

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



БАТУРИН АНДРЕЙ ИВАНОВИЧ

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

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение  
агропромышленного комплекса

Диссертация  
на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Кондратьева Надежда Петровна

Ижевск 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ПРИМЕНЕНИЮ LED ФИТОУСТАНОВОК В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ .....	9
1.1 Обоснование возможности применения импульсного режима облучения.....	9
1.2 Обоснование выбора культуры.....	14
1.2.1 Общие сведения.....	14
1.2.2 Посадочный материал.....	16
1.2.3 Характеристика сортов земляники садовой «Брайтон» и «Корона»	17
1.2.4 Меристемные саженцы – микрочеренки.....	18
1.2.5 Анализ опыта выращивания земляники отечественными и зарубежными производителями .....	21
1.3 Обоснование спектра облучения и оптические свойства растений ....	26
1.4 Анализ существующих источников излучения, позволяющих реализовать импульсный режим облучения .....	31
1.5 Анализ технических средств и схем управления для реализации импульсного режима облучения .....	35
<b>ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>37</b>
2 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ .....	39
2.1 Разработка математической модели по определению длительности светового импульса облучательной установки.....	39
2.2 Методика определения площади листьев меристемной земляники садовой .....	53

3	ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ .....	57
3.1	Описание экспериментальной установки .....	57
3.2	Измерение спектра излучения и разработка блок схемы работы LED фитоустановки в импульсном режиме для облучения микрочеренков земляники.....	61
3.3	Разработка системы управления работой LED фитоустановки в импульсном режиме для облучения микрочеренков земляники .....	64
	ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ.....	68
4	ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА РОСТ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ .....	69
4.1	Результаты экспериментов с разработанной облучательной установки	69
4.2	Эффективность влияния различных облучательных установок на темпы роста.....	77
4.3	Интерполяция динамики роста микрочеренков земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации .....	85
	ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ.....	90
5	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИТООБЛУЧАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ .....	92
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	97
	ЛИТЕРАТУРА .....	98
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	114

## ВВЕДЕНИЕ

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

В работе предложен энергосберегающий импульсный режим облучения меристемных растений земляники, основанный на особенностях процесса фотосинтеза. При этом сделан упор на определение длительности светового импульса, т.к. анализ специальной литературы показал, что длительность светового импульса для определенной культуры подбирается индивидуально [17, 20, 43, 54, 60, 86, 99, 112]. Предложенный импульсный режим облучения позволяет снизить от 40 до 50% затрат на потребление электроэнергии при сохранении качества выращиваемого меристемного посадочного материала земляники. В качестве исследуемой культуры использовалась земляника садовая, т.к. она является богатым источником витамина С. В пяти ягодах средней величины витамина С столько же, сколько в одном крупном апельсине. В работе проведены испытания импульсного режима на меристемных растениях земляники садовой. Так, с одного куста земляники, выращенного из здорового меристемного растения, можно получить до 1 кг ягод в год, что на 200-300 грамм больше, чем у обычных растений [24, 35, 52, 81]. Для получения такой урожайности необходим качественный посадочный материал, который является дефицитом на данный момент, что объясняется неблагоприятными климатическими условиями.

В Удмуртской Республике меристемную землянику выращивают в Удмуртском научно-исследовательском институте сельского хозяйства

структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» в лаборатории садоводства и питомниководства. При этом для облучения меристемной земляники применяют люминесцентные лампы, которые работают в непрерывном режиме. По данным результатов исследования роли освещения при выращивании ягодных культур около 17% в себестоимости выращивания меристемных растений приходится на облучение [1, 2, 28, 34, 46, 75, 80, 99].

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

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

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

**Объект исследования** – система, состоящая из меристемных растений земляники садовой, технических средств облучения и технологических

мероприятий, позволяющих получить здоровый посадочный материал при минимальных расходах на электроэнергию.

**Предметом исследования** является изучение процессов воздействия импульсного режима облучения светодиодными (LED) установками на меристемные растения земляники садовой.

**Задачи исследования:**

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

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

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

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

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

**Научной новизной** исследования является:

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

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

**Теоретическую и практическую значимость представляют:**

1. Параметры энергосберегающего импульсного режим облучения меристемных растений земляники садовой.
2. Математическая модель, позволяющая обосновать наиболее эффективный режим работы LED фитоустановки при выращивании меристемных растений земляники садовой.
3. Методика определения темпов роста площади зеленых листьев меристемных растений земляники садовой.
4. Разработанная энергосберегающая LED фитоустановка для облучения меристемных растений земляники садовой, с возможностью изменения параметров режима облучения.
5. Результаты диссертационного исследования, использованы в УдмФИЦ УрО РАН при проектировании светодиодных облучательных установок.

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

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

**Апробация научных исследований.** Основные положения диссертационной работы были апробированы на: Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ, 2023г., Россия, Ижевск; Международной научно-технической конференции

«ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АПК», 2022г., Россия, Москва; Национальной научно-практической конференции молодых ученых, 2021г., Россия, Ижевск; Национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию плана ГОЭРЛО «Актуальные вопросы энергетики АПК», 2021г., Россия, Ижевск; Международной научно-практической конференции «Перспективы развития аграрных наук», 2021г., Чебоксары; "International AgroScience Conference, AgroScience 2021", 2021г., Чебоксары.

**Положения, выносимые на защиту:**

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

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

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

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

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

Представленные материалы диссертационной работы соответствуют пунктам 1, 2 и 4 научной специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки).



# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ПРИМЕНЕНИЮ LED ФИТОУСТАНОВОК В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ

## 1.1 Обоснование возможности применения импульсного режима облучения

В природе более распространены дни с переменными погодными условиями, когда солнце то появляется, то скрывается за облаками. В процессе эволюции растения приспособились к таким условиям, когда яркие солнечные лучи сменяются более мягким и менее интенсивным освещением. Это обстоятельство привлекло внимание ученых, которые начали исследовать влияние импульсного освещения на рост и развитие растений. Исследования ученых Ф. Блэкмана, Р. Меккеля, Т. Бриккера, а позднее Л.Г. Прищепа, В.А. Козинского, О.И. Кузнецова, К.С. Битарова, Б.В. Коржа, С.А. Овчуковой, Н.П. Кондратьевой (Н.П. Большиной), С.А. Ракутько, В.Ф. Сторчевого, Ю.А. Судника, Л.Ю. Юферева, М.В. Белякова, Д.О. Суринского, Д.А. Филатова и других ученых показали, что импульсное облучение растений позволяет сохранить количество и качество конечного продукта, при этом существенно снижается расход электрической энергии [18, 21, 26, 27, 57].

Возможность применения импульсного облучения основана на особенностях процесса фотосинтеза, который состоит из световых и темных реакций. Процесс фотосинтеза протекает при активном участии хлорофилла. [68, 73, 77, 107]. При импульсном облучении за время световой вспышки молекулы хлорофилла поглощают фотоны, энергия которых полностью используется в последующую темновую фазу. Вследствие этого интенсивность фотосинтеза в период вспышки в 1,3-1,8 раз выше, чем при непрерывном облучении [22, 55, 108, 111].

В 1914 году А. Рихтер провел эксперименты и пришел к выводу, что прерывистое излучение позволяет улучшить качество фотосинтеза на единицу световой энергии [57].

В 1956 году О. Варбург показал, что при прерывистом облучении клетки хлорофилла хорошо усваивают энергию оптического излучения, так как эффективность использования энергии увеличилась почти в 2 раза. Импульсы создавались вращающимися дисками [54, 96].

Большие исследования по обоснованию параметров импульсного режима провел кандидат биологических наук Корж Б.В. [63, 64]. Эксперименты проводились на растениях фасоли, кукурузы, озимой пшеницы и сахарной свеклы, в которых сравнивался фотосинтез под непрерывным и импульсным облучением. В опытах он исследовал длительность темновой паузы, концентрацию кислорода в зоне рабочей среды, величину облученности и температурные показатели зеленого листа. По результатам исследования Коржа Б.В. лучшим для большинства растений является импульсный режим со следующими параметрами: длительность светового импульса – 0,5-0,6 с, длительность темновой паузы – 1 с. Импульсное облучение качественно влияет не на все, т. к. наблюдается недостаточное синтезирование основного энергоносителя – аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Генерирование АТФ при облучении растений происходит со значительно меньшим уровнем, чем требуется для протекания процесса фотосинтеза [33, 63, 108]. При чередовании импульсного режима облучения длительностью 30 секунд и с 15 секундным непрерывным облучением  $\text{CO}_2$  – газообмен остается практически на том же уровне по сравнению с непрерывным облучением [63]. При этом необходимо поддерживать длительность непрерывного облучения не менее половины длительности импульсного. Использование импульсного режима облучения, с указанным коэффициентом заполнения привело к положительным результатам при выращивании ремонтантной гвоздики [19, 23, 24,]. Опыты проводились в фитотроне кафедры электротехнологии МИИСП им. В. П. Горячкина на меристемных растениях. В качестве источника излучения использовалась ртутная разрядная лампа низкого давления мощностью 40 Вт марки ЛБ-40. Для измерения площади растений *in vitro* был разработан специальный

прибор-проектор [19]. Средняя площадь ассимиляционной поверхности листьев растений определялась как средняя арифметическая от суммы двух взаимно перпендикулярных проекций растений. Для перевода единиц освещенности (лк) в площадь листьев ( $\text{мм}^2$ ) строилась градуировочная кривая.

В таблице 1.1 приведены результаты экспериментов, а в таблице 1.2 рассчитан удельный расход электрической энергии [19]. Из таблиц 1.1 и 1.2 следует, что наиболее эффективно растения используют энергию оптического излучения при комбинированном облучении, т. к. при фактически одинаковой скорости роста ассимиляционной поверхности листьев и практически одинаковом весе, расход электроэнергии на единицу сырой массы в этом режиме на 30 % меньше, чем при непрерывном облучении.

**Таблица 1.1 – Средняя скорость прироста общей площади листьев ремонтантной гвоздики *in vitro* при различных режимах облучения в опытах Большиной Н.П. [19]**

Параметры		Режим облучения	
		Импульсный с меняющейся скважностью	Непрерывный (контроль)
Начальная площадь листьев, $\text{мм}^2$		60,0	62,0
Конечная площадь листьев, $\text{мм}^2$		85,5	87,5
Приращение площади листьев, $\text{мм}^2$		25,5	25,5
Среднее ежедневное приращение площадь,	$\text{мм}^2/\text{день}$	1,70	1,70
	%	100	100
Критерий Стьюдента	$t_{\text{ЭКСПЕР}}$	7,38	-
	$t_{\text{ТАБЛ}}$	2,30	2,30
Уровень вероятности		0,95	0,95

Из таблицы 1.1 видно, что ежедневное приращение площади листьев одинаково ( $1,7 \text{ мм}^2/\text{день}$ ) при импульсном и непрерывном режимах облучения. Расчеты показали, что удельный расход электрической энергии на единицу

сырой массы примерно на 40% ниже в импульсном режиме по сравнению с контролем.

Таблица 1.2 – Удельный расход электроэнергии при разных режимах облучения [19]

Показатели		Режимы облучения	
		Импульсный	Непрерывный
Параметры режима		$t_{\text{СВЕТ}}=0,5 \text{ с}$ $t_{\text{ТЕМН}}=1,0 \text{ с}$ $\tau_{\text{ИМП}}=30 \text{ с}$ $\tau_{\text{НЕПР}}=15 \text{ с}$	нет
Период эксперимента: 30 дней, часы		360	360
Время работы установки за 30 дней	часы	236	360
	%	65	100
Средняя сырая масса растений, %		99,79	100
Потребление электрической энергии, %		65,46	100
Расход электроэнергии на единицу сырой массы растений, %		66	100

Таким образом, опыты, проведенные Козинским В.А., Коржом Б.В., Большой Н.П., показали, что при практически одинаковой сырой массе растений, выращенных при непрерывном и импульсном облучении, электрическая энергия рационально расходуется в импульсном режиме [19, 79, 83].

Поэтому основываясь на рекомендациях Коржа Б.В. и результатах Большой Н.П. [19, 63, 68], нами будет испытан комбинированный режим со следующими параметрами: длительность световой экспозиции –  $t_{\text{СВЕТ}}=0,5-0,6 \text{ с}$ ; длительность темновой экспозиции –  $t_{\text{ТЕМН}}=1,0 \text{ с}$ ; длительность импульсного облучения –  $\tau_{\text{ИМП}}=30 \text{ с}$ ; длительность непрерывного облучения –  $\tau_{\text{НЕПР}}=15 \text{ с}$ ; период комбинированного режима –  $T=45 \text{ с}$ . Принимая во внимание то, что земляника садовая является более светолюбивым растением, чем изученные Козинским В.А., Коржом Б.В. и Большой Н.П. проведем предварительный эксперимент и, затем получим математическую модель, которая позволит подобрать оптимальные параметры комбинированного облучения растений.

