2009 году сравнивались два способа облучения:

- 1. Непрерывный режим с люминесцентными лампами ЛБ-80;
- 2. Непрерывный режим со светодиодами (синими и белыми);

В качестве источников излучения использовались люминесцентные лампы марки ЛБ-80 и светодиоды: белые -10 мм БЦ-ПР 22 кд 20 гр, 10 мм БЦ-ПР 70 кд; синие — 10 мм БЦ-ПР 20 кд. Освещенность (облученность) измерялась люксметром типа ТКА и составляла 4000...7000 лк, измерения ультрафиолетового излучения - УФ-Радиометром «ТКА-АВС» (рис. 4. 7).



Рисунок 4. 7.. Общий вид люксметра, радиометра ТКА и облучательной установки 2009 года

На рис. 4.8 приведена электрическая принципиальная схема облучательной установки на светодиодах 2009 года.

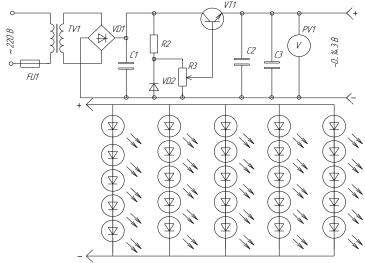


Рисунок 4. 8. **Схема электрическая принципиальная облучательной установки на светодиодах**

Цифровым мультиметром марки DT-838 измеряли падение напряжения на каждом светодиоде, ток каждой ветви и общий потребляемый ток, результаты приведены в таблице 4.2.

Таблица 4. 2 Значение токов ветвей и падения напряжения

		Параметр						
Номер све-	Синие светодиоды		Белые сп	ветодиоды	Белые светодиоды(70кд)			
тодиода в			(22	2кд)				
ветви	Напря-	Ток ветви,	Напряже-	Ток ветви,	Напряже-	Ток ветви, мА		
	жение, В	мА	ние, В	мА	ние, В			
1	2.77±0,2		2.79±0,2		2.84±0,2			
2	2.74±0,2		2.79±0,2		2.73±0,2			
3	2.81±0,2	9.25	2.77±0,2	13.4	2.74±0,2	16.0		
4	2.72±0,2		2.78±0,2		2.76±0,2			
5	2.74±0,2		2.76±0,2		2.85±0,2			

Результаты производственных испытаний 2009 года

Облучательная установка на светодиодах испытывалась при выращивании меристемного картофеля в меристемной лаборатории ГНУ Удмуртский ГНИИСХ. Начало эксперимента 17 апреля 2009 г., окончание эксперимента 18 мая 2009 г.

Испытывалась облучательные установки из синих светодиодов; белых светодиодов со световым потоком 22 кд; белых светодиодов со световым потоком 70 кд. В меристемной лаборатории поддерживалась температура в пределах $+25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, фотопериод составлял 16 часов в сутки. Полученные результаты показаны в таблице 4.3 и на рис. 4.9.

Таблица 4. 3. Результаты 2009 года по облучению меристемного картофеля светодиодными установками

Источник излучения	Облучен- ность, клк	Количество меристемных растений, шт.	Средняя вы- сота растений см	Количество корней, шт
Лампы типа ЛБ 80 (контроль)	4,0±0,2	60	9,2±0,4	31±2
Светодиоды синие	1,9±0,15	60	8,5±0,5	30±1,5
Светодиоды белые (22 Кд)	3,2±0,18	60	9,0±0,3	30±2
Светодиоды белые (70Кд)	4,5±0,21	60	9,4±0,4	31±2

Результаты исследований показывают, что использование светодиодов со световым потоком 70 кд позволяют улучшить биометрические показатели меристемных растений и способствуют значительной экономии электрической энергии на 40...50%.

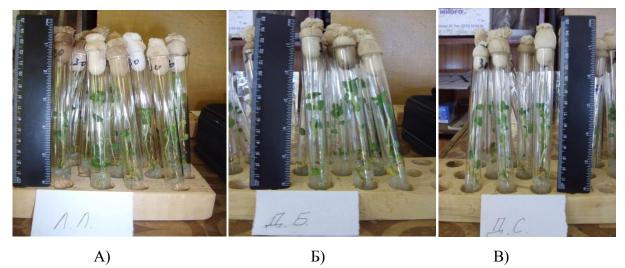


Рисунок 4. 9. Меристемные растения облучаемые люминесцентными и светодиодами: А) ЛЛ- люминесцентные лампы; Б) ДБ- светодиод белый; В) ДС- светодиод синий

На основании полученных результатов был составлен акт, свидетельствующий о внедрении законченной научно-исследовательской работы по влиянию различных по спектральному составу облучательных установок на рост и развитие меристемного картофеля сорта «Удача», в котором говорится, что результатом законченной научно-исследовательской работы является облучательная установка на светодиодах, разработанная д.т.н., профессором Кондратьевой Надеждой Петровной, аспирантом Большиным Романом Геннадьевичем и студентом – дипломником Трониным Александром Юрьевичем (Приложение 1),

Предлагаемая облучательная установка выполнена на светодиодах, излучающих белый цвет и имеющих поток излучения 70 Кд и обеспечивает уровень облученности меристемных растений картофеля в диапазоне 4...4,5 клк.

Экономический эффект при использовании облучательной установки на светодиодах выражается в экономии электрической энергии на 40..50% при улучшении качества меристемного картофеля на 8...10%..

4.4 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 2010 года

В экспериментах 2010 г. сравнивались два способа облучения:

- 1- Непрерывный режим с люминесцентными лампами ЛБ-80.
- 2- Непрерывный режим со светодиодами (синими и красными).

В качестве источников излучения использовались люминесцентные лампы марки ЛБ-80 и светодиоды: Cree® XLampTMXR-E7090 красного и синего цвета.

Облученность измерялась люксметром типа ТКА и составляла 4000...7000 лк. Также были проведены измерения по ультрафиолетовому излучению УФ-Радиометром «ТКА-АВС». Разработанная установка со светодиодами была расположена вертикально, параллельно штативу с пробирками. Ввиду того, что светодиоды излучают свет рассеянным пучком, то на них были установлены специальные линзы, выполненные из пластика (рис. 4.10).

Цифровым мультиметром марки DT-838 замеряли падение напряжения на каждом светодиоде, ток каждой ветви и общий потребляемый ток (таблица 4.4).

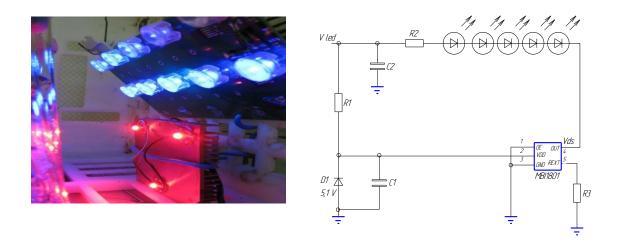


Рисунок 4. 10. Общий вид облучательной установки 2010 года и схема электрическая принципиальная одной ветви облучательной установки на светодиодах

Но-Параметр мер Синие светодиоды (номи-Красные светодиоды свето-Синие светодиоды нальный ток одного све-(350 MA)(1200 MA)диода тодиода - 350 мА) в вет-Напряже-Ток ветви, Напряже-Ток ветви, Напряже-Ток ветви ние, В ние, В мА ние, В мА ви, мА 1 3 ± 0.1 3 ± 0.1 3 ± 0.1 2 3 ± 0.1 3 ± 0.1 $3\pm 0,1$ 3600 1750 1750 3 3 ± 0.1 3 ± 0.1 3 ± 0.1 4 3 ± 0.1 3 ± 0.1 5 $3\pm0,1$ $3\pm 0,1$

Таблица 4. 4. Значение токов ветвей и падения напряжения

Результаты производственных испытаний 2010 года

Испытывалась сине-красная облучательная установка, включающая синие светодиоды 10 шт. и красные светодиоды 3 шт. Начало эксперимента 7 апреля 2010 г., окончание эксперимента 7 мая 2010 г.

В меристемной лаборатории поддерживалась температура в пределах $+25^{0}$ C \pm 1^{0} C, фотопериод составлял 16 часов в сутки. Освещенность под лампами ЛБ 80 составляла 4,0 \pm 0,2 клк, под сине-красной светодиодной установкой – 2,5 \pm 0,2 клк. В каждом опыте было по 60 растений.

Фотопериод для растений задавался с помощью специального электронного таймера, с возможностью программирования до нескольких включений и отключений в сутки (рис. 4. 11).



 Максимальная мощность:
 3.5 кВ

 Напряжение:
 220 В

 Номинальный ток:
 16 А

 Материал:
 пластиковый корпус

 Степень защиты:
 IP20

Рисунок 4. 11. Электронный таймер

Полученные результаты приведены в таблицах 4.5 и 4.6.

Таблица 4. 5. Динамика изменения площади листьев меристемного картофеля сорта «Ладожский» при выращивании под сине-красной светодиод. установкой в 2010 г.

Похоложи		Дни измерения					
Показатели	Показатели			На 20-й	На 30-й		
		48,90	50,45	52,56	54,71		
Площадь листьев, мм ²		48,70	51,45	53,52	54,17		
		48,92	50,03	52,83	53,79		
Среднеарифметическое, мм ²		48,84	50,64	52,97	54,22		
Среднеквадратическое отклонение		0,528	0,630	3,091	2,271		
		1,06%	1,21%	0,52%	0,45%		

Таблица 4. 6 Динамика изменения площади листьев меристемного картофеля сорта «Ладожский» при выращивании под лампами ЛБ 80 (контроль) в 2010 г.

Показатели		Дни измерений					
		Начало	На 10-й	На 20-й	На 30-й		
Площадь листьев, мм ²		48,70	50,65	51,03	51,49		
		48,01	49,65	50,57	50,80		
		49,90	49,72	51,22	51,35		
Среднеарифметическое	, MM ²	48,87	50,01	50,94	51,21		
Среднеквадратическое	MM^2	0,374	0,427	0,247	0,275		
отклонение	%	0,77%	0,85%	0,48%	0,54%		

Полученные результаты показаны на рис. 4. 12 и 4.13.

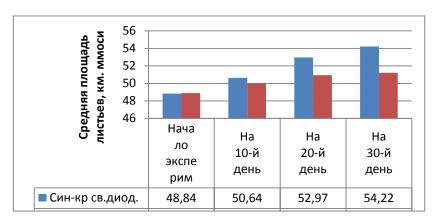


Рисунок 4. 12. Динамика изменения средней площади листьев меристемного картофеля сорта «Ладожский» при выращивании под разными источниками в 2010 г.

Результаты проведенных исследований показывают, что использование сине-красных светодиодов позволяет не только улучшить биометрические показатели меристемных растений, но и способствуют значительной экономии электрической энергии на 40...50%.





А) ЛЛ Б) СД

Рисунок 4. 13 Меристемные растения, облучаемые люминесцентными и светодиодами: А)ЛЛ- люминесцентные лампы; Б) СД- светодиоды в опыте 2010 г.

На основании полученных результатов был получен акт о внедрении законченной научно-исследовательской работы по влиянию различных по спектральному составу облучательных установок на рост и развитие меристемного картофеля сорта «Ладожский».

Экономический эффект при использовании облучательной установки на светодиодах выражается в экономии электрической энергии на 40..50% при улучшении качества меристемного картофеля на 8...10%...

4.5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2012 г

Испытывались облучательные установки со следующими светодиодами: синие марки LXHL-FB1C; красные марки LXHL-MH1D; белые марки LXHL-WW1S [14, 19, 20, 129, 130, 132].