Медленное распространение импульсного режима облучения было связано с удорожанием электрической схемы работы разрядных ламп низкого давления за счет применения накальных трансформаторов для предварительного прогрева катодов, которое было необходимо для сохранения номинального срока службы ламп [17, 18, 19, 25, 42, 53, 67, 99] или конструкция импульсной установки была сложная из-за того, что она вращалась, сохраняя срок службы [47-54, 91, 113], с необходимостью подбора длительности светового и темнового периодов для конкретной культуры. С появлением на рынке светодиодов (LED) появилась возможность реализации импульсного режима облучения, так как частое включение LED не приводит к уменьшению их срока службы [18, 70, 74, 76, 100]. Для цифрового управления скважностью импульсов целесообразно использовать микросхемы.

В связи с использованием мощных облучательных установок в растениеводстве защищенного грунта и тем фактом, что импульсный режим облучения позволяет существенно снизить расход электроэнергии для целей облучения при сохранении урожайности, исследование и внедрение импульсного режима облучения растений с помощью светодиодных фитооблучательных установок (LED ФОУ) представляет собой значимую и актуальную задачу.

Таким образом, опираясь на положительные результаты исследований Козинского В.А., Коржа Б.В. и Большой Н.П. [55, 56, 58, 59], мы будем поддерживать в наших исследованиях такие параметры импульсно режима, которые позволят существенно снизить расход электроэнергии на цели облучения при сохранении качества продукции.

Этот режим облучения растений необходимо решить инженерно, т.е.

- подобрать источник излучения, срок службы которого не уменьшится за счет частых включений;
- обосновать и симитировать наиболее благоприятный спектр и режим для выращиваемой культуры;

- разработать фитоустановку для реализации импульсного режима облучения растений с разной скважностью и разработать электрическую схему для работы источников излучения;
- исследовать влияние этого режима облучения с меняющейся скважностью на рост и развитие растений.

## 1.2 Обоснование выбора культуры

### 1.2.1 Общие сведения

Выращивание земляники является популярным и прибыльным направлением сельскохозяйственного производства, так как этот продукт пользуется постоянным высоким спросом со стороны покупателей, особенно в период между сезонами. Однако традиционные методы выращивания земляники отличаются значительной трудоемкостью и сложностью, что делает их малорентабельными.

Результаты археологических раскопок показывают, что земляника произрастала в европейских лесах еще в период неолита. Вероятнее всего, она уже была известна как вкусное лакомство в эпоху античности. Данный факт подкрепляется упоминаниями о ней в письменных источниках Египта и Греции. В XV веке первые окультуренные ягоды земляники перекочевали из Пиренеев в Прованс, а затем в остальную часть Европы. Благодаря своим вкусовым и питательным характеристикам, земляника уже много веков популярна во всём мире. В настоящее время большое количество разновидностей этой ягоды также культивируется по всему миру.

Химический состав земляники обладает замечательными пищевыми, полезными и лекарственными (целебными) свойствами. В 100 граммах земляники витамина С содержится больше дневной нормы. По содержанию витамина С земляника уступает только чёрной смородине. В пяти ягодах средней величины витамина С столько же, сколько в одном крупном

апельсине. А фолиевой кислоты в землянике больше, чем в малине и винограде. Кроме витамина С плоды содержат лимонную, яблочную, хинную, салициловую, фосфорную кислоты, при созревании появляется янтарная, следы шикимовой и гликолевой кислот, пектиновые вещества, антоцианы, каротин, эфирное масло, следы витамина В. Калорийность земляники составляет всего 36,9 ккал на 100 г, что делает её по-настоящему диетическим продуктом [41].

В свежем виде плоды применяются в пищу, в кондитерском производстве: для вин и ликёров. Аромат земляники активно применяется в косметической отрасли.

В народной медицине водные экстракты из плодов и листьев земляники используют в качестве диуретического и потогонного средства, для лечения простудных заболеваний и анемии. Благодаря мощному противовоспалительному и противомикробному действию, земляника может быть полезна для лечения заболеваний желудка. Антимикробные свойства этой ягоды также используются для лечения воспалений носоглотки и устранения неприятного запаха изо рта. Наличие йода в землянике может компенсировать его недостаток в повседневном рационе и воде. Ягода также обладает сахаропонижающим эффектом. В народной медицине считается, что прием свежего земляничного сока (4-6 столовых ложек) натощак помогает при желчнокаменной болезни. В дополнение, при заболеваниях почек и мочевыводящих путей советуют употреблять землянику на протяжении всего сезона. Оптимальная ежедневная норма – не менее 400 граммов. Земляника является природным мочегонным средством и успокаивающе действует на печень. Поэтому при ревматизме и заболеваниях печени рекомендуется применять клубничную диету. В течение недели нужно ежедневно съедать по 1,5 килограмма ягод. Салициловая кислота, которая содержится в ягоде, помогает и при болях в суставах. Земляника позволяет восполнить дефицит железа при малокровии, при лечении экземы, диатеза, кожной сыпи, небольших ранок. Нужно просто нанести кашицу из земляники на больное

место. Ягоды земляники и отвар из ее листьев нормализуют обмен веществ и давление, избавляют от бессонницы. Земляника – отличное профилактическое средство от таких болезней, как атеросклероз и гипертония [61, 62, 124].

### 1.2.2 Посадочный материал

Основная ягодная культура в отечественных хозяйствах – земляника садовая, которая обладает высоким спросом и экономической эффективностью. Наибольший интерес для возделывания имеет земляника ремонтантная. В переводе с французского языка ремонтантность обозначает вновь поднимающийся или снова цветущий. Особенность растений ремонтантного сорта в том, что могут повторно цвести и плодоносить на протяжении одного вегетационного сезона [41].

Для товарного выращивания этой культуры необходимо правильно выбрать посадочный материал.

По результатам сельскохозяйственной переписи основные площади под насаждениями земляники сосредоточены в Южном (49,7% от общей площади под плодово-ягодными насаждениями), Центральном (37,4%), Приволжском (30,1%), Северо-Западном (31,6%) округах. На этих территориях производится более 6% от ее общемировых объемов.

В основном землянику выращивают в личных подсобных хозяйствах - до 90% от общей площади; на долю сельскохозяйственных предприятий приходится 9,6%, а на долю фермерских хозяйств лишь 0,4% [71].

По потреблению свежих ягод земляники на душу населения, Россия заметно отстает от Европы. Для России один житель потребляет за год только 1,4 кг ягод, в Турции и Испании – 5,8-16 кг. При этом потребности отечественного рынка обеспечены всего на 30-40% сезонной ягодой и на 10% внесезонной. За годы реформирования АПК ягодоводство не утратило свои позиции и подтвердило эффективность возделывания земляники садовой в хозяйствах всех категорий.



Анализ показал, что в России с 1990 г. доля крупнотоварных предприятий в структуре валового производства ягод этой культуры сократилась в 4 раза, а урожайность уменьшилась на 64,4 %, но в это же время возросли эти показатели в хозяйствах населения. В результате потребительский спрос на свежую ягоду в России обеспечивается за счет собственного производства только на 35-40 %, замороженную – на 25-35 %, высушенную – менее чем на 20 %, а образовавшийся дефицит активно восполняется импортными поставками из Турции, Польши, Китая, Испании.

До недавних пор в России в основном использовали свежевскопанную рассаду, которую традиционно высаживали осенью (в конце августа - начале сентября) или весной (в апреле - мае). Однако в эти сроки невозможно обеспечить высокую приживаемость и урожайность культуры.

### **1.2.3 Характеристика сортов земляники садовой «Брайтон» и «Корона»**

Землянику садовую сорта «Брайтон» можно выращивать круглый год в теплице. Ягоды употребляют в свежем виде, готовят варенье, компоты, кисели, делают джемы, замораживают. При хорошем уходе вес одной ягоды может достигать 70-75 г. (рисунок 1.1) [123].



**Рисунок 1.1 – Фото ягод садовой земляники сорта «Брайтон» [123]**

Ягоды хорошо переносят транспортировку, они не деформируются, не становятся мягкими, не раскисают и не пускают сок. Перевозить их в город с дачи – одно удовольствие [41].

Земляника Корона родом из Голландии. Сорт отличается морозостойкостью, устойчивостью к заболеваниям, крупными ягодами и высокими урожаями [124]. На сегодня это один из наиболее востребованных десертных сортов земляники, который может с успехом выращиваться в непростом климате России. Ягоды имеют, в среднем, массу от 15 до 30 граммов. Сорт очень урожайный: при промышленном культивировании дает от 12 до 15 тонн ягод с одного гектара. В среднем, с одного куста собирается 900-1000 граммов ягод. Для посадки подходят кустики, имеющие 4-5 листиков, и развитые корни длиной 7-10 см.

#### **1.2.4 Меристемные саженцы – микрочеренки**

Еще один способ размножения земляники, который только набирает обороты – меристемный. Меристемные саженцы, в отличие от обычных, имеют ряд преимуществ: они обладают более высоким уровнем здоровья, развитой корневой системой, устойчивостью к заболеваниям и повышенной урожайностью. Так, если с обычного куста земляники обычно собирают 200-300 грамм ягод, то с меристемного куста урожай может достигать 1 килограмма. Достаточно хорошо разработана технология микроклонального размножения земляники, основанная на культивировании апикальных меристем, которое широко применяется в США, Голландии, Польше, Франции, Японии, Таиланде. В России также накоплен большой опыт по меристемному размножению (*in vitro*) важных для сельского хозяйства видов растений. Практически во всех российских научно-исследовательских институтах и селекционных центрах созданы лаборатории для размножения и оздоровления селекционного материала *in vitro*.

Меристемы или образовательные ткани (греч. meristos делимый) — обобщающее название для тканей растений, состоящих из интенсивно делящихся и сохраняющих физиологическую активность на протяжении всей жизни клеток (рисунок 1.2) [118].

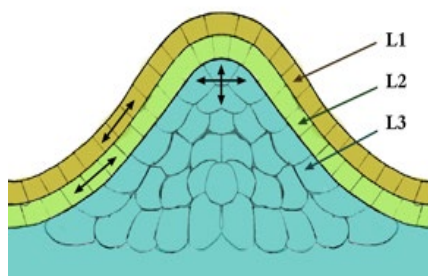


Рисунок 1.2 – Меристемная ткань растений [118]

Меристемы по своему местоположению делятся на три типа:

- L1 - верхушечные (апикальные) меристемы, которые располагаются вблизи верхушек побегов и корней, и являются точками роста растений;
- L2 - боковые (латеральные) меристемы, расположенные по периферии корней и побегов, они способствуют вторичному росту данных органов растений в толщину;
- L3 - вторичные (феллоген) меристемы, из которых формируется пробка. Эта меристема отвечает за образование покровной ткани растения.

Меристемный способ выращивания растений проходит 4 этапа:

1. Процесс культивирования меристемных тканей, которые берут от растений и помещают на особые питательные среды в пробирках и затем ставят в специальный шкаф на 3-4 недели, обеспечивая освещение до 16 часов в день.
2. Размножение: микрочеренки достигают размеров горошины и формируют зачатки всех необходимых органов растения. Затем подросшие микрочеренки разделяют на пять-семь частей и каждую из них (новые

меристемные черенки) снова выращивают в пробирках примерно за 3-4 недели.

3. Укоренение и адаптация: после образования меристемными микрочеренками развитой корневой системы, их извлекают из пробирок и высаживают в горшочки с легким торфом. Горшочки размещают в защищенной среде, для чего достаточно использовать небольшую пластиковую защиту. Примерно через 4-6 недель происходит адаптация микрочеренков к условиям естественного выращивания.

4. Подращивание: после укоренения и адаптации новые растения выращивают с использованием методов агротехники, подходящих для данной культуры, и затем они могут быть пересажены в теплицу и далее – в открытый грунт.

Микроклональное размножение позволяет получить растения, которые полностью сохраняют все признаки материнского сорта и впоследствии могут размножаться как вегетативным, так и семенным путем.

В случае повреждения органов и тканей растений, образуются раневые меристемы, которые стимулируют рост каллуса – специфической ткани, состоящей из однородных клеток и покрывающей поврежденный участок. В практике садоводства эта особенность растений широко используется при размножении с помощью черенков и прививок. Чем активнее каллусообразование, тем выше вероятность успешного срастания привоя с подвоем и укоренения черенков [118].

Микроразмножение с использованием меристем является одним из наиболее эффективных и передовых методов размножения растений. Вот некоторые преимущества этого метода:

1. Ускорение процесса размножения: микроразмножение меристемами позволяет ускорить процесс размножения растений, так как этот метод позволяет получить большое количество клонов за короткий промежуток времени. Растения, полученные меристемным способом, не поражаются вирусом, даже, если меристемные ткани были взяты у

зараженного растения, так как вирус не поражает меристемы на верхушках побегов.

2. Снижение затрат: использование меристемного микроразмножения может снизить затраты на размножение растений, поскольку оно не требует использования почвы или больших площадей для выращивания растений.

3. Повышение качества растений: благодаря быстрому росту и отсутствию болезней, растения, полученные методом меристемного микроразмножения, обычно имеют лучшее качество, чем растения, выращенные традиционным способом.

4. Урожайность меристемных саженцев выше. Например, с обычного кустика земляники можно собрать в год 200-300 грамм ягод, а с меристемного – до 1 кг.

### **1.2.5 Анализ опыта выращивания земляники отечественными и зарубежными производителями**

Использование новых технологий производства посадочного материала, ягод, их хранения и транспортировки позволят стимулировать отечественного производителя и насытить российский рынок свежей земляникой.

В НПО ВНИИС им. И.В. Мичурина 10 лет назад начались исследования по разработке новых способов выращивания посадочного материала и технологий возделывания земляники, позволяющих повысить урожайность культуры до 15-30 т/га открытом грунте и расширить период потребления свежих ягод до 2,5-3 месяцев [28].

Исследования проводились на опытных клубничных плантациях в научно-исследовательском учреждении ВНИИС имени Мичурина в период с 1998 по 2008 годы. В качестве объектов изучения были выбраны сорта клубники интенсивного типа, такие как "Кама", "Эльзанта", "Хоней" и "Ароса", а также новые методы выращивания рассады, включая

свежевыкопанную и "фриго". На основе анализа экономических показателей, факторов, снижающих урожайность клубники, и изучения рыночных объемов за период 10-летних исследований во ВНИИС им. Мичурина, была создана система выращивания клубники, соответствующая лучшим мировым стандартам и адаптированная к почвенно-климатическим условиям. Эта система была внедрена в Воронежской (ЗАО "Острогожск сад питомник"), Белгородской (ООО "Агрофирма Росток"), Костромской (крестьянское фермерское хозяйство Бельдиной) и Астраханской (крестьянское хозяйство "Садовод") областях, а также в других регионах [82, 84, 85, 89, 90].

Методы традиционного размножения клубники не всегда обеспечивают получение рассады, пригодной для посадки в наиболее подходящее время. Замечено много сложностей с укоренением рассады, развитием генеративных органов и значительная (от 30% до 60%) смертность растений в зимний период.

В институте ВНИИС им. Мичурина была усовершенствована технология выращивания высококачественной рассады клубники. Эта технология повышает вегетативную урожайность на 40% и позволяет окупить затраты на материнские растения в течение первого же года использования. Была разработана система создания высокопродуктивной рассады со свойствами, которые можно запрограммировать заранее (диаметр стебля от 15 мм, два и более стеблей). Для этого применяются внешние обработки макро- и микроэлементами (азот, кальций, цинк, магний) и стимуляторами роста растений ("Циркон", "Нарцисс"), а также двукратное механическое обрезание усов. Хранение физиологически активной рассады в холодильнике при температуре от -1 до -2 градусов в течение 6-9 месяцев сохраняет запасы углеводов, необходимых для роста. Это обеспечивает оптимальные сроки посадки рассады "фриго", гарантирует почти 100%-ную приживаемость и высокую продуктивность агроценозов (15-30 т/га), расширение сезона сбора урожая и снижение инвестиционных рисков.

Всероссийский НИИ садоводства является ведущим разработчиком инновационной технологии программируемого производства ягод земляники. Эта технология позволяет получать урожай от 10 до 25 тонн с гектара через полтора-два месяца после посадки. Уровень рентабельности такого производства превышает 180%. Выявлено, что использование пластиковых гряд для выращивания растений способствует увеличению урожая на 40–83% и ускорению начала периода сбора на 7–15 дней в сравнении с традиционным методом. Для каждой из представленных технологий разрабатываются индивидуальные меры защиты [38, 46].

Проблема сохранения свежести ягод земляники при транспортировке на оптовые рынки сегодня особенно важна. Чтобы решить эту проблему, специалисты предлагают использовать элементы израильской технологии StePac Xtends. Если следовать нашим рекомендациям по выращиванию, ягоды сохранят свои изначальные качества в полиэтиленовых упаковках с МА/МН на протяжении не менее 15 дней [39, 40, 124].

Важным фактором, влияющим на высокую урожайность земляники, являются качественные характеристики посадочного материала. Они определяются здоровьем рассады, а также развитием вегетативных и генеративных частей растения [94, 95].

В России земляничный бизнес только начинается. Спрос на землянику, а соответственно и цены в России растут на 30-50% в год. Сейчас земляника выращивается у нас только в открытом грунте. Таким образом, свежая земляника есть в продаже только в мае - июне. Все остальное время используется или мороженая земляника, или свежая земляника в ресторане, или дорогая импортная земляника в супермаркете по цене около 800 руб. за 1 кг. Учитывая, что за исключением 2-х месяцев в году (май-июнь) «земляничный рынок» абсолютно не насыщен и нет никакой конкуренции, несомненно, свежая земляника будет пользоваться спросом зимой или ранней весной.

Выращивание земляники в защищенном грунте имеет ряд преимуществ по сравнению с ее выращиванием в открытом грунте. В защищенном грунте можно полностью регулировать параметры микроклимата, а в открытом грунте урожай зависит от погодных условий [92, 93].

Период сбора ягод является одним из самых трудоемких и важных. Чтобы сохранить свежесть ягод, сразу после сбора их необходимо быстро охладить, соблюдая температурный режим от 0,5 до 10 градусов по Цельсию, который зависит от планируемого срока реализации.

Проведенные исследования продемонстрировали, что при увеличении продолжительности «светового дня» в тепличных условиях, клубника начинает цвести раньше. К примеру, если продолжительность «светового дня» составляет 16 часов (достигается с помощью дополнительного освещения), то клубника зацветает уже через 10 дней и начинает плодоносить спустя 35 дней.

Тепличное выращивание земляники с использованием горшков, позволяет более рационально использовать пространство в теплицах, например, между рядами томатов. Горшки диаметром 18-20 см наполняются органическим субстратом и размещаются в теплице. После того, как томаты начинают активно расти, плодоношение земляники заканчивается, и она убирается из теплицы. При таком способе выращивания, урожай тепличной земляники собирают 2-3 раза в неделю, сортируют и упаковывают в специальные корзины для удобства транспортировки и подачи потребителю.

В Израиле широко распространено вертикальное выращивание земляники с использованием гидропонной технологии, что обеспечивает высокую урожайность на каждом квадратном метре тепличной площади (рисунок 1.3) [122].

Для создания оптимальных условий при культивировании земляники в Израиле используются передовые технологии на основе искусственного субстрата и гидропонного оборудования.





**Рисунок 1. 3 – Вертикальное выращивание земляники с использованием гидропонной технологии [122]**

Растения в этих проектах выращиваются в специальных пластиковых трубах, заполненных специальным синтетическим субстратом. Через этот субстрат проходит вода со всеми необходимыми питательными веществами для здорового роста растений. Система полностью обеспечена всем необходимым оборудованием для создания оптимальной питательной водной смеси и регуляции состава поливной воды. Для долгосрочного промышленного выращивания клубники и обеспечения регулярных поставок продукции на рынок используются оборудованные гидропоникой теплицы с автоматическим контролем климата. Эти проекты включают в себя также систему автоматизации, поддерживающую все необходимые параметры для автоматического выращивания растений. Путем регулирования условий выращивания можно контролировать процесс созревания и другие важные для производства характеристики. Благодаря этой методике можно получить очень качественные ягоды: плотные, прекрасно сохраняющиеся при транспортировке, имеющие долгий срок хранения и прекрасный товарный вид. Стеллажи с клубникой размещают на высоте до 1,8 метра над поверхностью земли [122]. Упрощение процесса сбора и упаковки ягод, осуществляемых непосредственно в ту же тару, в которой они в дальнейшем

поступают на продажу, значительно снижает затраты труда и повышает рентабельность бизнеса (рисунок 1.4).



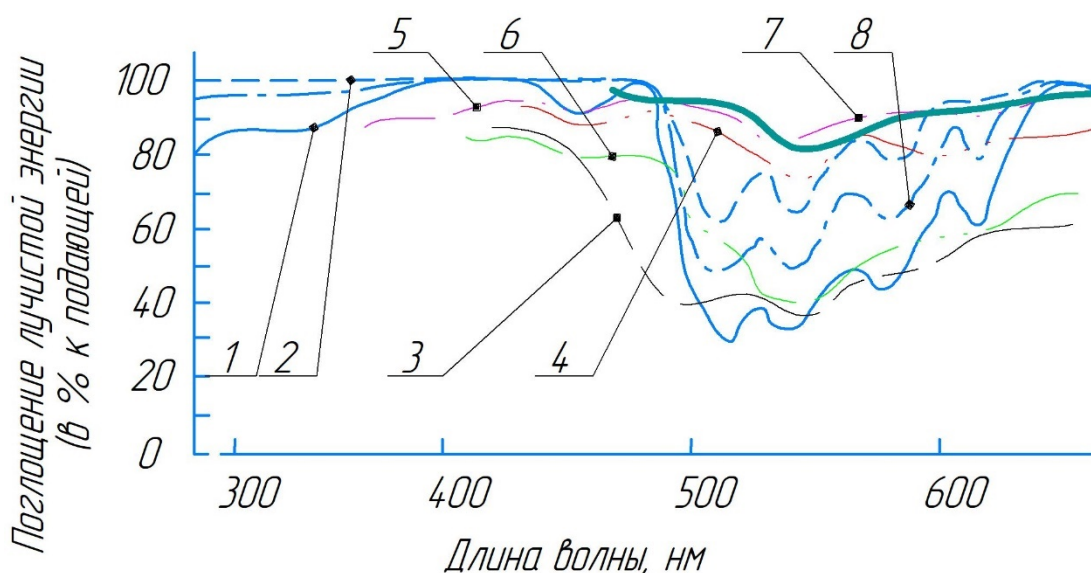
Рисунок 1.4 – Тара с ягодами [122]

Интересен и способ механизации сбора ягод, испытанный в Финляндии. Землянику выращивают в огромном пластиковом мешке, который подбирает транспортер и подает на товарный стол. Здесь сборщик снимает ягоды и помещает их в тару.

В Голландии в закрытых отапливаемых теплицах земляника выращивается круглый год на специальных ягодных блоках. Урожайность земляники составляла в среднем 37 кг с квадратного метра.

### **1.3 Обоснование спектра облучения и оптические свойства растений**

Зеленый лист растения является органом восприятия лучистой энергии, необходимой для нормального хода физиологических процессов подобно тому, как корни являются органом, посредством которого растения получают из почвы воду и минеральные вещества. На рисунке 1.5 представлены спектры поглощения энергии листьями растений (рисунок 1.5) [45].



**Рисунок 1.5 – Поглощение лучистой энергии листьями различных растений при одинаковой спектральной интенсивности**  
**1 – недотроги; 2 – кувшинки; 3 – периллы; 4 – пеларгонии; 5 – тополя;**  
**6 – салата; 7 – фикуса; 8 – теоретическая кривая поглощения энергии**  
**«средним» листом [45]**

Зеленый лист, содержащий хлорофилл, обеспечивает энергией весь растительный организм. Экспериментальные данные и теоретические расчеты показывают, что лист поглощает в основном видимые и ультрафиолетовые лучи в диапазоне 300-750 нм [32, 44, 66]. При этом максимумы поглощения приходятся на оранжево-красные (600-680 нм) и сине-фиолетовые и ультрафиолетовые лучи (300-500 нм), а минимум – на зеленые лучи (500-600 нм). В области 750 нм находится граница, за пределами которой поглощение лучистой энергии практически равняется нулю [35, 68]. Поглощение возникает лишь в далеких инфракрасных лучах; в основном оно совершается водою, содержащейся в тканях листа (рисунок 1.6).

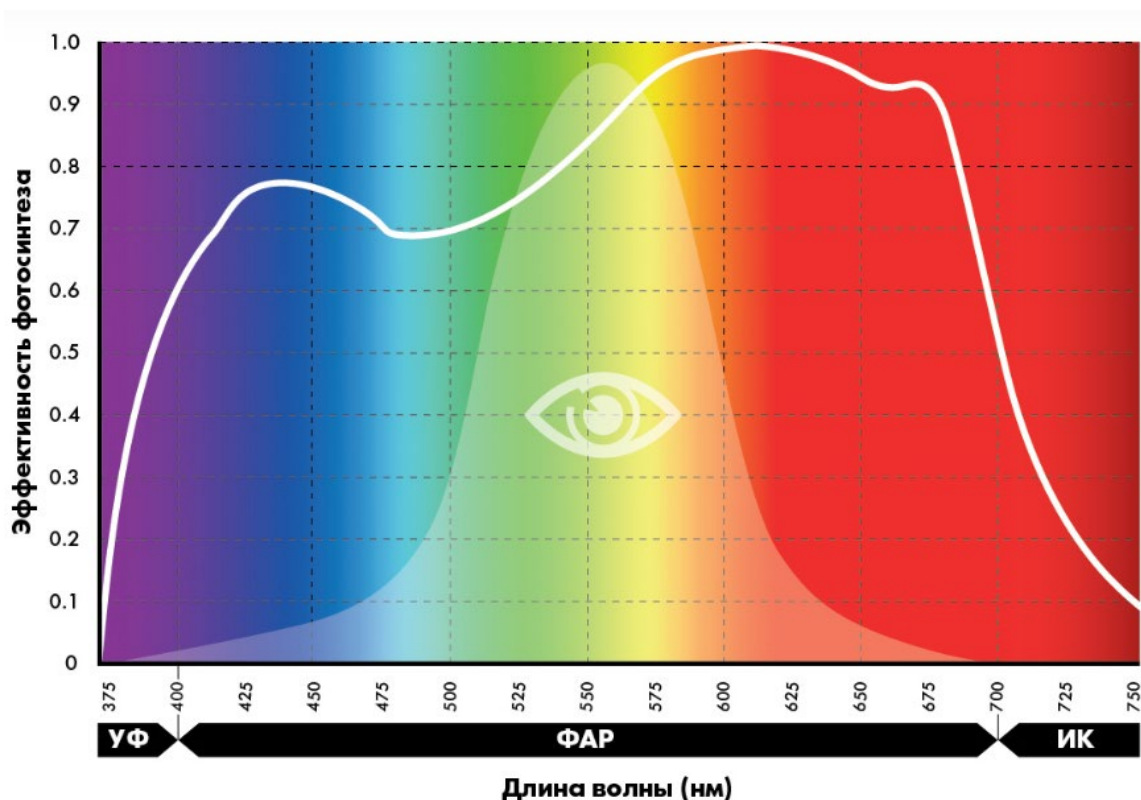


Рисунок 1.6 – Кривая спектральной чувствительности зеленого листа [125]

В зоне 300-750 нм лист поглощает от 60 до 80 % энергии падающих лучей. Наименьшим поглощением обладают теневые, или тенелюбивые, а наибольшим – световые, или светолюбивые, растения. Растения, выращиваемые в условиях светокультуры, относятся к тенелюбивым. Лист, как и всякий другой орган растения, состоит в основном из углеводов, белков и жиров или их производных, которые поглощают лишь «короткие» ультрафиолетовые (меньше 300 нм) и далекие инфракрасные лучи (порядка 5-6 мкм) [126, 130].