В 2012 г. исследовались три способа облучения растений:

1 вариант: сине-красная LED фитоустановка с соотношением синих и красных светодиодов 37% и 63% (рис. 4.14).

- 2 вариант: сине-красно-белая LED фитоустановка с соотношением синих, красных и белых светодиодов соответственно 25%; 50% и 25%.
- 3 вариант: контроль люминесцентный светильник с электронным ПРА и лампами ЛБ 80.



Рисунок 4. 14. Фото LED фитооблучателей для 1 и 2 вариантов

Начало эксперимента 7 апреля 2012 г., окончание эксперимента 7 мая 2012 г. В меристемной лаборатории поддерживалась температура в пределах $+25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, фотопериод составлял 16 часов в сутки. В каждом эксперименте было по 60 растений.

Фотопериод для растений задавался с помощью специального интеллектуального Zelio реле, с возможностью программирования до нескольких включений и отключений в сутки, а также контроля освещенности по спектру и интенсивности.

Результаты экспериментов приведены в таблицах 4.7, 4.8 и 4.9.

Таблица 4.7 Динамика изменения площади листьев меристемного картофеля сорта «Ладожский» при выращивании под сине-красной LED фитоустановкой в 2012 г.

Показатели		Дни измерений					
Показатели		Начало	На 10-й	На 20-й	На 30-й		
		49,61	53,59	57,36	58,59		
Площадь листьев, мм ²	Площадь листьев, мм ²		53,57	57,51	58,69		
		49,53	53,53	57,43	58,39		
Среднеарифметическое, мм ²		49,62	53,56	57,43	58,56		
Среднеквадратическое м	IM ²	0,126	0,603	0,409	0,382		
отклонение	%	0,25%	1,18%	0,76%	0,70%		

Таблица 4. 8 Динамика изменения площади листьев меристемного картофеля сорта «Ладожский» при выращивании под сине-красно-белой LED фитоустановкой в 2012 г.

Поморожани		Дни измерений					
Показатели		Начало	На 10-й	На 20-й	На 30-й		
		49,9	55,06	59,69	61,09		
Площадь листьев, мм ²		50,7	55,08	59,95	61,28		
		49,2	55,09	59,93	61,29		
Среднеарифметическое	, MM ²	49,93	55,08	59,86	61,22		
Среднеквадратическое	MM^2	0,322	0,332	0,120	0,298		
отклонение	%	0,65%	0,63%	0,22%	0,52%		

Таблица 4. 9 Динамика изменения площади листьев меристемного картофеля сорта «Ладожский» при выращивании под лампами ЛБ 80 (контроль) в 2012 г.

windowerthin, the perhamination and similarity of (Kontposid) is 2012 i.							
Пахиология		Дни измерений					
Показатели		Начало	На 10-й	На 20-й	На 30-й		
		49,7	50,65	52,56	53,49		
Площадь листьев, мм ²		50,01	51,65	52,79	53,85		
		49,9	50,72	52,29	52,35		
Среднеарифметическое, мм ²		49,87	51,01	52,55	53,23		
Среднеквадратическое мм		0,5188	0,4649	0,2783	0,3038		
отклонение	%	1,03%	0,91%	0,54%	0,58%		

На рис. 4.15 показана динамика изменения площади листьев.

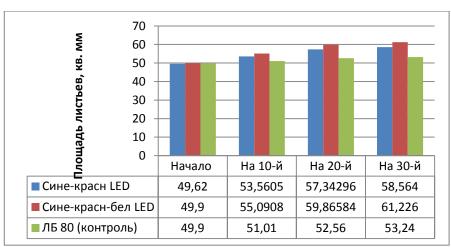


Рисунок 4. 15. Динамика изменения площади листьев при облучении разными по спектру источниками

В таблицах 4.10 и 4.11 приведены результаты лабораторных экспериментов 2012 г.

Таблица 4. 10. Результаты лабораторных экспериментов по влиянию спектра излу-

чения на рост и развитие меристемного картофеля в опыте 2012 г.

	Освещен-	Количество	Средняя
Источник излучения	ность (облу-	меристем-	площадь
источник излучения	ченность),	ных расте-	листьев,
	клк	ний, шт.	MM ²
Сине-красная LED фитоустановка	3,6±0,1	60	58,56
Сине-красно-белая LED фитоустановка	3,4±0,3	60	61,23
ЛБ 80 (контроль)	4,0±0,2	60	53,24

Таблица 4. 11. Результаты лабораторных экспериментов по влиянию спектра излу-

чения на рост и развитие меристемного картофеля в опыте 2012 г.

	Освещен-	Количество	Средняя
Источник излучения	ность (облу-	меристем-	площадь
источник излучения	ченность),	ных расте-	листьев,
	клк	ний, шт.	MM^2
LED фитоустановка имитирующая сол-			
нечный спектр на широте Краснодара –	$3,6\pm0,1$	60	58,56
житницы России			
LED фитоустановка имитирующая сол-			
нечный спектр на широте государств Перу	$3,4\pm0,3$	60	61,23
 исторической родины картофеля 			
ЛБ 80 (контроль)	4,0±0,2	60	53,24

На рис. 4.16 приведены фото исследуемых фитоустановок

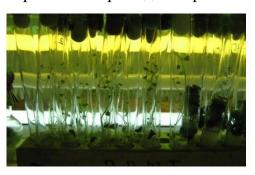




Рисунок 4. 16 Фото экспериментальных меристемных растений в опыте 2012 г.

Предлагаемые облучательные установки выполнены на светодиодах, излучающих красный, синий и белый цвет с длинами волн от 450 до 650 нм и обеспечивают уровень облученности меристемных растений в диапазоне 3...4 клк.

Экономический эффект при использовании облучательной установки на светодиодах выражается в экономии электрической энергии на 70..80% при улучшении качества меристемных растений на 10...15%..

4.6. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2015 года

Интеллектуальный светодиодный светильник, позволяющий регулировать спектральный состав излучения и разработанный представителями ФГБОУ ВПО Ижевской ГСХА, испытывалась при выращивании меристемного картофеля в меристемной лаборатории ФГБНУ УНИИСХ. Испытывалась облучательная установка, включающая красные, зеленые, желтые и сине-фиолетовые светодиоды (рис. 4. 17). Размеры LED фитоустановки составляли 650 х 130 мм.

В меристемной лаборатории поддерживалась температура в пределах $+27^{0}$ C \pm 1^{0} C, фотопериод составлял 16 часов в сутки.



Рисунок 4. 17. Панель интеллектуальной LED фитоустановки и общий вид предлагаемой LED фитоустановки с возможностью регулирования спектрального состава 2015 года

Общая площадь ассимиляционной поверхности листьев меристемного картофеля измерялась прибором-проектором через каждые 10 дней и определялась как средняя арифметическая от суммы двух взаимно перпендикулярных проекций листьев растений (рисунок 4.18).

В меристемной лабораторий в 2015 году проводились эксперименты по влиянию разного спектрального состава излучения интеллектуальной LED фитоустановки на рост и развитие меристемного картофеля.

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 основной житнице Росси Краснодара.
 - 3. Люминесцентные лампы мощностью ЛБ 80 Вт (контроль).

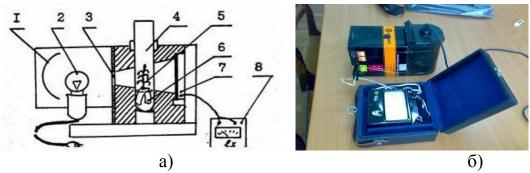


Рисунок 4. 18 Прибор-проектор для определения общей площади листьев меристемных растений

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.

Описание фитооблучательных установок

Количество светодиоды для имитации спектра Перу и Краснодара было получено нами исходя из расчета доз спектральных составляющих зоны ФАР, показанных на рис. 3.16.. Схематичное расположение светодиодов показано на рис. 4.19.

1 ряд	красный	фиолет	красный	УФ	красный	зеленый	красный	зеленый
2 ряд	синий	желтый	синий	желтый	синий	желтый	синий	желтый
3 ряд	зеленый	красный	зеленый	красный	желтый	красный	фиолет	УФ

Рисунок 4. 19 Схема расположения светодиодов для имитации спектров изучения Перу («Схема Перу») и Краснодара («Схема Краснодара»)

Для получения требуемых доз спектральных составляющих время работы светодиодов одного цвета в этих двух схемах различное и определяется в соответствии с табл. 4.12.

Таблица 4. 12. Относительная продолжительность (экспозиция) спектральных составляющих зоны ФАР.

Вид излу- чения	LED	Длина вол- ны, нм	Перу	Краснодар
УФИ	LED-001W-000-000LM-EL-P	370380	77,38%	93,02%
Фиол	LED-001W-47C-012-020LM-EL-P	420430	98,21%	75,58%
Синее	LED-001W-06C-040-060LM-EL-P	460470	93,75%	81,40%
Зелен	LED-001W-05C-100-130LM-EL-P	520530	95,24%	93,02%
Желт	LED-001W-04C-050-070LM-EL-P	585595	100,00%	100,00%
Оранж	LED-001W-03C-060-080LM-EL-P	600610	100,00%	100,00%
Красн	LED-001W-02C-090-100LM-EL-P	620630	96,94%	95,51%

В таблице 4.13 приведены технические данные этой установки.

Таблица 4. 13. Технические данные LED фитоустановки

Расположение	Светодиоды	Количест-	Мощно	сть, Вт	Мощность источ-
1 исположение	СБСТОДИОДЫ	во, шт.	одного	всех	ника питания, Вт
	Красные	4	1	4	
	Желтые	-	-	-	
1	Зеленые	2	1	2	15
1 ряд	Синие	-	-	-	15
	Фиолетовые	1	1	1	
	УФ	1	1	1	
	Красные	-	-	-	
	Желтые	4	1	4	
2 2 2	Зеленые	-	-	-	15
2 ряд	Синие	4	1	4	15
	Фиолетовые	-	-	-	
	УФ	-	-	-	
	Красные	3	1	3	
	Желтые	1	1	1	
2	Зеленые	2	1	2	1.5
3 ряд	Синие	-	-	-	15
	Фиолетовые	1	1	1	
	УФ	1	1	1]
Итого		24	_	24	45

Результаты исследований показаны в таблицах 4.14, 4.15.

Таблица 4. 14. Исследование влияния спектрального состава излучения фитоустановок на развитие меристемного картофеля

Параметры	Схема Перу	Схема Краснодар	ЛБ 80 (контроль)
Действительное время работы облуча- тельной 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 со схемой Перу [24, 26, 27].

Таблица 4. 15. Результаты опытов по облучению меристемного картофеля

Характеристики расте-	Способ облучения			
ний	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	2,7	2,7	2,06	

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

выводы по четвертой главе

- 1. Эксперименты по влиянию спектрального состава на рост и развитие меристемного картофеля проводились в меристемной лаборатории на базе ФГБНУ Удмуртский НИИСХ Удмуртской Республики с 2009 по 2015 гг.
- 2. В экспериментах 2009 года использовалась облучательная установка, выполненная на светодиодах, излучающих белый цвет с потоком излучения 70 Кд и обеспечивающая уровень облученности меристемных растений картофеля в диапазоне 4...4,5 клк, позволяющая сэкономить электрическую энергию на 40..50% при улучшении качества меристемного картофеля сорта «Удача» на 8...10%...
- 3. В экспериментах с 2010 по 2014 гг в LED фитоустановках использовались мощные синие, красные и белых светодиоды, позволяющие сэкономить электрическую энергию на 40..50% при улучшении качества меристемного картофеля сорта «Ладожский» на 10...15%...
- 4. Для обоснования наиболее эффективного спектра LED фитоустановок в 2015 г. испытывались LED фитоустановки, имитирующие спектры излучения Перу и Краснодара. В качестве контроля использовались лампы мощностью 80 Вт, которые применяются в этой меристемной лаборатории.
- 5. Сравнение этих трех фитоустановок показало, что наиболее эффективным для меристемного картофеля является установка, имитирующая спектр Перу (схема Перу), применение которой позволяет снизить удельный расход электрической энергии на 50%.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ LED ФИТОУСТАНОВОК ПРИ ВЫРАЩИВАНИИМЕРИСТЕМНОГОКАРТОФЕЛЯ

Основным путем увеличения производства продукции является интенсификация, т.е. при увеличении финансовых вложений и затрат мы должны получить повышение урожайности с единицы площади и снижение затрат на каждую единицу получаемой продукции — меристемное растение картофеля.

Стоимость одного меристемного растения картофеля в ценах 2015 г. составляет 60 руб.

Таблица 5. 1. Смета затрат на производство одного пробирочного растения картофеля

	Статья затрат	Сумма, руб
1	Заработная плата (ЗП)	15,0
2	Начисления на 3П	4,5
3	Общехозяйственные расходы	19,5
4	в т.ч. стоимость эл.энергии	10,0
5	Плановые накопления	12,0
	Итого затрат	51,0
	НДС (18%)	9,2
	Всего	60,2

На рис. 5.1. показана структура затрат на выращивание одного меристемного растения ФГБНУ УНИИСХ

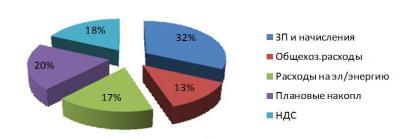


Рисунок 5. 1. Структура затрат на выращивание одного меристемного растения картофеля под люминесцентными лампами мощностью 80 Вт

Из рис. 5.1 видно, что 17 % из всех затрат связано с облучением растений.

В меристемой лаборатории используются 13 стеллажей, в каждом по 15 ламп мощностью 80 Вт. Следовательно, потребляемая мощность в кон-

троле с учетом потерь мощности в ПРА составляет 1,2 x 80 Вт x 15 ламп x 13 стеллажей = 15 720 Вт. Потребление мощности LED фитоустановками составляет: 24 Вт x 16 фитоустановок x 13 стеллажей = 4 992 Вт. Следовательно, при использовании предлагаемых LED фитоустановок потребляемая мощность снижается более, на 50%.

Расчет экономической эффективности проводился по методу приведенных затрат, исходные данные для расчета приведены в таблице 5.2. Общее количество стеллажей в меристемной лаборатории 13 шт.

Сравнивались два варианта фитооблучательных установок

- 1. Светодиодные фитоустановки мощностью по 24 Вт (Схема Перу).
- 2. Светильник с люминесцентными лампами ЛБ 80 Вт (контроль).

Таблица 5. 2. Исходные данные для расчета технико-экономической эффективности применения LED фитоустановок мощностью 24 Вт, имитирующих спектр зоны ФАР Перу

Показатель	Размер-	Обозна-	Варі	иант
I IORASATEJIB	ность	чение	Базовый	Проектир
			ЛЛ	LED
Количество стеллажей для меристемных растений	шт.	Nст	13	13
Количество облучателльных установок (ОУ) на одном стеллаже	шт.	Nст_оу	15	16
Общее количество ОУ на всех (13) стеллажах	шт.	Noy	195,00	208,00
Цена ПЛК	шт.	Цплк		9 000,00
Цена одной ОУ	руб.	Цоу	1 201,00	4 000,00
Цена одной лампы / матрицы	руб.	Цл	45,00	1 680,00
Мощность одной ОУ	кВт	Рл	0,08	0,024
Коэффициент потерь мощности в ПРА		Кпра	1,20	1,00
Стоимсть 1 кВт.ч электрнергии	руб/кВт.ч	СкВт	4,50	4,50
Коэффициет, учит.расходы на монтаж, 20% от К		Км	0,20	0,20
Коэффициет, учит.траспорт.расходы, 12% от К		Кт	0,12	0,12
Срок службы лампы/ светодиодов	час.	Тл	7 000,00	40 000,00
Срок службы арматуры	час.	Tap	8 760,00	50 000,00
Количество дней работы ОУ в год (январь-май)	день	Νдн	150	150
Фотопериод (работа ОУ в день)	час	Тф/п	16,00	16,00
Время работы ОУ в году	час.	Траб	2 400,00	2 400,00
Зарплата электромотера	руб.	3∏	15 000,00	13 000,00
Нормат.коэфф.эффект. капиталовложений		Ен	0,15	0,15
Количество дней выращивания мерист. растения	день		30,00	26,00
Количество "сборов" готовых мерист.растений за год	раз		5,00	6,00
Количество выращиваемых меристемных растений за год	шт.	Α	20 000,00	24 000,00
Количество меристемных растений с учетом к-та сохранности		0,6	12 000,00	14 400,00
Стоимость 1 меристемного растения картофеля	руб	Стоим	60,00	60,00
Стоимость производимой продукции (мерист.растений)	руб	Vp	1 200 000	1 440 000
Затраты на электроэнергию	руб	Зэ	202 176	53 914
Доход от сэкономленной электроэнергии	руб	Д		148 262

Оценка технико-экономической эффективности производится по приведенным затратам:

1. Капитальные вложения:

$$K = (K_M + K_M + 1) \cdot \mu_{OY} \cdot N$$
.

2. Эксплуатационные затраты:

$$\Im = C \Im + C a + C \Im n + C m p + C n p + C o m$$

где Сэ – стоимость потребленной электроэнергии, руб.:

$$C \ni = 1, 1 \cdot N \cdot P_{\pi} \cdot \beta_{\ni} \cdot T_{PAB}$$
.

Ca – амортизационные отчисления, руб.:

C3n – расходы на ЗП монтера, руб.

Стр – затраты на текущий ремонт принимаются в размере 12,5 %

$$Cmp = 0.125 \cdot K$$

Прочие затраты принимаются в размере 10 % от остальных:

$$Cnp = (C \ni + Ca + C \ni n + Cmp) \cdot 0,1$$
.

<u>3.</u> <u>Приведенные затраты</u>, руб., при нормативном коэффициенте эффективности капиталовложений:

$$\Pi 3 = K_H \cdot K + 33.$$

4. Годовой экономический эффект, руб.:

$$\Gamma \ni = \left(\frac{\Pi 31}{A1} - \frac{\Pi 32}{A2}\right) \cdot A2$$

5. Срок окупаемости капитальных вложений, лет (год):

$$T = \frac{K2}{\Gamma_{9} + \mathcal{I}}$$

где Д – доход от реализации дополнительной продукции:

$$\mathcal{I} = (A2 - A1) \cdot Цреал$$

6. Фактический коэффициент эффективности капиталовложений:

$$E\phi = \frac{1}{T}$$

Результаты расчет технико-экономической эффективности применения светодиодных фитообучателей показаны в таблице 5.3.

Таблица 5. 3. Результаты расчета экономической эффективности

Показатель	Размернос	Обознчен	Обознчен Вари	
i iOkasa i ejib	ТЬ	ие	ЛБ 80	LED 24
Капитальные вложения	руб.	К	23 780	274 560
Эксплуатационные затраты	руб.	Э3	394 041	279 722
Стоимость потебл.электроэнергии	руб.	Сэ	202 176	53 914
Амортизационные отчисления	руб.	Ca		
на лампу	руб.	Сал	72	503
на арматуру	руб.	Саарм	6 443	12 676
Затраты на ЗП электромонтера	руб.	Сзп	180 000	156 000
Затраты на текущий ремонт, 12,5% от К	руб.	Стр	2 972	34 320
Прочие затраты, 10% от К	руб.	Спр	2 378	22 309
Нормативный коэффициент эффективности капиталовложений	o.e.	Ен	0,	15
Приведенные на затраты	руб.	П3	397 608	320 906
Отношение привед.затрат к выходу продукции	руб/проб	ПЗ / А	19,88	13,37
Годовой экономический эффект	руб.	Гээ		76 702,71
Срок окупаемости	год	Т		4,18

выводы по пятой главе:

- 1. 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.
- 2. —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 позволит 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 (24 шт) и требуемая длительность излучения отдельных составляющих зоны ФАР.
- 4. Разработан алгоритм работы ПЛК с использованием инструментального программного комплекса промышленной автоматизации CoDeSys для LED фитоустановок, 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 Удмуртской 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.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Автоматическое управление освещением [Электронный ресурс]. http://www.atomsvet.ru/press/smi/avtomaticheskoe-upravlenie-osvescheniem/
- 2. Аграрный университет. Режим доступа: http://agrun.ru/meristemnyy-kartofel
- 3. Азимут и высота солнца над горизонтом. Режим доступа: http://www.planetcalc.com/320/
- 4. Айзенберг, Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг. М.: Издательство «Знак», 2006. 972 с.
- 5. Анисимов, Б.В. Схема выращивания элитного картофеля [Электронный ресурс]. http://gras.oryol.ru/CARO/1999-01/09.html.
- 6. Бабенко, А.В. Автоматическое управление освещением / А.В. Бабенко, А.В. Гайдай, А.М. Захарчук // Наукові праці ВНТУ, 2013, № 1с.1 5.
- 7. Большина, Н.П. Облучательные установки с газоразрядными лампами в цветоводстве / Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. М.: МИИСП им. В.П. Горячкина. 1985. 169с.
- 8. 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 № 2025661513, дата гос.регистрации в Реестре программ для ЭВМ 29 октября 2015 г.
- 9. 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
- 10. Большин, Р.Г. Комбинированному режиму облучения тепличных растений инженерные разработки // Н.П. Кондратьева, Е.А. Козырева, Р.Г. Кондратьев (Большин) // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 6. с. 4-5.
- 11. Большин, Р.Г. Реализация комбинированного режима облучения растений разрядными лампами // Н.П. Кондратьева, Е.А. Козырева, Р.Г. Кондратьев (Большин) // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 10. с. 28
- 12. Большин, Р.Г. Современные методы проектирования облучательных установок для защищенного грунта / Н.П. Кондратьева, Д.А. Глухов, Р.Г. Кондратьев (Большин) // Известия Международной академии аграрного образования. 2012. Т. 2. № 14. с. 376-379.
- 13. Большин, Р.Г. Энергосберегающая система освещения мясного кросса «Смена 7» /Н.П. Кондратьева, С.А. Баранов, Р.Г. Кондратьев (Большин) // Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. 2012. Т. 3. с. 177-179.
- 14. Большин, Р.Г. Патент РФ №127286 на полезную модель, МПК7: A01G 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. (Большин Р.Г.), Маркова М.Г. // заявка на изобретение № 2012130687/13 от 17.07.2012. Опубл. 27.04.2013. ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА.
- 15. Большин, Р.Г. Светодиодные облучательные установки для меристемных растений / Н.П. Кондратьева, Р.А. Валеев, Р.Г. Кондратьев (Большин) //Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 1. № 16. с. 23-25.

- 16. Большин, Р.Г. Влияние музыкальных звуковых колебаний на надои коров голштинской породы/ Н.П. Кондратьева, Р.А. Валеев, Р.Г. Кондратьев (Большин) // В сборнике: Биотехнология. Взгляд в будущее Материалы III Международной научной Интернет-конференции: в 2 томах. Составитель Д.Н. Синяев. 2014. с. 104-105.
- 17. Большин, Р.Г. Система технического зрения для статических и динамических объектов предприятий АПК / Н.П. Кондратьева, М.Г. Сколов, Р.Г. Кондратьев (Большин), Р.Н. Петров // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. \mathbb{N} 4 (41). с. 37-40.
- 18. 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.
- 19. 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.
- 20. 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.
- 21. 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 Интернетконференция. Казань, 2015. с. 62-66.
- 22. 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
- 23. 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.
- 24. 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.