Таким образом, из приведенных данных следует, что интенсивность фотосинтетически активной радиации (ФАР), потребная для наиболее быстрого перехода растений к цветению, в зависимости от вида, лежит в широком диапазоне – от 50 до 400 Вт/м<sup>2</sup>).

Следует, однако, иметь в виду, что при употреблении источников радиации, богатых оранжево-красными лучами, интенсивность освещения может быть значительно ниже [5, 30, 31, 35, 44, 46, 69]. Это относится, в частности, к

лампам накаливания, неоновым лампам, люминесцентным лампам красного света и др.

На уровне растений в условиях светокультуры интенсивность физиологической радиации должна быть в пределах 60-120 тыс. эрг/см<sup>2</sup>·сек (60-120 Вт/м<sup>2</sup>) или 0,07-0,17 г-кал/см<sup>2</sup>-мин или 41-82 клк. При этом фактический к.п.д. фотосинтеза будет не выше 5%. Дальнейшее ее увеличение не оказывает большого влияния на накопление органического вещества.

При выращивании тенелюбивых растений возможно применение более низкой интенсивности, а при культуре крайне светлюбивых растений, например хлопчатника, подсолнечника или кукурузы, следует рекомендовать интенсивность более 120 Вт/м<sup>2</sup> [129, 131]

Академик К.А.Тимирязев продемонстрировал в своей лекции «Космическое значение растений», организованной Лондонским Королевским обществом, как энергия солнечного света накапливается в виде запасов в зеленой листве [101, 102].

Растения обладают комплексами фоторецепторных элементов, позволяющих им улавливать и поглощать энергию всего диапазона света, способного поддерживать фотосинтез. Это единственные формы жизни на Земле, которые способны осуществлять самостоятельный синтез органических соединений из неорганических веществ, и данный процесс известен как фотосинтез [109, 110].

Открытие роли хлорофилла в процессе фотосинтеза, когда он поглощает энергию света и активно участвует в окислительно-восстановительной реакции при образовании органического вещества и свободного кислорода из воды и углекислого газа, было сделано академиком К. А. Тимирязевым:

$$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + nh\nu + \text{хлорофилл} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + \text{хлорофилл} \quad (1.1)$$

Анализ специализированных источников показывает, что растения могут использовать только около 0,2% всей энергии фотосинтетически активной радиации, которая достигает Земли. Однако теоретические возможности предполагают возможность усвоения 5% или даже 10% этой

радиации. Согласно данным Ничипоровича А. А. (1963 г.), максимальный коэффициент полезного действия фотосинтеза, не превышающий 5%, достигается при излучении длиной волны 680 нанометров [78, 79, 103, 105]. В процессе выращивания растений при искусственном освещении важно знать, какие характеристики спектрального состава излучения необходимы для достижения максимальной урожайности сельскохозяйственных культур.

Исследования Протасовой Н.Н. из института физиологии растений и других ученых показали, что разные части спектра имеют особое влияние на растения [3, 29, 86, 87,88, 104, 106].

Если в излучении лампы отсутствуют определенные участки спектра, это может привести к проблемам с ростом растений при их длительном выращивании под такими источниками света (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – **Влияние спектра излучения на формирование растений [85]**

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

Протасова Н.Н. предлагает разработать источник излучения с определенными характеристиками спектра. В диапазоне длин волн от 380 до 490 нанометров поток излучения должен составлять от 20 до 25 %. Для диапазона от 490 до 500 нанометров предлагается аналогичный показатель – 20-25%. В диапазоне от 600 до 700 нанометров доля излучения должна быть больше – 60-50%.

Таким образом, каждая из трех основных областей ФАР взятая в отдельности, не позволяет вырастить полноценные растения, и только

излучение с определенным соотношением энергии по этим трем диапазонам длин волн может обеспечить выращивание полноценных растений [86, 87].

Мнение Малышева В.В. также поддерживает эту точку зрения. Он предлагает использовать модель, где любое излучение с непрерывным или линейчатым спектром в области ФАР рассматривается как сложное и состоящее из трех квазимонохроматических излучений, по числу спектральных диапазонов, где они сосредоточены. Таким образом, относительное спектральное распределение излучения определяется сочетанием усредненных относительных интенсивностей излучения в процентах от общего излучения ФАР [71,72, 119]. Т.е. для  $\Delta\lambda_1=380-500$  нм –  $S_{\text{отн.1}}=30\%$ , для  $\Delta\lambda_2=500-600$  нм –  $S_{\text{отн.2}} = 20\%$ ; для  $\Delta\lambda_3=600-720$  нм –  $S_{\text{отн.3}}=50\%$ ,

Таким образом, принимая во внимание результаты исследования таких ученых как А.Ф. Клешнин, Ю.М. Жилинский, И.И. Свентицкий, В.М. Леман, Н.Н. Протасова, В.В. Малышев, а также Hughes J.E., Morgan D.C. [128] и др. мы будем создавать LED ФОУ со следующим сочетанием: для  $\Delta\lambda_1=380-500$  нм –  $S_{\text{отн.1}}=25\%$ ; для  $\Delta\lambda_2=380-720$  нм –  $S_{\text{отн.2}}=25\%$ ; для  $\Delta\lambda_3=600-720$  нм –  $S_{\text{отн.3}}=50\%$ , учитывая приложение А.

#### **1.4 Анализ существующих источников излучения, позволяющих реализовать импульсный режим облучения**

В сфере облучения растений в защищенном грунте в настоящее время имеется достаточно обширный ассортимент светильников, однако спектр их излучения не позволяет адаптировать установку к конкретному растению, а также такие установки не предназначены для изменения режима облучения [120, 121].

Мощная тепличная светодиодная фитолампа полного спектра «Скат» предназначена для теплиц, зимних садов, оранжерей. Данный светодиодный светильник для растений построен на базе светодиода полного спектра. В

корпус встроены радиатор с вентилятором охлаждения, способствующий эффективному теплоотводу, в результате чего фиточип не перегревается, что является залогом длительной работы светодиода (рис. 1.7).



**Рисунок 1.7 – Тепличная светодиодная фитолампа «Скат» [120]**

Технические характеристики: потребляемая мощность - 100 Вт; напряжение питания – 150-265 В; диаметр лампы – 36 см; класс защиты – IP44;

Светодиодный светильник DEMMAX LWL-2014-04CL предназначен для дополнительного освещения при недостатке естественного света, а также в качестве основного освещения при полном отсутствии солнечного света для выращивания рассады всех видов огородных и комнатных растений. Светильники могут быть использованы для фито освещения теплиц, цветочных магазинов, зимних садов и т. п. Устанавливается на расстоянии 20–40 см от поверхности листьев растений (рисунок 1.8).



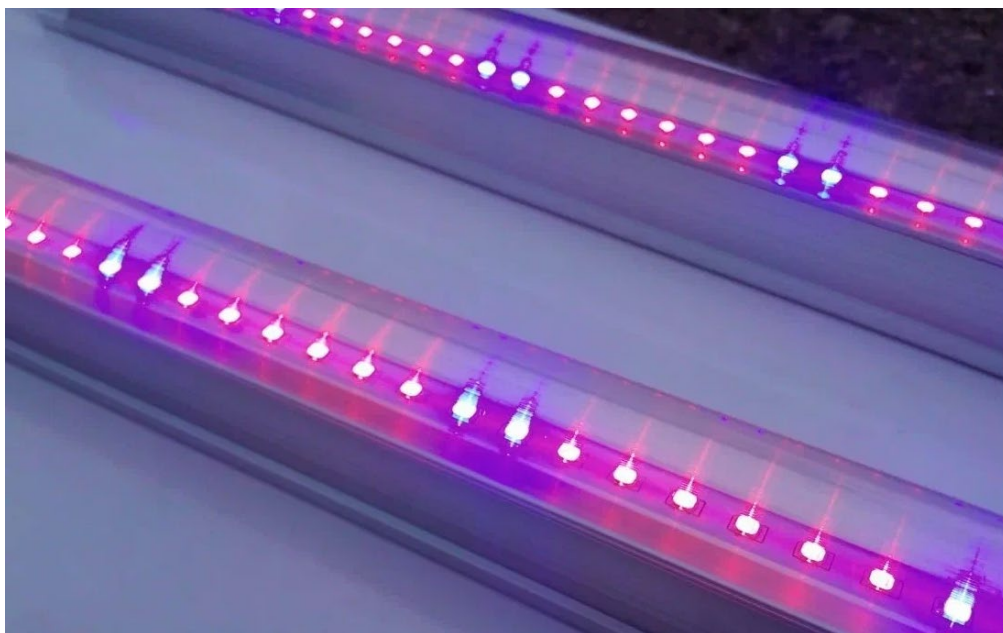


Рисунок 1.8 – **Фитолампа DEMMAX LWL-2014-04CL [120]**

Технические характеристики: потребляемая мощность – 10 Вт; напряжение питания – 220-240 В; длина лампы – 60 см; класс защиты – IP40; спектральный состав света: красный, инфракрасный, синий, красно-синий.

На данный момент уже существует множество различных источников облучения растений, однако не каждый из них возможно использовать в качестве основного источника света. Как правило светильники создаются лишь на досвечивание растений при недостатке естественного света. И тем более не все установки могут быть реализованы под импульсное облучение.

Таким образом, лучше всего использовать точечные светодиоды, мощностью 1 Вт. Принято решение реализовать комбинированный режим на светодиодах с потреблением тока 350 мА, падением напряжения 3,5 В (рисунок 1.9)

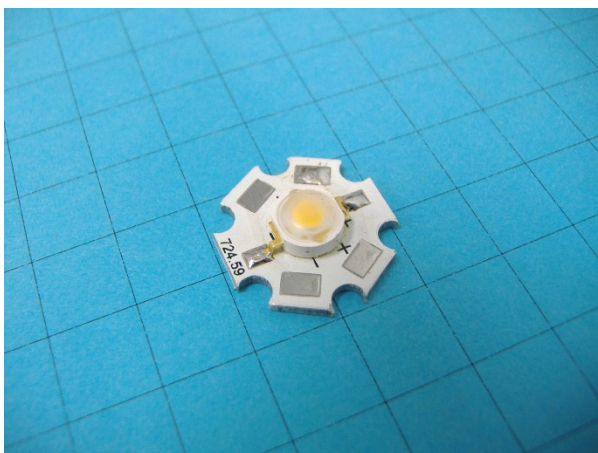


Рисунок 1.9 – Точечный светодиод LXHL-WW1S/O [123]

Имеется ряд преимуществ использования светодиодов:

1. **Спектральная гибкость.** Светодиоды позволяют изменять спектр света, что дает возможность имитировать различные типы солнечного света (например, утренний, полуденный или послеполуденный) и адаптироваться к различным стадиям роста растений.
2. **Энергоэффективность.** Светодиоды потребляют меньше энергии, чем традиционные источники света, такие как накаливания или люминесцентные лампы.
3. **Длительный срок службы.** Светодиодные лампы имеют очень долгий срок службы - до 50 000 часов и более.
4. **Безопасность.** Светодиоды не содержат вредных веществ, таких как ртуть, которые могут представлять опасность при утилизации традиционных ламп.
5. **Возможность регулировки яркости.** Светодиодные источники света позволяют регулировать яркость в широких пределах, что позволяет управлять уровнем освещенности и экономить энергию при необходимости.
6. **Меньший размер:** светодиодные источники света занимают меньше места, чем традиционные лампы, что особенно полезно при использовании в ограниченном пространстве, таком как теплицы или гроубоксы.

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

### **1.5 Анализ технических средств и схем управления для реализации импульсного режима облучения**

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что разрядные лампы, работающие в импульсном режиме с использованием схемы емкостно-диодного генератора, как это предложено Глуховым И.В и его соавторами, генерируют в своем токе четные и нечетные гармоники [18, 19, 22]. В свою очередь, Елисеев В.И предлагает использовать схему встречного включения ламп для симметрирования этого тока и подавления четных гармоник. Если длительность светового импульса достигает десятых долей секунды, то при работе ламп в таком режиме с помощью тиристорных устройств тоже могут появиться четные и нечетные гармоники в выходном напряжении [22]. Значительно повысить коэффициент мощности можно только в групповом вентильном преобразователе при использовании рациональных законов управления вентильными группами. При этом токи высших гармоник, создаваемые одной вентильной установкой, в большей или меньшей степени компенсируются аналогичными токами других. Силовая схема каждой установки не изменяется, а усложняется только маломощная система управления [80, 97, 98]. В литературе [80] приводятся данные о повышении результирующего коэффициента мощности групп регуляторов поочередно-последовательным включением последующих регуляторов при отключении предыдущих регуляторов (рисунок 1.10).

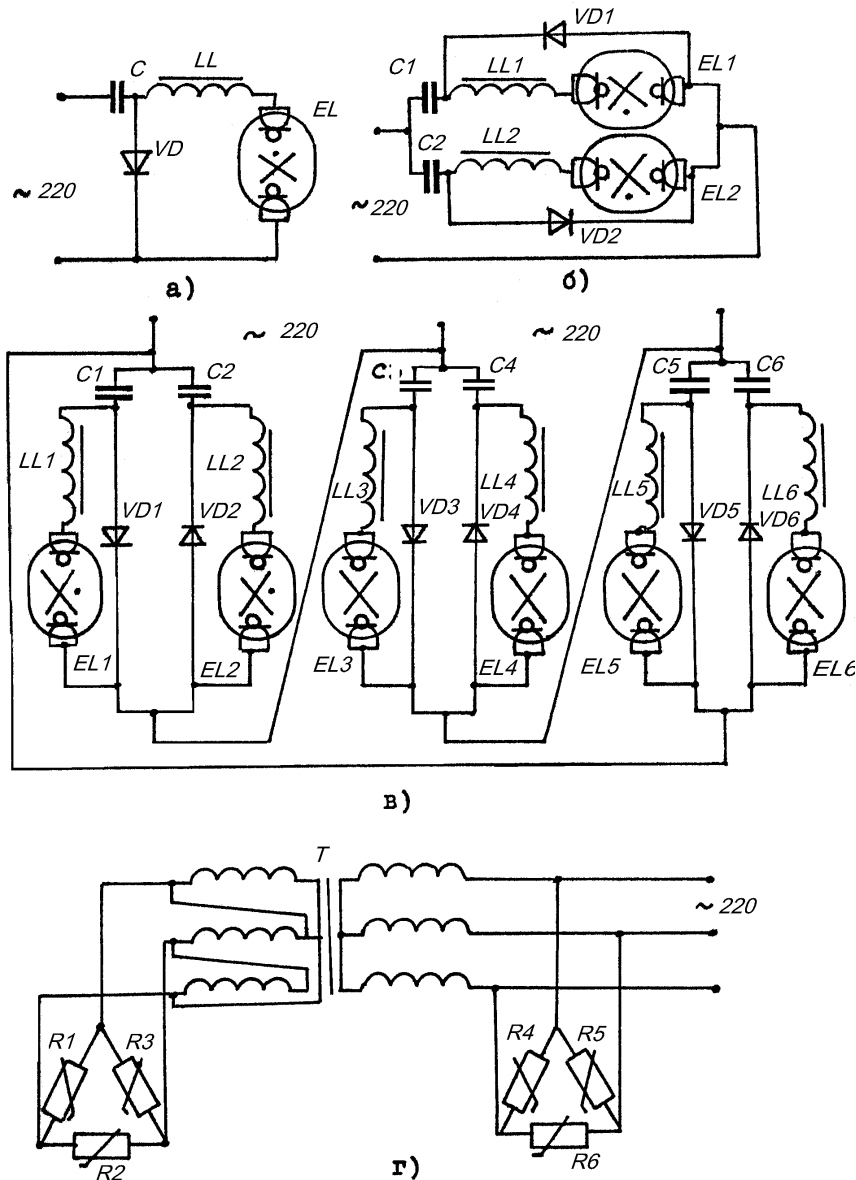


Рисунок 1.10 – Схемы включения импульсных облучательных установок  
 а) схема емкостно-диодного генератора (ЕДГ); б) две лампы включены встречно; в) попарно встречное включение ламп, соединенных в треугольник; г) один треугольник ламп включен через трансформатор с соединением обмоток  $\Delta/Y$ , второй – к первичной его обмотке [78]

При работе ламп в импульсном режиме также необходимо проанализировать показатели эффективности использования электрической энергии. Необходимо разработать методы повышения результирующего коэффициента мощности. В связи с тем, что себестоимость электрической энергии во многом определяется ее потерей в сетях, которые, в свою очередь,

обратно пропорциональны коэффициенту мощности, а также принимая большую мощность облучательных установок, используемых в растениеводстве защищенного грунта, вопросы повышения показателей эффективности использования электрической энергии для создания энергосберегающих облучательных установок являются бесспорно важными и актуальными [114-117].

## **ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

1. Меристемные растения выращивают в сооружениях защищенного грунта, где есть возможность регулировать параметры среды, в том числе спектр излучения и режим облучения растений. На обеспечение светового режима тратится около 30% потребляемой электроэнергии. Поэтому разработка энергоэффективного режима облучения, позволяющего существенно снизить затраты на электроэнергию при сохранении качества выпускаемой продукции является актуальной задачей.

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

3. В связи с тем, что себестоимость электрической энергии во многом определяется ее потерей в сетях, которые, в свою очередь, обратно пропорциональны коэффициенту мощности, а также принимая большую мощность облучательных установок, используемых в растениеводстве защищенного грунта, вопросы повышения показателей эффективности использования электрической энергии для создания энергосберегающих облучательных установок являются важными и актуальными.

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

**Задачи исследования:**

1. Разработать математическую модель, позволяющую обосновать наиболее эффективные параметры импульсного режима облучения при выращивании меристемных растений земляники садовой;
2. Разработать методику определения темпов роста площади зеленых листьев меристемных растений, позволяющую оценить эффективность импульсного режима;
3. Разработать энергосберегающую LED фитоустановку для облучения меристемных растений земляники садовой, с возможностью изменения параметров режима облучения. Провести лабораторные и производственные испытания
4. Определить экономическую эффективность применения импульсного режима облучения на LED фитооблучательных установках при выращивании меристемных растений земляники садовой.

## 2 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

### 2.1 Разработка математической модели по определению длительности светового импульса облучательной установки

Для того, чтобы определить связь темпов роста листьев земляники садовой от длительности импульса облучательной установки необходимо преобразовать фотонные единицы в радиометрические единицы. Для этого воспользуемся методикой конвертации Уильяма Биггса [118].

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

$$W_T = \int_{400}^{700} W_\lambda d\lambda, \quad (2.1)$$

где  $W_T$  – суммарная мощность светового облучения, Вт/м<sup>2</sup>,  $W_\lambda$  – интенсивность облучения конкретной длины волны, Вт/(м<sup>2</sup>·нм),  $\lambda$  – длина волны, нм.

На конкретной длине волны  $\lambda$  количество фотонов составляет:

$$N_\lambda = \frac{W_\lambda}{hc/\lambda}, \quad (2.2)$$

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

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

$$6,023 \cdot 10^{17}(R) = \int_{400}^{700} \frac{W_{\lambda}}{hc/\lambda} d\lambda, \quad (2.3)$$

где  $R$  – плотность потока фотонов, мкмоль·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>.

Определим отношение суммарной мощности к плотности потока фотонов:

$$W_T = 6,023 \cdot 10^{17}(Rhc) \frac{\int_{400}^{700} W_{\lambda} d\lambda}{\int_{400}^{700} \lambda W_{\lambda} d\lambda}, \quad (2.4)$$

Для получения двух интегралов необходимо дискретное суммирование. Кроме того, поскольку  $W_{\lambda}$  фигурирует как в числителе, так и в знаменателе, его можно заменить нормализованной кривой  $N_{\lambda}$ . Тогда:

$$W_T = 6,023 \cdot 10^{17}(Rhc) \frac{\sum_i N_{\lambda_i} \Delta\lambda}{\sum_i \lambda_i N_{\lambda_i} \Delta\lambda}, \quad (2.5)$$

где  $\Delta\lambda$  – любой желаемый интервал длин волн,  $\lambda_i$  – центральная длина волны интервала, а  $N_{\lambda_i}$  – нормализованная мощность излучения источника на центральной длине волны. В окончательном виде:

$$W_T = 119,8(R) \frac{\sum_i N_{\lambda_i}}{\sum_i \lambda_i N_{\lambda_i}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (2.6)$$

Произведем расчет: возьмем  $i = 1$  (шаг в диапазоне 400-700 нм),  $\Delta\lambda = 300$  нм,  $\lambda_i = 550$  нм.

$$W_T = 119,8(R) \left( \frac{N(550)}{550 \cdot N(550)} \right) = 0,22(R), \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

или  $1 \text{ Вт/м}^2 \approx 4,6 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Для того, чтобы перевести фотонные единицы (мкмоль·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>, при диапазоне длин волн от 400 нм до 700 нм) в фотометрические показания (люкс, при диапазоне длин волн от 400 нм до 700 нм) воспользуемся формулой (2.7):

$$L = k \int_{400}^{700} y_{\lambda} W_{\lambda} d\lambda, \quad (2.7)$$

где  $k$  – световой эквивалент лучистой энергии на длине волны, соответствующей максимуму чувствительности,  $k = 683$ ,  $d_{\lambda}$  – шаг, равный 1 нм,  $y_{\lambda}$  – чувствительность люксметра.



Зная цифровые характеристики длин волн (при  $\Phi$  отн. – фотометрическое представление спектра на каждой длине волны) исследуемой установки, снятые спектральным прибором «ТКА-ВД» (рисунок 2.1), используя формулы (2.1) - (2.7) произведем расчеты и внесем данные в таблицу 2.1.

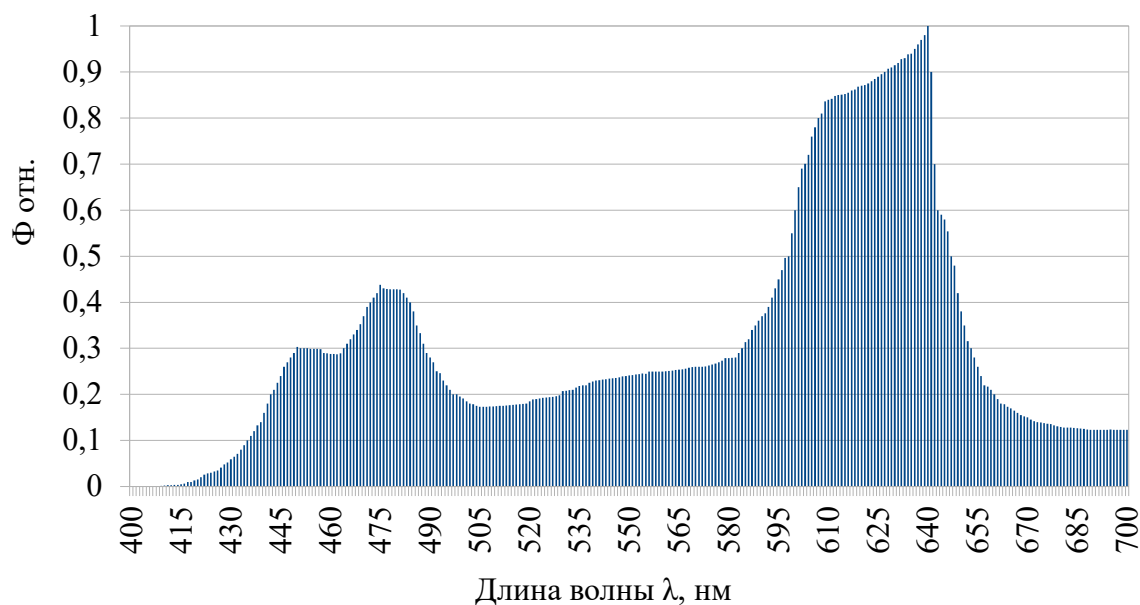


Рисунок 2.1 – Спектральный состав исследуемой фитооблучательной установки

Таблица 2.1 – Результаты расчетов конвертации фотонных единиц в радиометрические и фотометрические показания

$\lambda$ , нм	$\Phi$ отн.	$W_{\lambda}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$R$ , мкмоль·с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup>	$y_{\lambda}$	$E$ , лк
404	0	0,00	0	0	0,01	0,00
405	0,0001	0,0000	$3,06 \cdot 10^{13}$	0	0,01	0,00
406	0,0001	0,0000	$3,07 \cdot 10^{13}$	0,00	0,01	0,00
407	0,0002	0,0000	$6,15 \cdot 10^{13}$	0,00	0,01	0,00
408	0,0008	0,0001	$2,47 \cdot 10^{14}$	0,00	0,01	0,00
409	0,0012	0,0002	$3,7 \cdot 10^{14}$	0,00	0,01	0,00
410	0,0019	0,0003	$5,89 \cdot 10^{14}$	0,00	0,01	0,00
411	0,0025	0,0004	$7,76 \cdot 10^{14}$	0,00	0,01	0,00
412	0,0029	0,0004	$9,03 \cdot 10^{14}$	0,00	0,01	0,00
413	0,0032	0,0005	$9,98 \cdot 10^{14}$	0,00	0,01	0,00
414	0,0036	0,0005	$1,12 \cdot 10^{15}$	0,00	0,01	0,00