- 25. Bolshin R. Energespagende Ekektrotechnologie mit Nutzung vor RGB Lends fue die meristem Pflanzen / N.P.Kondratieva, O.M., Filatova, R. G. Bolshin, M. G. Krasnolutskaya //Всборнике: 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. p. 50-52.
- 26. Bolshin R. Energy-saving equipment: RGB technologies and ultra-violet LEDs for protected soil / Nadezhda Kondratieva, Vera Litvinova, Roman Bolshin, Maria Krasnolutskaya //Yale Review of Education and Science (USA), 2015, No.1. (16), (January-June). Volume V. "Yale University Press", 2015. p. 758-761
- 27. Bolshin R. Progressive electric equipment and electro technologies for the protected soil / Nadezhda Kondrateva, Maria Krasnolutskaya, 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.
- 28. Брызгалов, В. А. Справочник по овощеводству / Л: Колос, 1982. 508 с.
- 29. Бухов, Н.Г. Спектральный состав света как фактор изменения физиологического состояния и продуктивности растений / Н.Г. Бухов / М.: С.-х. биол., 2000.-18 с.
- 30. Вавилов, Н. И. Центры происхождения культурных растений / Л.: Тип. им. Гутенберга, 1926.
- 31. Вавилов, Н.И. Пять континентов / Н. И. Вавилов / М.: Мысль, 1987. 348 с.
- **32.** Валеев, Р.А. Повышение эффективности облучения меристемных растений с использованием светодиодных установок // Дисс. на соик. уч. ст. канд. техн. наук. М.: ВИЭСХ. –. 2014. 149 с.
- 33. Варфоломеев, Л.П. Светодиоды и их применение / Л.П. Варфоломеев. –М.: Новости светотехники, выпуск 3. 2000. 131с.
- 34. Вердеревская, А.Н. Особенности эксплуатации комплекта "Натриевая лампа высокого давления пускорегулирующий аппарат" / А.Н. Вердеревская, Е.Б. Волкова, А. М. Троицкий // Светотехника. -1989.- № 11, с.8–11.
- 35. Вассерман, А.Л. Ксеноновые трубчатые лампы и их применение / А.Л. Вассерман. М.: Энергоатомиздат, 1989. 88 с.
- 36. Векипедия Центры (очаги) происхождения культурных растений
- 37. Винокуров, А. Н. Тепловые режимы мощных светодиодов DORAPO/ А.Н.Винокуров // Компоненты и технологии № 5, 2006
- 38. Владыкин И.Р. Повышение эффективности предпосевной обработки семян овощных культур ультрафиолетовым облучением. / Дисс. на уч.ст.канд.техн.наук. Москва: РГАЗУ. 1999. 117 с.
- 39. Воскресенская, Н.П. Влияние света и фитогормонов на фотосинтез, рост и развитие картофеля / Н.П. Воскресенская, И.С. Дроздова, Н.П. Аксенова / М.: Колос, 2001 c. 20-29
- 40. Вовденко, К.П. Разработка методики испытания светодиодного светильника на примере его применения при выращивании рассады огурцов / К.П. Вовденко // Материалы III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы энергетики АПК». Саратов: Изд. «Кубик», 2012. 57–59 с.
- 41. Восход и закат Солнца. Режим доступа: http://planetcalc.ru/300/
- 42. Гидропоника в теплице. Режим доступа: http://grow.kalarupa.com/tag/chlorophyll/

- 43. «Гринтек» конструкции и системы теплиц. Режим доступа: http://www.teplitsi.ru/node/197
- 44. Гужов, С., Концепция применения светильников со светодиодами совместно с традиционными источниками света / А. Гужов, А. Полищук, А.Туркин // Современные технологии автоматизации. 2008. № 1. с. 14-18.
- 45. Государственное научное учреждение Удмуртский государственный научноисследовательский институт сельского хозяйства ГНУ НИИСХ РАН. Режим доступа: http://www.niish-udm.ru
- 46. ГНУ Удмуртский НИИСХ Россельхозакадемии, Удмуртия Республика Режим доступа: http://www.k-agent.ru/?mod=obj&id=3483616
- 47. Датчик световой температуры: Режим доступа: http://cxem.net/mc/mc313.php
- 48. Джордж, М.ао Срок службы светодиодов и их надежность ключ к успешной реализации светотехнических проектов / Мао Джордж, Майлс Маршалл // Современная светотехника. 2010. № 6. с. 29–31.
- 49. Дистанционное управление освещением: комфорт и функциональность интеллектуальных систем [Электронный ресурс]. Режим доступа http://strmnt.com/ distancionnoe -upravlenie-osveshheniem.html.
- 50. Егоров, В.П. Определение физиологического состояния фотосинтезирующих систем. Методы исследования / В.П. Егоров, Г.М. Ананьев, А.А. Кособрюхов. М.: Экспериментальная экология. 1999. -18 с.
- 51. Ермаков, О.Н. Светоизлучающие диоды зеленого цвета свечения с повышенной температурной стабильностью потока излучения / О.Н. Ермаков, В.Ф. Аксенов, Р.С. Игнаткина // Тез. докл. на 4 Всесоюз. конф. «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение». М.: 1982. 103 с.
- 52. Живописцев, Е.Н. Совершенствование установок для облучения растений / Е.Н. Живописцев, Н.П. Большина, С.Г. Обухов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1984, N 19, с. 54 55.
- 53. Живописцев, Е.Н. Электротехнология и электрическое освещение / Е.Н. Живописцев, О.А. Косицын М.: Агропромиздат, 1990. 303 с
- 54. Жилинский, Ю.М. Электрическое освещение и облучении / Ю.М. Жилинский, В.Д. Кумин / М.: Колос, 1982,268-272 с.
- 55. Жилинский, Ю.М. О возможности применения ламп типа ДРЛ с полым катодом в сельскохозяйственном Агропроизводстве / Ю.М. Жилинский, С.А. Овчукова, Н.П. Большина // Тезисы Всесоюзной конференции «Человек и свет» Саранск. 1982 г.,
- 56. Зайцев, Г.Н. Методика биометрических расчетов / Г.Н. Зайцев /— М.: Наука, 1973. с. 255.
- 57. ЗАО «Промприбор». Датчики определения освещенности в теплицах. Режим доступа: http://www.pp66.ru/katalog/kontrolya/lyuksmetry/izmereniya/
- 58. Значение работ К.А. Тимирязева для науки / Режим доступа: http://timiryazev.ru/znachenie.html
- 59. Интеллектуальный драйвер светодиодного светильника /Электронный ресурс/ Режим доступа http://www.findpatent.ru/patent/242/2426281.html.
- 60. Интеллектуальное реле ZelioLogicSchneiderElectric /Электронный ресурс/ Режим доступа http://metizi.com/about.phtml?a=34857 Загл. с экрана.
- 61. Интеллектуальное освещение / Электронный ресурс / Режим доступа http://ledton.com

- 62. Интеллектуальные системы автоматического управления электрическим освещением / Электронный ресурс / Режим доступа http://www.russianelectronics.ru
- 63. Интеллектуальные системы автоматического управления освещением /Электронный ресурс / Режим доступа http://www.verdit.ru
- 64. Интеллектуальная система уличного освещения / Электронный ресурс / Режим доступа http://www.abok.ru Загл. с экрана.
- 65. Каратаев, Е. С. Овощеводство / Е.С.Каратаев, В.Е.Советкина /. М.: Колос, $1984.-280~\mathrm{c}.$
- 66. Картофель. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%CA%E0%F0%F2%EE%F4%E5%EB%FC
- 67. Карначук, Р. А. Физиологическая адаптация листа левзеи к спектральному составу света. // Р.А. Карначук, Н.Н.Протасова, М.В.Добровольский и др. / Физиология растений 1987. Т. 34. Вып. 4. с. 51.
- 68. Каюмов, М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур / М.К.Каюмов / М.: Агропромиздат, 1989.
- 69. Каюмов, М.К. Справочник по программированию урожаев / М.К.Каюмов / М.: Агропромиздат, 1989
- 70. Ковчин С.А., Меркучев Д.А., Рудаков В.В. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. Лабораторно-практические работы. Под ред. доцента Шустова В.А. М-Л., Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1958, 223 с. ил.
- 71. Клешнин, А.Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений // А.Ф. Клешнин / М.: Издательство академии наук СССР, 1954. 350 353 с.
- 72. Климатическая карта Удмуртии, Режим доступа: http://www.izhevskmaps.ru/respublika/klimaticheskaya-karta-udmurtii.html
- 73. Клешнин, А. Ф. Выращивание растений при искусственном освещении. / А.Ф.КлешнинЕ, Е.В.Лебедева, Н.Н.Протасова и др./ М.: Сельхозгиз, 1959. 128 с
- 74. Козинский, В.А. Электрическое освещение и облучение / В.А. Козинский / М.: Агропромиздат, 1991, 239 с.
- 75. Козырева, Е.А. Повышение эффективности облучательных установок для меристемных растений картофеля // Дисс. на соик. уч. ст. канд. техн. наук./ М.: Γ HУ ВИЭСХ. 2009. 153 с.
- 76. Коломиец, А.П. Электропривод и электрооборудование / А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева, И.Р. Владыкин, С.И. Юран / М.: КолосС, 2008. 138 139 с.
- 77. Кондратьева, Н.П. Повышение эффективности электрооблучательных установок в защищенном грунте. // Дисс. на соиск. уч. ст. доктора техн. наук / М.: ГНУ ВИЭСХ. -2003 г.- 251с.
- 78. Косицын, О.А. Исследование процесса оптического облучения плодоносящих растений огурцов в теплицах и разработка метода расчета облучательных установок // Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук / М.: МИИСП, 1977.
- 79. Куперман, И. А. Физиологические механизмы адаптации и устойчивости растений / Новосибирск. Наука. 1972. С. 5.
- 80. Лампы для подсветки растений. Режим доступа: http://www.ks-union.ru/2/pr_teplich_raz.shtml
- 81. Лекция Понятие об отрасли защищенного грунта. Особенности агротехники овощных культур в защищенном грунте. Режим доступа: http://poteme.com.ua/rastenievosdstvo/lektsii-po-ovoshchnym-kulturam/1379-ponyatie-ob-