Продолжение таблицы 2.1

$\lambda$ , нм	$\Phi$ отн.	$W_\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$R$ , мкмоль·с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup>	$y_\lambda$	$E$ , лк
415	0,0048	0,0007	$1,5 \cdot 10^{15}$	0,00	0,01	0,00
416	0,0064	0,0010	$2,01 \cdot 10^{15}$	0,00	0,01	0,01
417	0,0098	0,0015	$3,08 \cdot 10^{15}$	0,00	0,01	0,01
418	0,01	0,0015	$3,15 \cdot 10^{15}$	0,00	0,01	0,01
419	0,0135	0,0020	$4,27 \cdot 10^{15}$	0,00	0,01	0,01
420	0,0153	0,0023	$4,85 \cdot 10^{15}$	0,00	0,01	0,02
421	0,02	0,0030	$6,36 \cdot 10^{15}$	0,01	0,01	0,02
422	0,0256	0,0038	$8,16 \cdot 10^{15}$	0,01	0,01	0,03
423	0,0289	0,0043	$9,23 \cdot 10^{15}$	0,01	0,01	0,03
424	0,03	0,0045	$9,61 \cdot 10^{15}$	0,02	0,01	0,03
425	0,0326	0,0049	$1,04 \cdot 10^{16}$	0,02	0,01	0,03
426	0,0345	0,0052	$1,11 \cdot 10^{16}$	0,02	0,01	0,04
427	0,0411	0,0062	$1,32 \cdot 10^{16}$	0,02	0,01	0,04
428	0,048	0,0072	$1,55 \cdot 10^{16}$	0,03	0,01	0,05
429	0,052	0,0078	$1,68 \cdot 10^{16}$	0,03	0,02	0,11
430	0,059	0,0089	$1,91 \cdot 10^{16}$	0,03	0,02	0,12
431	0,065	0,0098	$2,11 \cdot 10^{16}$	0,04	0,02	0,13
432	0,071	0,0107	$2,31 \cdot 10^{16}$	0,04	0,02	0,15
433	0,08	0,0120	$2,61 \cdot 10^{16}$	0,043	0,02	0,16
434	0,09	0,0135	$2,95 \cdot 10^{16}$	0,05	0,02	0,18
435	0,1	0,0150	$3,28 \cdot 10^{16}$	0,05	0,02	0,21
436	0,11	0,0165	$3,62 \cdot 10^{16}$	0,06	0,03	0,34
437	0,12	0,0180	$3,96 \cdot 10^{16}$	0,07	0,03	0,37
438	0,1329	0,0200	$4,39 \cdot 10^{16}$	0,07	0,03	0,41
439	0,14	0,0210	$4,64 \cdot 10^{16}$	0,08	0,03	0,43
440	0,16	0,0240	$5,32 \cdot 10^{16}$	0,09	0,03	0,49
441	0,18	0,0270	$5,99 \cdot 10^{16}$	0,1	0,03	0,55
442	0,2	0,0300	$6,68 \cdot 10^{16}$	0,11	0,03	0,62
443	0,21	0,0315	$7,03 \cdot 10^{16}$	0,12	0,04	0,86
444	0,2256	0,0339	$7,57 \cdot 10^{16}$	0,13	0,04	0,93
445	0,24	0,0360	$8,07 \cdot 10^{16}$	0,13	0,04	0,98
446	0,26	0,0390	$8,76 \cdot 10^{16}$	0,14	0,04	1,07
447	0,27	0,0405	$9,12 \cdot 10^{16}$	0,15	0,04	1,11
448	0,28	0,0420	$9,48 \cdot 10^{16}$	0,16	0,05	1,44
449	0,29	0,0435	$9,84 \cdot 10^{16}$	0,163	0,05	1,49
450	0,3029	0,0455	$1,03 \cdot 10^{17}$	0,17	0,05	1,55
451	0,3	0,0450	$1,02 \cdot 10^{17}$	0,17	0,05	1,54
452	0,3	0,0450	$1,02 \cdot 10^{17}$	0,17	0,05	1,54
453	0,3	0,0450	$1,02 \cdot 10^{17}$	0,17	0,06	1,85
454	0,299	0,0449	$1,02 \cdot 10^{17}$	0,17	0,06	1,84
455	0,299	0,0449	$1,02 \cdot 10^{17}$	0,17	0,06	1,84
456	0,2989	0,0449	$1,03 \cdot 10^{17}$	0,17	0,06	1,84
457	0,298	0,0447	$1,02 \cdot 10^{17}$	0,17	0,07	2,14
458	0,29	0,0435	$1,00 \cdot 10^{17}$	0,17	0,07	2,08
459	0,289	0,0434	$1,00 \cdot 10^{17}$	0,17	0,07	2,07

Продолжение таблицы 2.1

$\lambda$ , нм	$\Phi$ отн.	$W_\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$R$ , мкмоль·с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup>	$y_\lambda$	$E$ , лк
460	0,288	0,0432	$1,00 \cdot 10^{17}$	0,17	0,07	2,07
461	0,2879	0,0432	$1,00 \cdot 10^{17}$	0,17	0,08	2,36
462	0,2874	0,0431	$1,00 \cdot 10^{17}$	0,17	0,08	2,36
463	0,289	0,0434	$1,01 \cdot 10^{17}$	0,18	0,08	2,37
464	0,3	0,0450	$1,05 \cdot 10^{17}$	0,17	0,08	2,46
465	0,31	0,0465	$1,08 \cdot 10^{17}$	0,18	0,09	2,86
466	0,32	0,0480	$1,12 \cdot 10^{17}$	0,19	0,09	2,95
467	0,33	0,0495	$1,16 \cdot 10^{17}$	0,19	0,09	3,05
468	0,34	0,0510	$1,20 \cdot 10^{17}$	0,2	0,09	3,14
469	0,3528	0,0530	$1,25 \cdot 10^{17}$	0,2	0,1	3,62
470	0,37	0,0555	$1,31 \cdot 10^{17}$	0,21	0,1	3,79
471	0,39	0,0586	$1,38 \cdot 10^{17}$	0,23	0,1	4,00
472	0,4	0,0601	$1,42 \cdot 10^{17}$	0,24	0,11	4,51
473	0,41	0,0616	$1,46 \cdot 10^{17}$	0,24	0,11	4,62
474	0,42	0,0631	$1,50 \cdot 10^{17}$	0,25	0,11	4,74
475	0,4377	0,0657	$1,57 \cdot 10^{17}$	0,26	0,12	5,39
476	0,43	0,0646	$1,54 \cdot 10^{17}$	0,26	0,12	5,29
477	0,429	0,0644	$1,54 \cdot 10^{17}$	0,26	0,12	5,28
478	0,428	0,0643	$1,54 \cdot 10^{17}$	0,26	0,13	5,71
479	0,428	0,0643	$1,54 \cdot 10^{17}$	0,26	0,13	5,71
480	0,428	0,0643	$1,55 \cdot 10^{17}$	0,26	0,14	6,14
481	0,4278	0,0642	$1,55 \cdot 10^{17}$	0,26	0,14	6,14
482	0,42	0,0631	$1,53 \cdot 10^{17}$	0,25	0,15	6,46
483	0,41	0,0616	$1,49 \cdot 10^{17}$	0,25	0,15	6,31
484	0,4	0,0601	$1,46 \cdot 10^{17}$	0,24	0,16	6,56
485	0,38	0,0571	$1,39 \cdot 10^{17}$	0,23	0,16	6,23
486	0,35	0,0525	$1,28 \cdot 10^{17}$	0,21	0,17	6,10
487	0,3329	0,0500	$1,22 \cdot 10^{17}$	0,2	0,18	6,14
488	0,31	0,0465	$1,14 \cdot 10^{17}$	0,19	0,18	5,72
489	0,29	0,0435	$1,07 \cdot 10^{17}$	0,18	0,19	5,65
490	0,28	0,0420	$1,03 \cdot 10^{17}$	0,17	0,2	5,74
491	0,27	0,0405	$1,00 \cdot 10^{17}$	0,17	0,21	5,81
492	0,25	0,0375	$9,29 \cdot 10^{16}$	0,15	0,22	5,64
493	0,2461	0,0369	$9,16 \cdot 10^{16}$	0,15	0,23	5,80
494	0,23	0,0345	$8,58 \cdot 10^{16}$	0,14	0,24	5,66
495	0,22	0,0330	$8,23 \cdot 10^{16}$	0,14	0,25	5,64
496	0,21	0,0315	$7,87 \cdot 10^{16}$	0,13	0,26	5,60
497	0,2	0,0300	$7,51 \cdot 10^{16}$	0,12	0,27	5,54
498	0,2	0,0300	$7,52 \cdot 10^{16}$	0,13	0,28	5,74
499	0,1951	0,0293	$7,35 \cdot 10^{16}$	0,12	0,29	5,80
500	0,191	0,0287	$7,21 \cdot 10^{16}$	0,12	0,31	6,07
501	0,185	0,0278	$7,00 \cdot 10^{16}$	0,12	0,32	6,07
502	0,18	0,0270	$6,82 \cdot 10^{16}$	0,11	0,34	6,28
503	0,179	0,0269	$6,80 \cdot 10^{16}$	0,11	0,34	6,24

Продолжение таблицы 2.1

$\lambda$ , нм	$\Phi$ отн.	$W_\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$R$ , мкмоль·с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup>	$y_\lambda$	$E$ , лк
504	0,175	0,0263	$6,66 \cdot 10^{16}$	0,11	0,37	6,64
505	0,1728	0,0259	$6,59 \cdot 10^{16}$	0,11	0,38	6,73
506	0,1729	0,0260	$6,61 \cdot 10^{16}$	0,11	0,39	6,91
507	0,173	0,0260	$6,62 \cdot 10^{16}$	0,11	0,42	7,45
508	0,1735	0,0260	$6,66 \cdot 10^{16}$	0,11	0,42	7,47
509	0,174	0,0261	$6,69 \cdot 10^{16}$	0,11	0,44	7,85
510	0,1745	0,0262	$6,72 \cdot 10^{16}$	0,11	0,46	8,23
511	0,175	0,0263	$6,75 \cdot 10^{16}$	0,11	0,47	8,43
512	0,1755	0,0263	$6,79 \cdot 10^{16}$	0,11	0,49	8,82
513	0,176	0,0264	$6,82 \cdot 10^{16}$	0,11	0,51	9,20
514	0,1765	0,0265	$6,85 \cdot 10^{16}$	0,11	0,53	9,59
515	0,177	0,0266	$6,88 \cdot 10^{16}$	0,11	0,56	10,16
516	0,178	0,0267	$6,94 \cdot 10^{16}$	0,11	0,58	10,59
517	0,179	0,0269	$6,99 \cdot 10^{16}$	0,12	0,59	10,83
518	0,1796	0,0270	$7,03 \cdot 10^{16}$	0,12	0,61	11,23
519	0,18	0,0270	$7,06 \cdot 10^{16}$	0,12	0,63	11,63
520	0,185	0,0278	$7,27 \cdot 10^{16}$	0,12	0,65	12,33
521	0,189	0,0284	$7,44 \cdot 10^{16}$	0,12	0,68	13,18
522	0,19	0,0285	$7,49 \cdot 10^{16}$	0,12	0,7	13,64
523	0,191	0,0287	$7,54 \cdot 10^{16}$	0,12	0,72	14,10
524	0,1929	0,0290	$7,63 \cdot 10^{16}$	0,13	0,73	14,44
525	0,193	0,0290	$7,65 \cdot 10^{16}$	0,13	0,76	15,04
526	0,194	0,0291	$7,71 \cdot 10^{16}$	0,13	0,77	15,32
527	0,195	0,0293	$7,76 \cdot 10^{16}$	0,13	0,81	16,20
528	0,196	0,0294	$7,82 \cdot 10^{16}$	0,13	0,82	16,48
529	0,198	0,0297	$7,91 \cdot 10^{16}$	0,13	0,84	17,05
530	0,2071	0,0311	$8,29 \cdot 10^{16}$	0,14	0,85	18,05
531	0,208	0,0312	$8,34 \cdot 10^{16}$	0,14	0,86	18,34
532	0,209	0,0314	$8,40 \cdot 10^{16}$	0,14	0,88	18,86
533	0,21	0,0315	$8,45 \cdot 10^{16}$	0,14	0,89	19,16
534	0,215	0,0323	$8,67 \cdot 10^{16}$	0,14	0,9	19,84
535	0,218	0,0327	$8,81 \cdot 10^{16}$	0,15	0,91	20,34
536	0,2197	0,0330	$8,90 \cdot 10^{16}$	0,15	0,92	20,73
537	0,22	0,0330	$8,92 \cdot 10^{16}$	0,15	0,93	20,98
538	0,225	0,0338	$9,14 \cdot 10^{16}$	0,15	0,93	21,46
539	0,228	0,0342	$9,28 \cdot 10^{16}$	0,15	0,94	21,98
540	0,23	0,0345	$9,38 \cdot 10^{16}$	0,16	0,95	22,41
541	0,231	0,0347	$9,44 \cdot 10^{16}$	0,16	0,95	22,50
542	0,232	0,0348	$9,50 \cdot 10^{16}$	0,16	0,96	22,84
543	0,233	0,0350	$9,56 \cdot 10^{16}$	0,16	0,97	23,18
544	0,234	0,0351	$9,62 \cdot 10^{16}$	0,16	0,97	23,27
545	0,235	0,0353	$9,67 \cdot 10^{16}$	0,16	0,97	23,37
546	0,236	0,0354	$9,73 \cdot 10^{16}$	0,16	0,98	23,72
547	0,237	0,0356	$9,79 \cdot 10^{16}$	0,16	0,98	23,82