- otrasli-zashchishchennogo-grunta-osobennosti-agrotekhniki-ovoshchnykh-kultur-v-zashchishchennom-grunte.html Образовательная Публичная Библиотека
- 83. Лямцов, А.К. Электроосветительные и облучательные установки / А.К. Лямцов, Г.А. Тищенко / М.: Колос, 1983, 224с
- 84. Малышев, В.В. О возможности оценки количественных критериев разноспектральных ламп для растениеводства по световым параметрам // Информационный сборник «Ассоциация теплиц России». 1999. № 2. с. 16 -19
- 85. Малышев, В.В. К пересмотру норм технологического проектирования облучательных установок для теплиц / Информационный сборник «Ассоциация теплиц России» // 2001.- № 2.- с. 29 38
- 86. Малышев, В.В. Комплекс нормируемых параметров для выбора светотехнического оборудования в теплицах. / Информационный сборник «Ассоциация теплиц России» // 1995. № 6-7. с. 27 31
- 87. Малышев, В.В. Нормирование освещенности в теплицах. / Сб. трудов ВИЭСХ // М.: ВИЭСХ. 2000. с. 425 428
- 88. Марков, В. М. Овощеводство / В.М. Марков / М.: Колос. 1974. 438 с.
- 89. Марселис, Л., Будущее за лампами роста (реферат) / Л. Марселис, Т. Дуеск,
- Э. Хеувелинк // [Электронный ресурс]: http://www.greenhouses.ru /lamps -forgreenhouse.
- 90. Матвеев, А.Б. Электротехнические облучательные установки фитобиологического действия / А.Б.Матвеев, С.М. Лебедкова, С.Н.Петров / М.: МЭИ, 1989. 91c
- 91. Матвеев, В.В. Новые источники облучения в растениеводстве / В.В. Матвеев, С.А. Овчукова, Н.П. Большина // Цветоводство. 1982. $\mathbb{N}2$. 5 с.
- 92. Мошков, Б. С. Выращивание растений при искусственном освещении / Б.С. Мошков / Л. Колос. 1966 -287 с.
- 93. Мокроносов, А. Т. Эндогенная регуляция фотосинтеза в целом растении. Физиология растений. / А.Т. Мокроносов // 1978. -Т. 25. -Вып. 5. -С. 938.
- 94. Меристема. Режим доступа: http://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/stati-rastenievodstvo/meristemnyi-kartofel.html
- 95. Меристема [Электронный ресурс]. Режим доступа http://bigsovpedia.ru/46517
- 96. Меристематическая ткань [Электронный ресурс]. Режим доступа http://dic.academic.ru /dic.nsf /ruwiki/1033540
- **97.** Микроконтроллер ATmega16L-8PU фирмы ATMEL Режим доступа http://www.tme.eu/ru/Document/6d79eabcce8cf414f04bc5c389ed3469/2466s.pdf
- 98. Никитин, А. Меристема. Режим доступа: http://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/stati-rastenievodstvo/meristemnyi-kartofel.html
- 99. Нидерландская фирма flowmagic. Режим доступа: http://www.flowmagic.nl
- 100. Ничипорович, А.А. Теоретические основы фотосинтетической продуктивности / А.А. Ничипорович / М.: Наука. -1972.
- 101. Ничипорович, А.А. Фотосинтез и вопросы продуктивности растений / А.А. Ничипорович / М.: Наука, 1963, 158 с.
- 102. Ничипорович, А. А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности. Теоретические основы фотосинтетической продуктивности / А.А. Ничипорович / М.: Наука. -1972.- С. 511.

- 103. Новые микросхемы для управления светодиодной подсветкой в портативных устройствах. Режим доступа: http://www.led-e.ru/news/rohm.php
- 104. Образовательная публичная библиотека. Лекция Комплекс агометеорологических факторов, определяющих продуктивность культуры. Режим доступа: http://po-teme.com.ua/rastenievosdstvo/lektsij-po-programmirovaniyu-urozhaev/1371-kompleks-agrometeorologicheskikh-faktorov-opredelyayushchikh-produktivnost-kultury.html
- 105. Образовательная публичная библиотека. Лекция Урожай как результат фосинтетической деятельности растений. Режим доступа: http://poteme.com.ua/rastenievosdstvo/lektsij-po-programmirovaniyu-urozhaev/1375-urozhaj-kak-rezultat-fotosinteticheskoj-deyatelnosti-rastenij.html
- 106. Брызгалов, В.А. Овощеводство защищенного грунта. / Под ред. В.А. Брызгалова / М.: Колос. 1995. 352 с.
- 107. Освещение для агропрома [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.enimlighting. com/ru/agricultural-lighting Загл. с экрана.
- 108. Оценка цветопередачи источников света. Режим доступа: http://www.kto.ru/ru/interesting/obor/detail.php?ID=683&print=Y
- 109. Офисные светильники. Режим доступа: http://indeolight.com/lampy-i-svetilniki/svetodiodnye/vred-svetodiodnyh-lamp.html
- 110. Офисные светильники. Режим доступа http://www.astronet.ru/db/msg/1175352/node8.html
- 111. Освещение для агропрома [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.enimlighting.com/ru/agricultural-lighting Загл. с экрана.
- 112. Панькова, О.А. Совершенствование приемов клонального микроразмножения ягодных кустарников / О.А.Панькова, Н.П. Несмелова //Аграрная наука Евро—Северо Востока. №11. 2008. С.72 76.
- 113. Переходы между возбужденными состояниями хлорофилла после поглощения квантов синего или красного света (по Э. Либберту). Экология. Справочник. Из книги Якушкина Н.И. физиология растений /Уч. пособие для студ.биол.спец. пед. ин-тов.- М.: Просвещение. 1980, 303 с. Режим доступа: http://ruecology.info/pics/203683301220003/
- 114. Полевой, В.В. Физиология растений. / В.В. Полевой / М.: Высш. шк.1989.-464. с.
- 115. Пояснение к построению цветового графика в системе RGB из книги Москалев В.А. Прикладная физическая оптика Режим доступа: www.nglib.ru
- 116. Правильный посадочный материал основа правильного урожая. Режим доступа: http://www.gazetasadovod.ru/slovarsadovoda/slovar/3829-chto-takoe-meristemnye-sorta.html
- 117. Примак, А.П. Физиологические основы создания и использования искусственного климата в экспериментальных исследованиях с растениями. / А.П.Примак // Автореферат на соиск. уч. ст. доктора биол. Наук / Кишинев. 1987. 44 с.
- 118. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы. Режим доступа: http://agroobzor.ru/rast/a-168.html
- 119. Применение светодиодных ламп для выращивания растений. Режим доступа: http://www.diodmag.ru/aboutdiods/1-osvetodiodah/31-leds-in-plant-growth.html
- 120. Протасова, Н. Н. Фотосинтез и рост высших растений, их взаимосвязь и корреляции. Физиология фотосинтеза. / Н.Н.Протасова, В.И. Кефели / М.: Наука. 1982. С. 251.

- 121. Протасов, Н. Н. Фотосинтетическая активность, рост и уровень природных регуляторов у растений, выращенных на свету различной интенсивиости. Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. / Н.Н.Протасова, В.И. Кефели, Э.М. Коф / М.: Наука. 1972. -С. 385.
- 122. Протасова, Н.Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений / Н.Н. Протасова // Физиология растений. 1987. Т. 34. Вып. 4.-C.51.
- 123. Протасова, Н.Н. Значение отдельных участков спектра для фотосинтеза, роста и продуктивности растений (при облучении, выполненной по энергии или числу квантов). Информационный бюллетень «Тепличный сервис» / Н.Н. Протасова // 1995. № 6-7. с.24 -25.
- 124. Рубцов, М. И. Овощеводство / М.И Рубцов, В.П. Матвеев / М.: Колос. 1967.
- 125. Свентицкий, И.И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации / И.И. Свентицкий / М.: ГНУ ВИЭСХ. 2007. 468 с.
- 126. Свет и растения [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://comsvet.ru/2/pr_teplich_raz.shtml Загл. с экрана.
- 127. Светодиодные светильники. Режим доступа: http://mirsvetodiodov.ru/ledgrowlights
- 128. Светодиодная лампа с меняющимися цветами 3W, 16 цветов, пульт дистанционного управления. Режим доступа: http://2ezone.ru/svetodiodnajalampa s menjajushhimisja cvetami 3w 16 cvetov pult distancionnogo upravlenija.html
- 129. Светодиоды. Режим доступа: http://www.led-e.ru/articles/led-module/2011_5_52.php
- 130. Светодиоды марки HPB8-49KxWx красного и синего спектра. Режим доступа: http://www.transistor.ru/pdf/huey_jann/HPB8-49KxWx.pdf
- 131. Светодиоды. Режим доступа http://www.led-e.ru/articles/led-application/2009_2_54.php
- 132. Светодиодное освещение для растений [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.led-glow.ru/
- 133. Светодиоды для выращивания растений и рассады. Режим доступа: http://www.aqua-farm.ru/coloroflight.html
- 134. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений. -Режим доступа: http://growhobby.ru/svetokultura-kak-sposob-vyjavlenija-potencialnoj-produktivnosti-rastenij.html
- 135. Светотехника в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://userdocs.ru/biolog/19589/index.html?page=5
- 136. Системы автоматического управления освещением [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://elektrikispb.ru/sistemy-avtomaticheskogo-upravleniya-osveshheniem
- 137. Система координат спектральных основных цветов МКО Режим доступа http://sernam.ru/book_prett1.php?id=34
- 138. Системы и элементы управления освещением: www.LED-E.ru
- 139. Системы управления освещением [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gvalighting.by/products/groupid/4
- 140. Современные системы управления освещением [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://led-displays.ru.

- 141. Соколов, А.В. Универсальная широкополосная система освещения с варьируемым спектром для теплиц / А.В. Соколов, Л.Ю. Юферев / Инновации в сельском хозяйстве // Теоретический и научно-практический журнал, ГНУ ВИЭСХ. -1/2012. - с. 9-13
- 142. Соколов, А.В. Обоснование параметров и разработка широкополосной системы освещения растений в защищенном грунте с резонансным питанием // Дисс. на соис. уч. ст. канд.техн.наук / А.В. Соколов / М.: ФГБНУ ВИЭСХ. 2015. 139 с.
- 143. Стив Боулинг, (Steve Bowling)Микроконтроллеры для «умного» света / Стив Боулинг (Steve Bowling) //Полупроводниковая светотехника. N_2 4. -2010. 60 -61
- 144. Тараканов, Г. И. Овощеводство / Г.И. Тараканов / М.: Колос. 2005. 403 с.
- 145. Тимирязев, К.А. Избранные сочинения / К.А. Тимирязев / М.: Сельгиз. 1948. т.1
- 146. Тимирязев, К.А. Космическая роль растений / К.А.Тимирязев // В сб.: Солнце, жизь и хлорофилл. –Петроград.: Госиздат. 1923. 324 с
- 147. Тихомиров, А. А. Проблема оптимизации спектральных и энергетических характеристик излучения растениеводческих ламп / А. А. Тихомиров, Ф.Я.Сидько, Т.А.Лисовский и др. / Красноярск. -Ротапринт. 1983. -47 с.
- 148. Тихомиров, А.А. Фитоценоз как биологический приемник оптического излучения. / Светотехника, 1998, № 4, с. 22...24
- 149. Тихомиров, А.А. Спектральный состав света и продуктивность растений / А.А. Тихомиров, Г.М. Лисовский, Ф.Я. Сидько / М.: Новосибирск. 2001. 163 с.
- 150. Тихомиров, А.А. Методы оценки фотобиологической эффективности источников облучения для интенсивной светокультуры огурца и томата / А.А. Тихомиров, В.П. Шарупич / Красноярск. -2001. 132 с.
- 151. Тихомиров, А.А. Светокультура растений: биофизические и биотехнические основы / Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. / Новосибирск: Издательство СО РАН. -2000. 213 с.
- 152. Толковый словарь Ефремовой. Режим доступа: http://www.bestreferat.ru/referat-25979.html
- 153. Тооминг, Х.Г.Методика измерения фотосинтетически активной радиации / Х.Г. Тооминг, Б.И. Гуляев / М.: Издательство наука. -1967 г. 144 с.
- 154. Удмуртский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Верхневолжское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» Режим доступа: http://udmpogoda.ru/
- 155. УФ LED. Режим доступа: http://le-diod.ru/vidy/ultrafioletovye-svetodiody/
- 156. Фейнмановские лекции по физике. Т. 3. Излучение. Волны. Кванты. Режим доступа http://sernam.ru/lect_f_phis3.php?id=0&filter=images&num=163
- 157. Физиология растений. Режим доступа: http://fizrast.ru/fotosintez/dnevnoy-fotosintez.html
- 158. Фотосинтез. -Режим доступа: http://www.bsu.ru/content/hecadem/bahanova_mv/cl_718/files/mzip_618_14705/index.htm
- 159. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. -Режим доступа: http://agrofuture.ru/fotosinteticheskaya-deyatelnost-rastenij-v-posevax.html
- 160. Хлорофилл и другие пигменты. Режим доступа: http://msd.com.ua/fizika-zhiznennyx-processov/xlorofill-i-drugie-pigmenty/