Продолжение таблицы 2.1

$\lambda$ , нм	$\Phi$ отн.	$W_\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$R$ , мкмоль·с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup>	$y_\lambda$	$E$ , лк
548	0,2393	0,0359	$9,91 \cdot 10^{16}$	0,16	0,99	24,29
549	0,2399	0,0360	$9,95 \cdot 10^{16}$	0,16	0,99	24,35
550	0,241	0,0362	$1,00 \cdot 10^{17}$	0,17	0,99	24,47
551	0,242	0,0363	$1,00 \cdot 10^{17}$	0,17	0,99	24,57
552	0,243	0,0365	$1,01 \cdot 10^{17}$	0,17	1	24,92
553	0,244	0,0366	$1,01 \cdot 10^{17}$	0,17	1	25,02
554	0,2451	0,0368	$1,02 \cdot 10^{17}$	0,17	1	25,13
555	0,245	0,0368	$1,02 \cdot 10^{17}$	0,17	1	25,12
556	0,2499	0,0375	$1,05 \cdot 10^{17}$	0,17	1	25,62
557	0,2498	0,0375	$1,05 \cdot 10^{17}$	0,17	1	25,61
558	0,2497	0,0375	$1,05 \cdot 10^{17}$	0,17	1	25,60
559	0,2496	0,0375	$1,05 \cdot 10^{17}$	0,17	1	25,59
560	0,2496	0,0375	$1,05 \cdot 10^{17}$	0,17	1	25,59
561	0,25	0,0375	$1,05 \cdot 10^{17}$	0,18	1	25,64
562	0,251	0,0377	$1,06 \cdot 10^{17}$	0,18	1	25,74
563	0,252	0,0378	$1,07 \cdot 10^{17}$	0,18	1	25,84
564	0,253	0,0380	$1,07 \cdot 10^{17}$	0,18	0,99	25,68
565	0,254	0,0381	$1,08 \cdot 10^{17}$	0,18	0,99	25,78
566	0,2548	0,0383	$1,08 \cdot 10^{17}$	0,18	0,99	25,87
567	0,256	0,0384	$1,09 \cdot 10^{17}$	0,18	0,99	25,99
568	0,258	0,0387	$1,10 \cdot 10^{17}$	0,18	0,98	25,93
569	0,259	0,0389	$1,11 \cdot 10^{17}$	0,18	0,98	26,03
570	0,2598	0,0390	$1,11 \cdot 10^{17}$	0,18	0,97	25,84
571	0,26	0,0390	$1,12 \cdot 10^{17}$	0,19	0,97	25,86
572	0,26	0,0390	$1,12 \cdot 10^{17}$	0,19	0,96	25,59
573	0,261	0,0392	$1,13 \cdot 10^{17}$	0,19	0,95	25,42
574	0,263	0,0395	$1,14 \cdot 10^{17}$	0,19	0,95	25,62
575	0,265	0,0398	$1,15 \cdot 10^{17}$	0,19	0,94	25,54
576	0,267	0,0401	$1,16 \cdot 10^{17}$	0,19	0,93	25,46
577	0,27	0,0405	$1,17 \cdot 10^{17}$	0,19	0,92	25,47
578	0,273	0,0410	$1,19 \cdot 10^{17}$	0,2	0,91	25,47
579	0,2789	0,0419	$1,22 \cdot 10^{17}$	0,2	0,9	25,74
580	0,279	0,0419	$1,22 \cdot 10^{17}$	0,2	0,89	25,46
581	0,2795	0,0420	$1,22 \cdot 10^{17}$	0,2	0,88	25,22
582	0,28	0,0420	$1,23 \cdot 10^{17}$	0,2	0,87	24,98
583	0,29	0,0435	$1,27 \cdot 10^{17}$	0,21	0,86	25,57
584	0,3	0,0450	$1,32 \cdot 10^{17}$	0,22	0,85	26,15
585	0,3133	0,0470	$1,38 \cdot 10^{17}$	0,23	0,84	26,99
586	0,32	0,0480	$1,41 \cdot 10^{17}$	0,26	0,83	27,23
587	0,34	0,0510	$1,50 \cdot 10^{17}$	0,25	0,81	28,24
588	0,35	0,0525	$1,55 \cdot 10^{17}$	0,29	0,8	28,71
589	0,36	0,0540	$1,60 \cdot 10^{17}$	0,27	0,79	29,16
590	0,37	0,0555	$1,64 \cdot 10^{17}$	0,27	0,78	29,59
591	0,3759	0,0564	$1,67 \cdot 10^{17}$	0,28	0,77	29,68

Продолжение таблицы 2.1

$\lambda$ , нм	$\Phi$ отн.	$W_\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$R$ , мкмоль·с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup>	$y_\lambda$	$E$ , лк
592	0,39	0,0586	$1,74 \cdot 10^{17}$	0,29	0,76	30,39
593	0,41	0,0616	$1,83 \cdot 10^{17}$	0,31	0,75	31,53
594	0,43	0,0646	$1,93 \cdot 10^{17}$	0,32	0,73	32,19
595	0,45	0,0676	$2,02 \cdot 10^{17}$	0,34	0,73	33,68
596	0,47	0,0706	$2,11 \cdot 10^{17}$	0,35	0,71	34,22
597	0,4965	0,0745	$2,24 \cdot 10^{17}$	0,37	0,7	35,64
598	0,5	0,0751	$2,2 \cdot 10^{17}$	0,37	0,69	35,38
599	0,55	0,0826	$2,48 \cdot 10^{17}$	0,41	0,68	38,35
600	0,6	0,0901	$2,72 \cdot 10^{17}$	0,45	0,66	40,61
601	0,65	0,0976	$2,95 \cdot 10^{17}$	0,49	0,65	43,32
602	0,69	0,1036	$3,13 \cdot 10^{17}$	0,52	0,64	45,28
603	0,7005	0,1052	$3,19 \cdot 10^{17}$	0,53	0,63	45,25
604	0,72	0,1081	$3,28 \cdot 10^{17}$	0,55	0,61	45,04
605	0,76	0,1141	$3,47 \cdot 10^{17}$	0,58	0,6	46,76
606	0,78	0,1171	$3,57 \cdot 10^{17}$	0,59	0,59	47,19
607	0,8	0,1201	$3,6 \cdot 10^{17}$	0,61	0,58	47,58
608	0,81	0,1216	$3,7 \cdot 10^{17}$	0,62	0,56	46,51
609	0,8363	0,1256	$3,84 \cdot 10^{17}$	0,64	0,55	47,17
610	0,84	0,1261	$3,87 \cdot 10^{17}$	0,64	0,54	46,51
611	0,842	0,1264	$3,88 \cdot 10^{17}$	0,64	0,53	45,76
612	0,848	0,1273	$3,92 \cdot 10^{17}$	0,65	0,51	44,35
613	0,85	0,1276	$3,93 \cdot 10^{17}$	0,65	0,51	44,45
614	0,851	0,1278	$3,94 \cdot 10^{17}$	0,66	0,49	42,76
615	0,8523	0,1280	$3,96 \cdot 10^{17}$	0,66	0,48	41,95
616	0,855	0,1284	$3,98 \cdot 10^{17}$	0,66	0,47	41,21
617	0,86	0,1291	$4,01 \cdot 10^{17}$	0,66	0,46	40,57
618	0,862	0,1294	$4,02 \cdot 10^{17}$	0,67	0,45	39,78
619	0,868	0,1303	$4,06 \cdot 10^{17}$	0,67	0,43	38,27
620	0,87	0,1306	$4,07 \cdot 10^{17}$	0,68	0,43	38,36
621	0,872	0,1309	$4,09 \cdot 10^{17}$	0,68	0,41	36,66
622	0,8755	0,1314	$4,11 \cdot 10^{17}$	0,68	0,4	35,91
623	0,88	0,1321	$4,14 \cdot 10^{17}$	0,69	0,39	35,19
624	0,885	0,1329	$4,17 \cdot 10^{17}$	0,69	0,38	34,48
625	0,89	0,1336	$4,20 \cdot 10^{17}$	0,69	0,37	33,77
626	0,895	0,1344	$4,23 \cdot 10^{17}$	0,7	0,36	33,04
627	0,9	0,1351	$4,26 \cdot 10^{17}$	0,71	0,35	32,30
628	0,9072	0,1362	$4,30 \cdot 10^{17}$	0,71	0,34	31,63
629	0,91	0,1366	$4,32 \cdot 10^{17}$	0,72	0,33	30,79
630	0,915	0,1374	$4,35 \cdot 10^{17}$	0,72	0,32	30,02
631	0,92	0,1381	$4,38 \cdot 10^{17}$	0,73	0,31	29,24
632	0,928	0,1393	$4,43 \cdot 10^{17}$	0,74	0,29	27,60
633	0,93	0,1396	$4,44 \cdot 10^{17}$	0,74	0,29	27,66
634	0,9383	0,1409	$4,49 \cdot 10^{17}$	0,75	0,28	26,94
635	0,94	0,1411	$4,51 \cdot 10^{17}$	0,75	0,27	26,02

Продолжение таблицы 2.1

$\lambda$ , нм	$\Phi$ отн.	$W_\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$R$ , мкмоль·с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup>	$y_\lambda$	$E$ , лк
636	0,95	0,1426	$4,56 \cdot 10^{17}$	0,76	0,26	25,33
637	0,96	0,1441	$4,62 \cdot 10^{17}$	0,77	0,25	24,61
638	0,97	0,1456	$4,67 \cdot 10^{17}$	0,78	0,24	23,87
639	0,98	0,1471	$4,73 \cdot 10^{17}$	0,78	0,23	23,11
640	1	0,1501	$4,83 \cdot 10^{17}$	0,8	0,22	22,56
641	0,9	0,1351	$4,36 \cdot 10^{17}$	0,72	0,21	19,38
642	0,7	0,1051	$3,39 \cdot 10^{17}$	0,56	0,2	14,36
643	0,6	0,0901	$2,91 \cdot 10^{17}$	0,48	0,19	11,69
644	0,59	0,0886	$2,87 \cdot 10^{17}$	0,48	0,18	10,89
645	0,58	0,0871	$2,82 \cdot 10^{17}$	0,47	0,18	10,71
646	0,5542	0,0832	$2,70 \cdot 10^{17}$	0,45	0,17	9,66
647	0,5	0,0751	$2,44 \cdot 10^{17}$	0,41	0,16	8,20
648	0,48	0,0721	$2,35 \cdot 10^{17}$	0,39	0,15	7,38
649	0,42	0,0631	$2,06 \cdot 10^{17}$	0,34	0,15	6,46
650	0,38	0,0571	$1,86 \cdot 10^{17}$	0,31	0,14	5,46
651	0,35	0,0525	$1,72 \cdot 10^{17}$	0,29	0,13	4,67
652	0,3159	0,0474	$1,55 \cdot 10^{17}$	0,26	0,13	4,21
653	0,3	0,0450	$1,48 \cdot 10^{17}$	0,25	0,12	3,69
654	0,28	0,0420	$1,38 \cdot 10^{17}$	0,23	0,11	3,16
655	0,26	0,0390	$1,28 \cdot 10^{17}$	0,21	0,11	2,93
656	0,24	0,0360	$1,18 \cdot 10^{17}$	0,19	0,1	2,46
657	0,22	0,0330	$1,09 \cdot 10^{17}$	0,18	0,1	2,26
658	0,217	0,0326	$1,07 \cdot 10^{17}$	0,18	0,09	2,00
659	0,21	0,0315	$1,04 \cdot 10^{17}$	0,17	0,09	1,94
660	0,2	0,0300	$9,97 \cdot 10^{16}$	0,16	0,08	1,64
661	0,19	0,0285	$9,49 \cdot 10^{16}$	0,16	0,08	1,56
662	0,18	0,0270	$9,00 \cdot 10^{16}$	0,15	0,07	1,29
663	0,179	0,0269	$8,96 \cdot 10^{16}$	0,15	0,07	1,28
664	0,1729	0,0260	$8,67 \cdot 10^{16}$	0,14	0,06	1,06
665	0,17	0,0255	$8,54 \cdot 10^{16}$	0,14	0,06	1,05
666	0,165	0,0248	$8,30 \cdot 10^{16}$	0,14	0,06	1,02
667	0,16	0,0240	$8,06 \cdot 10^{16}$	0,13	0,05	0,82
668	0,155	0,0233	$7,82 \cdot 10^{16}$	0,13	0,05	0,79
669	0,152	0,0228	$7,68 \cdot 10^{16}$	0,13	0,05	0,78
670	0,1499	0,0225	$7,59 \cdot 10^{16}$	0,12	0,05	0,77
671	0,145	0,0218	$7,35 \cdot 10^{16}$	0,12	0,04	0,59
672	0,142	0,0213	$7,21 \cdot 10^{16}$	0,12	0,04	0,58
673	0,14	0,0210	$7,12 \cdot 10^{16}$	0,12	0,04	0,57
674	0,139	0,0209	$7,08 \cdot 10^{16}$	0,12	0,04	0,57
675	0,138	0,0207	$7,04 \cdot 10^{16}$	0,12	0,04	0,57
676	0,136	0,0204	$6,9 \cdot 10^{16}$	0,11	0,04	0,56
677	0,1354	0,0203	$6,92 \cdot 10^{16}$	0,11	0,03	0,42
678	0,133	0,0200	$6,81 \cdot 10^{16}$	0,11	0,03	0,41
679	0,131	0,0197	$6,72 \cdot 10^{16}$	0,11	0,03	0,40