- 161. Шатилов, И.С. Принципы программирования урожайности / И.С. Шатилов // Вестник сельскохозяйственной науки. 1973. №3.
- 162. Шатилов И.С., Каюмов М.К. Как получить запрограммированный урожай пшеницы // Сельское хозяйство России, 1970, №12.
- 163. Шуберт Ф. Светодиоды / Ф. Шуберт. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
- 164. Ковриго, В.П. Экология прорастания семян. // Под ред. В.П. Ковриго Ижевск: УдГУ. 1978. с. 99
- 165. Эффекты Эмерсона в книге Биофизика фотосинтеза / Под ред. А. Б. Рубина. Москва, 1975; Клейтон Р. Фотосинтез: Физические механизмы и химические модели: Перевод с английского Москва, 1984. Режим доступа: http://sortov.net/info/effekty-emersona.html
- 166. Эффект Эмерсона в книге Большая Энциклопедия Нефти Газа Режим доступа:http://www.ngpedia.ru/id616973p4.html
- 167. Юрина, А. В. Теоретическое обоснование приемов повышение урожайности огурца в теплицах (1-1У световые зоны). // А.В. Юрина Дисс. на соиск. уч.ст. доктора с-х наук в форме научного доклада / С.-Петербург-Пушкин. 1995
- 168. Юференв, Л.Ю.Разработка энерго-ресурсосберегающих систем освещения для с-х. объектов. / Л.Ю. Юферев // Инновации в сельском хозяйстве ГНУ ВИЭСХ. -2012. № 1. с. 68 -73.
- 169. Юферев, Л.Ю. Энерго-ресурсосберегающие осветительные и облучательныесистемы и установки сельскохозяйственного назначения на основе резонансной системы электропитания / Дисс.на соиск.уч.ст.доктора техн.наук Л.Ю. Юферев / Мичуринск-наукоград.: -2016. 430 с.
- 170. Ягодин, Б.А., Смирнов П.М., Петербургский А.В. Feldbuch, 95/96. Einbeck, 1995.
- 171. Mais Anbauplaner. Mitteldeutschland. Einbeck, 2006.
- 172. Closed Loop Chromaticity Control: Interfacinga Digital RGB Color Sensor to a PIC24 MCU. Microchip Application Note AN1257. Режим доступа: http://www.microchip.com/lighting.
- 173. Four Great Reasons to Dim Lutron Electronics– Режим доступа: http://europe.lutron.com/dim.htm.
- 174. LED для астений. Режим доступа: http://artleds.ru/shop/CID_26.html gclid=COyZms-_p8QCFWrqcgodCU8A0A .
- 175. LED линейные. Режим доступа: http://artleds.ru/shop/CID_85.html
- 176. Light's Labours Lost Fact Sheet // Intenational energy agency Режим доступа: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/light_fact.pdf.
- 177. RGB-светодиоды: удобное управление цветом. Режим доступа: http://www.magazine-svet.ru/analytics/64231/
- 178. NANOCAD умное проектирование Режим доступа: http://www.nanocad.ru -

приложения

Приложение 1

Документы о внедрении результатов исследований

УТВЕРЖДАЮ: ректор ФГОУ ВПО Ижевской государственной овпыскохозяйственной академии:

профессор Любимов А.И.

2011 r.

УТВЕРЖДАЮ: директор ГНУ Удмуртского научно-исследовательского инстиута сельского хозяйства

> Россинскозакадемии курыгин И.Н.

2011 r.

AKT

о внедрении результатов научных исследований

Настоящий свидетельствует O внедрении законченной научноисследовательской работы по влиянию различных по спектральному составу облучательных установок на рост и развитие меристемного картофеля сорта «Ладожский».

Результатом законченной научно-исследовательской работы является синекрасная светодиодная облучательная установка (СК СОУ), разработанная д.т.н., профессором Кондратьевой Надеждой Петровной, инженером Кондратьевым Романом Геннадьевичем и студентом - дипломником Валеевым Русланом Альфредовичем.

Предлагаемая СК СОУ обеспечивает увеличение площади листьев меристемного картофеля сорта «Ладожский» на 10...15%.

Экономический эффект при использовании облучательной установки на светодиодах выражается в экономии электрической энергии на 40..50% при улучшении качества меристемного картофеля на 10...15%...

Представители ФГОУ ВПО Ижевской ГСХА

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

Руководитель Исследований: д т.н. профессор Кондратьева Н.П. treero Raurela

> Исполнитель Инженер Кондратьев Р.Г.

Главный энергетик

лаборатории УНИИСХ

УНИИСХ

Главный экономист УНИИСХ

Представители

Начальник меристемной

ГНУ Удмуртского НИИСХ

Julily

Исполнитель студентдипломник Валеев Р.А. УТВЕРЖДАЮ:

ректор ФГОУ ВПО Ижевской государственной сельскохозяйственной

профессор Любимов А.И.

20/1 r.

УТВЕРЖДАЮ:

директор ГНУ Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства

> Россин хозакадемии Укурыгин И.Н.

> > 2011 r

AKT

о внедрении результатов научных исследований

Настоящий акт свидетельствует о внедрении законченной научноисследовательской работы по влиянию различных по спектральному составу облучательных установок на рост и развитие меристемного картофеля сорта «Ладожский».

Результатом законченной научно-исследовательской работы является синекрасная светодиодная облучательная установка (СК СОУ), разработанная д.т.н., профессором Кондратьевой Надеждой Петровной, инженером Кондратьевым Романом Геннадьевичем и студентом – дипломником Валеевым Русланом Альфредовичем.

Предлагаемая СК СОУ обеспечивает увеличение площади листьев меристемного картофеля сорта «Ладожский» на 10... 15%.

Экономический эффект при использовании облучательной установки на светодиодах выражается в экономии электрической энергии на 40..50% при улучшении качества меристемного картофеля на 10...15%...

Представители ФГОУ ВПО Ижевской ГСХА

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

Руководитель йсследований: д.т.н. профессор Кондратьева Н.П.

Исполнитель

Инженер Кондратьев Р.Г.

Представители ГНУ Удмуртского НИИСХ

Начальник меристемной лаборатории УНИИСХ

Славный энергетик

УНИИСХ

THIP IS A

Главный экономист УНИИСХ

Sul Dig

утверждаю:

ректор ФІ БОУ ВПО Иметекий. гасударственной сольскохозяйственной.

академии.

Профессор "Індовичов А.И.

УТВЕРЖДАЮ:

директор ФГБГ.У Удмуртекото паучно-исследоватальского пнетитути сельского хизятіства

Скурыцийн И.П.

2014 7.

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

Настоящий акт свидетельствует о энедрынии законченной научис-исследовательской работы по влиянию различных по спектральному составу облучательных установок на рост и развитие меристемного картофоля.

Результатом законченной научно-исследовательской работы является интеллектуальная оветодиодная установка разработанная д.т.н. поофессором Кондратьевой Надеждой Петровной, аспирантами Краснопуцкой Марией Геннадьерной. Большиным Романом Гоппадьевичем, Мухамстшиным Ильназом Галиевичем и студентом – магистром Корневым Стэниславом Анатольевичем

Предлагаемая интелпектуальная оветодиодная облучательная установка обеспечивает уровень облученности меристемных растений картофеля в диапазоне 4 4,5 клк.

Экономический аффект при использовании интеллектуальной светодиодной облучательной установки выражается в экономии электрической энергии на 40 50% при улучшении качества мористемного картофеля на 8...10%.

Представители

ФГБОУ ВПО Ижевской ГСХА

Руководитель исследований:

д.т.к., профессор Кондратьева Н.П. Исполнитель аспирант Писученью

Большин Р.Г.

Исполнитель аспирант

Краснолуцкая М.Г.

Исполнитель аспирачт

Мухаметшин И.Г. Мужи

Исполнитель студент-магистр

Корнев С.А

Chun

Представители

ФГБНУ Удмуртского НИИСХ

Начальник меристемной лаборатории УНИИСХ

Лашо ф Главный энергетик УНИИСХ

Главный экономист УНИИСХ

УТВЕРЖДАЮ:
ректор ФГБОУ
ВПО Ижевская госут врезвалися
сеньскохоляр и грайля академия

профессор Льўсігаюв А.Й.

УТВЕРЖДАЮ:
директор ГНУ Удмуртского
научле-исодедовательского
висти ута сельского уклайства
Россельхозакадемия
Скурытия И.П.

2014г.

ПРОТОКОЛ

Облучательная установка на светодиодах, разработанная представителями ФГБОУ ВПО Ижевской ГСХА, испытывалась при выращивании меристемиях растений земляники и меристемной лаборатории ГПУ Удмуртский ПИИСХ.

Испытывалась облучательная установка, состоящая из беных, краспых и синих светодиодов.

Начало эксперимента 7 апреля 2014 года, окончалие 7 мая 2014 года. В мерпетемной лаборатории подверживенась температура в пределах ±05°С, фотопериод составлял 16 часов в сутки. Динамика изменения средней готопради листьев меристемных растепий представлена в дабладу.

Источник пъгучения	Дин намеречий	Средияя плопадь листвев растепий, мм ²	Количество облучаемых меристемных растений, по-
Лампы ЛПО 3017 (контроль)	0	42,98	
	10	46,66	90
	20	47,21	
	30	47,61	
Светодиодная установка	0	12,4	
	10	52.3	90
	20	51,75	
	30	56,97	

тазультаты	носледовании	ноказыразот,	TITO	осветительнов
оборудование позн	воляет уведичить б	иометрические п	оказате	ли меристемилах
растений и способ	ствует значительно	й экономии элек	троэпер	ски 40-50%.
Заведующая отдел	а садоводства	Liko ecolo	_ /Co	мова Е.П.
Руководатель иссл	едований _ Уко	topamula.	/ Kor	аратьева Н.П.
Исполнитель	Heery	2	/ Kop	обейникев М.В.

УТВЕРЖДАЮ:

ректов ФГОУ ВГС Ижевской государственной сельскох оддиственной якадемии профессор Якосула А.И.

УТВЕРЖДАЮ:

директор ГНУ Удмуртского чаучноисспедорательского института

сельркого хозяйства Россаньхозакадемий Скурыгин И.Н.

2011 r.

протокол

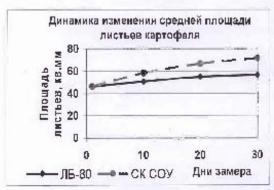
Сине красная светодиодная облучательная установка (СК СОУ) разрабоганные представитолями ФГОУ ВПО имерекой ГСХА, испытывалась при выращиваний мериотемного картофеля сорта «Радожский» в мериотемной даборатории ПТУ Удмуртский ПИИСХ в периоды

- с: с 17 апреля 2009 г по 18 мая 2009 г.;
- с 19 aпреля 2010 г. по 19 мая 2010 г.;
- 11 апреля 2011 г. по 11 мая 2011 г.

В меристемной лаборатории ГНУ УНИИСХ поддерживалась температура воздуха в пределах •25°C ± 1°C, влажность 70%...75%, фотопериод составлял 16 часов в сутки. В каждом опыте вженодно облучались 30 растений. **СК СОУ** включала 50 синих и 50 красных светодиодов каждый мощностью до 1 Вг. Полученные за три года результаты приведены в таблице.

Таблица. Динамика изменения срадней площади листьев меристемного картофеля совта «Ладожский» при облучения разными по спектральной плотности излучения источниками

Источни <i>х</i> излучения	Дки измерсний	Средняя площадь люстьев растений мм²	Количество облучаемых мери- стемных растений, шт
	1	46,5+1,9	
Лампы ЛБ 80 (контроль)	10	50,8+1,8	120
	20	55,1+2,5	120
	30	56,9+2,2	
Сино-красиая светодиодная облучательная установка (СК СОУ)	1	46,5+1,8	
	10	62,1+2,1	470
	20	63,8 +2.7	120
	30	77,3+2,9	



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

Начальник меристемной лаборато-

рии УНИИСХ

Главный энергетик УНИИСХ

Руксводитель исследований: д.т.н., профессов Кондрагьава М.Л

Исполнитель Инженер Кондоствев Р.Г. Thorogramula

утверждаю:

ректир ФГБОУ ВПО Ижевской государственной сельсксхозяйственной академии Профессов Любимов & V

УТВЕРЖДАЮ.

директор ФГБПУ Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства

Схурыгин И.Н.

2014 r.

протокол

Интелдектуальные светодиодные установки, разработанные представителями ФГБОУ ВПО Ижевской ГСХА, испытывались гри выращивании меристемного картофеля в меристемной лаборагории ФГБНУ Удмуртский НИИСХ.

Испытывалась светодкоднам установка, состоящая из красных, сине-фиолетовых, желтых

и зепеных светодиоды

Начало эксперимента 17 апреля 2014 г., окончание эксперимента 18 мая 2014 г. Опыты были заложены в прех кратной повторности. В меристемной лаборатории поддерживалась температура в пределах 125°C ± 1°C, фотопериод составлял 16 часов в сучки. Результаты данных показаны в таблице.

Таблица. Динамика изменения средней площади листьев меристемного картофеля

Источник излучения	Освещенно сть (ээлучэннос ть) к.тк	Количество мористемных растений, шт.	Оредняя глощадь листь∉е, мм²
ТЕО фитоустановка имитирующая солнечный эпоктр на широте Краснодара — житницы России	3,6±0.1	60	58 58
LED фитоустановка имитирующая солнечный спектр на широте государств Перу – испорической родины картофеля	3,410.3	60	61.23
Лампы ЛПО 3017 (контроль)	4.0±0.2	60	53 24

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

Ууководитель исследований:

д.т.н., профессор Кондратьева Н.П.

Исполнитель аспирант

Большин Р.Г.

Исполнитель аспирант

Краснолуцкая М.Г.

Исполнитель аспирант

Мухаметшин И.Г.

Исполнитель студент-магистр

Корнев С А

Начальник меристемной лаборатории ФРБНУ УНИИСХ

Главный энергетик УНИИСХ



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

127907, Удмурт, ин Ред. 30, под Западо основай райот, от Термовайский, 3 д. Болуша, и. 1, (ОТРИ 0001897159177, ИН 1 1871089209, КПП 181101001. Отоглание со Завестенност учинов Феверальная поличейства, ис Услугиской Россий, ик.

"6	do L	copy	W/4	2014 r. N	01-06/39
На	Νū	171	ı!	2	2014 7

СПРАВКА

В пеонод с 01,02,2011 года по 01.02, 2013 года светоднодные облучательные установки с сине-краспыми и бельми енегодиодами, установки технического зрения, разработанные учетыми ФГБОУ ВПО Ижевской сельскохозяйствонной академаи доктором TOXH. профессором наук Конпратьевой Надеждой Пстровной, аспирантами Валсевым Рукланом Альфредовичем и Кондратьевым Романом Геннальсвичем проходили производственные испытания в ГПУ Удмуртский научно исследовательский институт сельского хозяйства Россельхозакадемии при выращивания различамх. меристемные культур.

Применение разработанных технических устройств позволяло позысить 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 полтвердило целесообразность их использования.

Директор

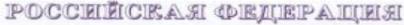


И. Н. Скурысин

Приложение 2

Патент и Свидетельство







СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2015661513

Взаимосвязанное управление параметрами микроклимата защищенного грунта

Правообладитель: Негосударственное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Учебно-научный инновационный центр «Омега» (RU)

Акторы: Владыкин Иван Ревович (RU), Кондратьева Надежда Петровна (RU), Краснолуцкая Мария Геннадьевна (RU), Логинов Вячеслав Васильевич (RU), Баранова Ирина Андреевна (RU), Большин Роман Геннадьевич (RU)



斑

辯

器

遊

緻

躃

磁

璐

塔

聽

斑

遊

105

班班

306

30E

斑斑斑斑

斑

辫

遊

遊遊遊

器

磁

器

遊遊

遊遊

路

100

披

磁

105

325

班班

305

Заявка № 2015617389

Дата поступления 11 августа 2015 г. Дата государственной регистрации

в Ресстре программ для ЭВМ 29 октября 2015 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

M.A. Kupidi

被

誑

部

避

端

糖

岩

檘

撼

被

嬷

璐

靐

遊遊

305

遊

306

遊遊遊

斑

斑

斑

30E

遊遊遊

辫

遊

聚物素素素

龄

瞬

聯

路路

際

瞬

際

105

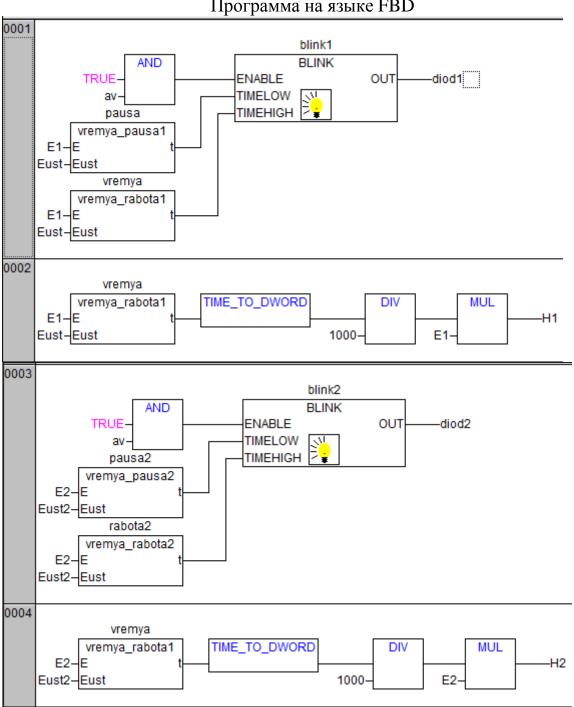
Приложение 3

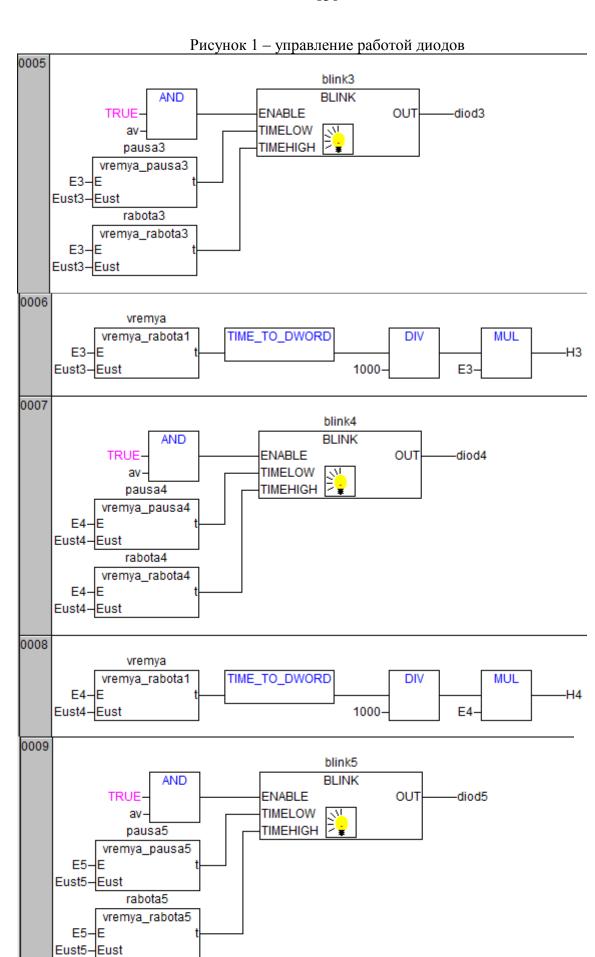
ПРОГРАММА НА ЯЗЫКЕ **FBD** ДЛЯ ПЛК

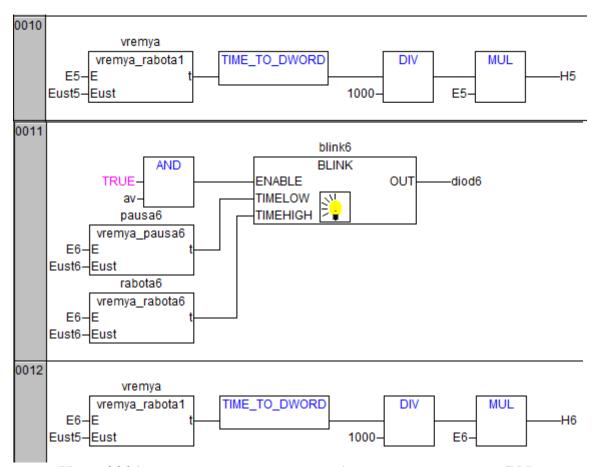
```
0001 PROGRAM PLC PRG
0002 VAR
        av: BOOL; (*Запуск программы*)
0003
0004
        blink1: BLINK; (*Генератор импульсов, определяет время работы и паузы диода*)
0005
        diod1: BOOL; (*Первый диод, УФ излучение*)
0006
        E1: REAL; (*Освещенность первого диода в Лк*)
0007
        Eust: REAL; (*Заданное значение освещенности для первого диода*)
8000
        vremya: vremya_rabota1;
0009
        pausa: vremya_pausa1;
0010
0011
        diod2: BOOL; (*Второй диод, Фиолетовое излучение*)
0012
        blink2: BLINK; (*Генератор импульсов, определяет время работы и паузы диода*)
0013
        pausa2: vremya_pausa2;
0014
        rabota2: vremya_rabota2;
0015
        E2: REAL; (*Освещенность второго диода в Лк*)
0016
        Eust2: REAL;(*Заданное значение освещенности для второго диода*)
0017
0018
        blink3: BLINK;(*Генератор импульсов, определяет время работы и паузы диода*)
0019
        diod3: BOOL;(*Третий диод, Синее излучение*)
0020
        rabota3: vremya_rabota3;
0021
        pausa3: vremya_pausa3;
0022
        E3: REAL; (*Освещенность третьего диода в Лк*)
0023
        Eust3: REAL;(*Заданное значение освещенности для третьего диода*)
0024
0025
        diod4: BOOL;(*Четвертый диод, Зеленое излучение*)
0026
        blink4: BLINK; (*Генератор импульсов, определяет время работы и паузы диода*)
0027
        E4: REAL; (*Освещенность четвертого диода в Лк*)
0028
        Eust4: REAL; (*Заданное значение освещенности для четвертого диода*)
0029
        pausa4: vremya pausa4;
0030
        rabota4: vremya rabota4;
0031
0032
        diod5: BOOL;(*Пятый диод, Желтое излучение*)
0033
        blink5: BLINK; (*Генератор импульсов, определяет время работы и паузы диода*)
0034
        pausa5: vremya_pausa5;
0035
        rabota5: vremya_rabota5;
0036
        E5: REAL; (*Освещенность пятого диода в Лк*)
0037
        Eust5: REAL;(*Заданное значение освещенности для пятого диода*)
```

```
0038
0039
        diod6: BOOL;(*Шестой диод, Красное излучение*)
0040
        blink6: BLINK;(*Генератор импульсов, определяет время работы и паузы диода*)
0041
        E6: REAL; (*Освещенность шестого диода в Лк*)
0042
        Eust6: REAL;(*Заданное значение освещенности для шестого диода*)
0043
        pausa6: vremya_pausa6;
0044
        rabota6: vremya_rabota6;
0045
0046
        H1: REAL; (*Доза облучения, даваемая первым диодом*)
0047
        H2: REAL;(*Доза облучения, даваемая вторым диодом*)
0048
        Н3: REAL;(*Доза облучения, даваемая третьим диодом*)
0049
        H4: REAL;(*Доза облучения, даваемая четвертым диодом*)
0050
        H5: REAL;(*Доза облучения, даваемая пятым диодом*)
0051
        H6: REAL;(*Доза облучения, даваемая шестым диодом*)
0052 END VAR
```

Программа на языке FBD







Цепь 0001 управляет временем работы первого диода (УФ излучение). Блок «AND» проверяет, включен ли запуск программы. Если AV будет присвоено состояние TRUE, то программа будет запущена.

Функциональный блок BLINK является генератором прямоугольных импульсов.

Входы блока BLINK:

- ENABLE принимает только два состояния «Ложь» или «Истина», что соответствует типу BOOL (логический вход);
- TIMELOW и TIMEHIGH входы, которые принимают переменные типа TIME.

Выход ОUТ принимает только два состояния «Ложь» или «Истина», что соответствует типу BOOL (логический вход).

Генератор запускается по входу ENABLE, если ENEBLE = TRUE. Длительность импульса задается на вход TIMEHIGH, длительность паузы – TIMELOW. Длительность импульса и паузы задаются пользовательскими функциональными блоками «FUNCTION_BLOCK vremya_rabota1» и «FUNCTION_BLOCK vremya_pausa1», соответственно. Пользовательские функциональные блоки приведены в таблице1.

Рассмотрим принцип работы пользовательского блока «FUNCTION_BLOCK vremya_rabota1». Пользовательский блок разработан на языке ST. Рабочая область блока разделена на две части. В верхней части заданы переменные, которые используются в этом блоке. Переменная «Е» отвечает за освещенность диода в текущий момент времени. Величина освещенности поступает с датчика на вход микроконтроллера. Переменная «Eust» - установленное значение освещенности для данного диода. Переменная «t» - время работы диода. Переменные «Е» и «Eust» являются входными переменными рассматриваемого блока, а переменная «t» - выходной.

В нижней части блока представлено условие выбора времени работы диода. Длительность работы первого диода зависит от освещенности. Если освещенность диода равна заданному значению, то он остается в рабочем состоянии в течение 16 часов. Если освещенность снижается ниже установленного значения, то длительность работы диода увеличивается до 18 часов. (Время работы увеличивается приблизительно на 10%).

Рассмотрим принцип работы пользовательского блока «FUNCTION_BLOCK vremya_pausa1». Переменные, используемые для этого блока, соответствуют переменным, которые использовались для блока «FUNCTION_BLOCK vremya_rabota1». Длительность паузы первого диода также зависит от освещенности. Если освещенность диода равна заданному значению, то он остается в выключенном состоянии в течение 8 часов. Если освещенность снижается ниже установленного значения, то длительность паузы уменьшается до 6 часов.

Таким образом, диод работает в течение 16 или 18 часов, и остается в выключенном состоянии в течение 8 или 6 часов. Общее время цикла работы диода составляет 24 часа.

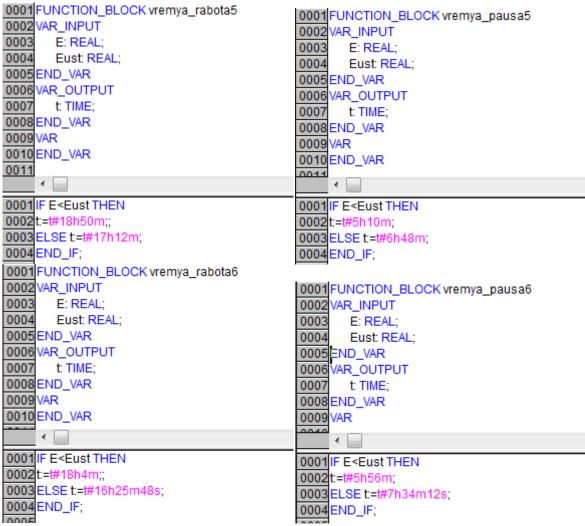
На выходе функционального блока BLINK задана переменная «diod1», которая определяет состояние диода (включено/выключено). Эта переменная также задается на выход микроконтроллера.

Цепь 0002 определяет дозу облучения H1, вырабатываемую первым диодом. Для этого с помощью блока «МUL» рассчитывается произведение освещенности «Е1» и времени «t». Длительность работы диода определяется пользовательским блоком «FUNCTION_BLOCK vremya_rabota1», как было описано выше. Блоки «TIME_TO_DWORD» и «DIV» переводят переменную «t», которая определена как «ТIME», в числовой формат. Это необходимо для корректной работы функции «МUL», которая принимает переменные только в числовом формате.

Остальные цепи для управления работой другими диодами и расчета их дозы облучения построены аналогичным образом (рисунок 1). Пользовательские функциональные блоки управления длительностью импульсов и паузы других диодов приведены в таблице 1.



```
0001 FUNCTION_BLOCK vremya_rabota2
                                              0001 FUNCTION_BLOCK vremya_pausa2
0002 VAR INPUT
                                              0002 VAR_INPUT
        E: REAL;
0003
                                              0003
                                                      E: REAL;
0004
        Eust: REAL;
                                                      Eust: REAL;
                                              0004
0005 END_VAR
                                              0005 END_VAR
0006 VAR_OUTPUT
                                              0006 VAR_OUTPUT
0007
       t: TIME;
                                              0007
                                                   t: TIME;
0008 END_VAR
                                              0008 END_VAR
0009 VAR
                                              0009 VAR
0010 END_VAR
                                              0010 END_VAR
0011
                                                   ∢ 🔲
     4
                                              0001 IF E<Eust THEN
0001 IF E<Eust THEN
                                              0002 t:=t#12h;
0002 t:=t#12h;
                                              0003 ELSE t:=t#13h;
0003 ELSE t:=t#11h;
                                              0004 END_IF;
0004 END_IF;
0001 FUNCTION_BLOCK vremya_rabota3
                                              0001 FUNCTION_BLOCK vremya_pausa3
0002 VAR_INPUT
                                              0002 VAR_INPUT
0003
       E: REAL:
                                              0003
                                                      E: REAL;
0004
       Eust: REAL;
                                              0004
                                                      Eust: REAL;
0005 END_VAR
                                              0005 END_VAR
0006 VAR_OUTPUT
                                              0006 VAR_OUTPUT
0007
       t: TIME;
                                              0007
                                                     t: TIME;
0008 END_VAR
                                              0008 END VAR
0009 VAR
                                              0009 VAR
0010 END_VAR
                                              0010 END_VAR
     1
                                                   4
0001 IF E<Eust THEN
                                              0001 IF E<Eust THEN
0002 t:=t#16h;
                                              0002 t:=t#8h;
0003 ELSE t:=t#14h;
                                              0003 ELSE t:=t#16h;
0004 END_IF;
                                              0004 END_IF;
                                              0001 FUNCTION_BLOCK vremya_pausa4
0001 FUNCTION_BLOCK vremya_rabota4
                                              0002 VAR_INPUT
0002 VAR_INPUT
                                              0003
                                                     E: REAL;
0003
       E: REAL;
                                             0004
                                                     Eust: REAL;
0004
       Eust: REAL;
                                              0005 END_VAR
0005 END_VAR
                                             0006 VAR_OUTPUT
0006 VAR_OUTPUT
                                             0007
                                                    t: TIME;
0007
       t: TIME;
                                             0008 END VAR
0008 END_VAR
                                              0009 VAR
0009 VAR
                                              0010 END_VAR
0010 END_VAR
                                                   ∢ 🔚
     4
                                              0001 IF E<Eust THEN
0001 IF E<Eust THEN
                                             0002 t:=t#8h;
0002 t:=t#16h;
                                             0003 ELSE t:=t#16h;
0003 ELSE t:=t#14h;
                                             0004 END_IF;
0004 END IF:
```



Решение задачи реализовано для ПЛК 63. Т.к. в его конфигурацию входят аналоговые входы и дискретные выходы. На аналоговые входы подаются показания с датчиков освещенности. Это входы E1, E2, E3, E4, E5, E6. Дискретные выходы управляют работой диодов. Выходы — diod1, diod2, diod3, diod4, diod5, diod6 (рисунок 2).

⊟PLC63	Базовые параметры Параметры модуля
——Configuration[FIX]	Вазовые параметры параметры модуля
⊞Dinputs[FIX]	
⊞Outputs[FIX]	Идент. модуля: 10100
- Alnputs[FIX]	Идент, цзла: 1
—E1 AT %ID0.2.0: REAL; (* Аналоговый вход 1 *) [CHANNEL (I)]	
AT %ID0.2.1: WORD; (* Время измерения 1 *) [CHANNEL (I)]	Адрес входов: %IB1
—E2 AT %ID0.2.2: REAL; (* Аналоговый вход 2 *) [CHANNEL (I)]	Адрес выходов: %QB1
AT %ID0.2.3: WORD; (* Время измерения 2 *) [CHANNEL (I)]	A
E3 AT %ID0.2.4: REAL; (* Аналоговый вход 3 *) [CHANNEL (I)]	Адрес диагностики: %МВ1
AT %ID0.2.5: WORD; (* Время измерения 3 *) [CHANNEL (I)]	Комментарий:
——E4 AT %ID0.2.6: REAL; (* Аналоговый вход 4 *) [CHANNEL (I)]	
AT %ID0.2.7: WORD; (* Время измерения 4 *) [CHANNEL (I)]	
——E5 AT %ID0.2.8: REAL; (* Аналоговый вход 5 *) [CHANNEL (I)]	
AT %ID0.2.9: WORD; (* Время измерения 5 *) [CHANNEL (I)]	
E6 AT %ID0.2.10: REAL; (* Аналоговый вход 6 *) [CHANNEL (I)]	
AT %ID0.2.11: WORD; (* Время измерения 6 *) [CHANNEL (I)]	
AT %ID0.2.12: REAL; (* Аналоговый вход 7 *) [CHANNEL (I)]	
AT %ID0.2.13: WORD; (* Время измерения 7 *) [CHANNEL (I)]	
AT %ID0.2.14: REAL; (* Аналоговый вход 8 *) [CHANNEL (I)]	
AT %ID0.2.15: WORD; (* Время измерения 8 *) [CHANNEL (I)]	
MR1_Outputs[FIX]	
Ö AT %QB0.3.0: BYTE; (* BY MP1 *) [CHANNEL (Q)]	
dido1 AT %QX0.3.0.0: BOOL; (* Bit 0 *)	
diod2 AT %QX0.3.0.1: BOOL; (* Bit 1 *)	
diod3 AT %QX0.3.0.2: BOOL; (* Bit 2 *)	
diod4 AT %QX0.3.0.3: BOOL; (* Bit 3 *)	
diod5 AT %QX0.3.0.4: BOOL; (* Bit 4 *)	
diod6 AT %QX0.3.0.5: BOOL; (* Bit 5 *)	

Рисунок 2 – Конфигурация ПЛК 63