$\lambda$ , нм	$\Phi$ отн.	$W_{\lambda}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$R$ , мкмоль·с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup>	$y_{\lambda}$	$E$ , лк
680	0,129	0,0194	$6,62 \cdot 10^{16}$	0,11	0,03	0,40
681	0,128	0,0192	$6,58 \cdot 10^{16}$	0,11	0,03	0,39
682	0,128	0,0192	$6,59 \cdot 10^{16}$	0,11	0,03	0,39
683	0,1278	0,0192	$6,59 \cdot 10^{16}$	0,11	0,03	0,39
684	0,127	0,0191	$6,56 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,26
685	0,1265	0,0190	$6,54 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,26
686	0,126	0,0189	$6,53 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,26
687	0,125	0,0188	$6,49 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,26
688	0,124	0,0186	$6,44 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,25
689	0,1231	0,0185	$6,41 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,25
690	0,1232	0,0185	$6,42 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,25
691	0,1231	0,0185	$6,42 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,25
692	0,1233	0,0185	$6,44 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,25
693	0,1234	0,0185	$6,46 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,25
694	0,1234	0,0185	$6,47 \cdot 10^{16}$	0,11	0,02	0,25
695	0,1235	0,0185	$6,48 \cdot 10^{16}$	0,11	0,01	0,13
696	0,1234	0,0185	$6,49 \cdot 10^{16}$	0,11	0,01	0,13
697	0,1231	0,0185	$6,48 \cdot 10^{16}$	0,11	0,01	0,13
698	0,1232	0,0185	$6,49 \cdot 10^{16}$	0,11	0,01	0,13
699	0,1233	0,0185	$6,51 \cdot 10^{16}$	0,11	0,01	0,13
700	0,1234	0,0185	$6,52 \cdot 10^{16}$	0,11	0,01	0,13
ИТОГО		14,1		68,2		4000

Таким образом, из таблицы 2.1 видно, что для исследуемой фитоустановки, работающей в непрерывном режиме облучения получили: суммарная мощность светового облучения  $W_T = 14,1$  Вт/м<sup>2</sup>; плотность потока фотонов  $R = 68,2$  мкмоль·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>; освещенность  $E = 4000$  лк.

На начальном этапе исследований (этап пролиферации) сравнивались две уже существующие облучательные установки: LED непр. ФОУ (установка, работающая в непрерывном режиме облучения и со спектром облучения, описанным выше) и LED имп0,5 ФОУ (установка, работающая в комбинированном режиме облучения с длительностью импульса в 0,5 секунды и с паузой в 1 секунду с продолжительностью 30 секунд с чередованием с непрерывным облучением в 15 секунд с тем же спектральным составом).

Плотность потока фотонов  $R_0$  за период облучения, состоящий из 5 пятидневок с работой по 16 часов в сутки, составила:



$$R_0 = 25TR, \quad (2.8)$$

где  $T$  – время облучения в сутки, с.

Следовательно:

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

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

Тогда, как доза облучения  $R_{0,5}$  под LED имп0,5 ФОУ согласно рисунку 2.2 за то же время была ниже из-за присутствия пауз между импульсами облучения.

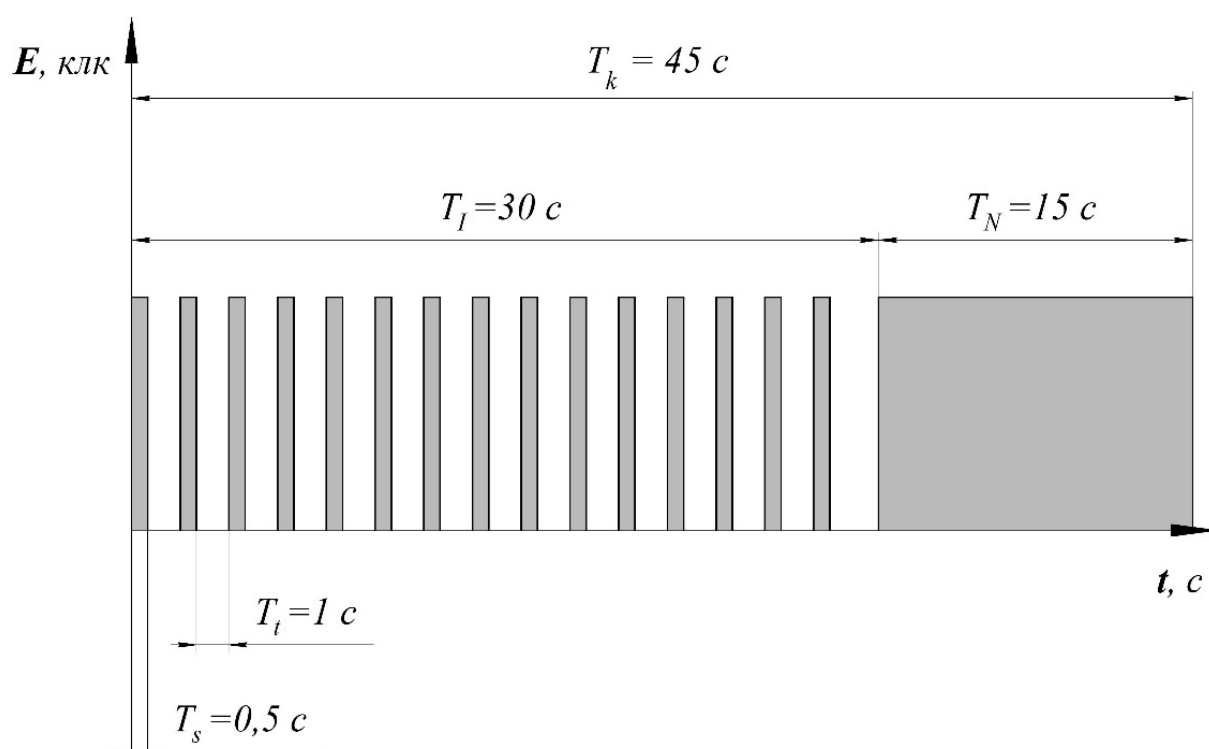


Рисунок 2.2 – Параметры импульсного режима, реализованного LED имп0,5 для облучения меристемной земляники [19]

Временные настройки:

$T_s$  – длительность импульса излучения, 0,5 с;

$T_t$  – длительность темновой паузы, 1,0 с;

$T_l$  – длительность импульсного облучения, 30 с;

$T_N$  – длительность непрерывного облучения, 15 с;

$T_k$  – период комбинированного режима облучения, 45 с.

Анализируя рисунок 2.2 доза облучения  $R_{0,5}$  под LED имп0,5 ФОУ составит:

$$R_{0,5} = 25RT \left( 1 - \frac{T_I T_t}{T_k(T_t + T_s)} \right), \quad (2.9)$$

получаем:

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

при  $\Delta S = 70 \text{ мм}^2$ , чего недостаточно для перевода растения на следующий этап выращивания корней. Тогда средняя плотность потока фотонов  $R'$  под LED имп 0,5 ФОУ составит:

$$R' = \frac{RR_{0,5}}{R_0} = 34,67 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}. \quad (2.10)$$

Следовательно, возникает необходимость изменения временных настроек импульсного режима облучения для выращивания земляники садовой на этапе пролиферации.

Зависимость увеличения площади листа от длительности светового импульса облучательной установки, работающей в комбинированном режиме облучения, может быть описана неоднородным дифференциальным уравнением [4]:

$$\frac{dS}{dt} + kSTR(t) = f(t), \quad (2.11)$$

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

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

Тогда решение уравнения (2.11) имеет вид:

$$S = S^* + S^{**}, \quad (2.12)$$

где  $S^*$  – знакопеременное общее решение однородного уравнения (2.11) при  $k_I = 0$ ;  $S^{**}$  – частное решение уравнения (2.11) при  $k_I = \text{const}$ .

Принимая во внимание выражение (2.9), получим для однородного уравнения:

$$\frac{dS^*}{dT_s} = 25kS^*RT \left( \frac{T_I T_t}{T_k(T_t + T_s)} - 1 \right), \quad (2.13)$$

решим дифференциальное уравнение (2.13) методом разделения переменных, получим:

$$\frac{dS^*}{S^*} = 25kRT \left( \frac{T_I T_t}{T_k(T_t + T_s)} - 1 \right) dT_s, \quad (2.14)$$

интегрируем обе части уравнения:

$$\int \frac{1}{S^*} dS^* = \int 25kRT \left( \frac{T_I T_t}{T_k(T_t + T_s)} - 1 \right) dT_s. \quad (2.15)$$

В правой части уравнения найдем интеграл методом замены переменной:

$$25kRT \int \left( \frac{1}{T_k} \cdot \frac{T_I \cdot T_t}{(T_t - T_s)} - 1 \right) dT_s = 25kRT \left( \int \left( \frac{1}{T_k} \cdot \frac{T_I \cdot T_t}{(T_t - T_s)} \right) d \left( \frac{T_t - T_s}{T_t} \right) \cdot T_t - \int dT_s \right), \quad (2.16)$$

получим после интегрирования решение в общем виде:

$$\ln(S^*) = 25kRT \cdot \left( \frac{T_I \cdot T_t}{T_k} \ln \left( \frac{T_t - T_s}{T_t} \right) - T_s \right) + C. \quad (2.17)$$

Подставим краевые условия  $T_s = T_{0,5}$ ;  $S^* = S_{0,5}$  в выражение (2.17) для нахождения постоянной величины  $C$ . Здесь  $T_{0,5} = 0,5$  с;  $S_{0,5} = 70$  мм<sup>2</sup>.

$$\ln(S_{0,5}) = 25kRT \cdot \left( \frac{T_I \cdot T_t}{T_k} \ln \left( \frac{T_t - T_{0,5}}{T_t} \right) - T_{0,5} \right) + C, \quad (2.18)$$

или

$$\ln(S_{0,5}) = A + C, \quad (2.19)$$

где  $A = 25kRT \cdot \left( \frac{T_I \cdot T_t}{T_k} \ln \left( \frac{T_t - T_{0,5}}{T_t} \right) - T_{0,5} \right) = \text{const}$ , следовательно постоянная  $C$  примет вид:

$$C = \ln(S_{0,5}) - A. \quad (2.20)$$

Подставим  $C$  в уравнение (2.17):

$$\ln(S^*) = -25kRT \cdot \left( \frac{T_I \cdot T_t}{T_k} \ln \left( \frac{T_t - T_s}{T_t} \right) - T_s \right) + \ln(S_{0,5}) - A. \quad (2.21)$$

Искомое решение однородного уравнения зависимости для облучательной установки, работающей в импульсном режиме облучения:

$$S^* = S_{0,5} \cdot e^{-25kRT \cdot \left( \frac{T_I \cdot T_t}{T_k} \ln \left( \frac{T_t - T_s}{T_t} \right) - T_s \right) - 25kRT \cdot \left( \frac{T_I \cdot T_t}{T_k} \ln \left( \frac{T_t - T_{0,5}}{T_t} \right) - T_{0,5} \right)}. \quad (2.22)$$

Здесь знак « $\rightarrow$ » в правой части выражения указывает на отсутствие светового потока в темновой фазе (диссипация энергии в растениях).

Из уравнения (2.21) определим коэффициент  $k$  при  $T_s = 16$  ч и  $S = 86$  мм<sup>2</sup>.

Получим:  $k = 36,4 \cdot 10^{-9}$  мкмоль $\cdot$ с<sup>-1</sup> $\cdot$ м<sup>-2</sup>.

Запишем однородное уравнение (2.22) в числовом виде, получим:

$$S^* = 70 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-3,57 \cdot (-0,67 \ln(1+T_s) - T_s - 0,23)}, \quad (2.23)$$

Тогда полное решение искомого уравнения:

$$S = K_1 - 70 \cdot 10^{-6} \cdot e^{3,57 \cdot (-0,67 \ln(1-T_s) - T_s - 0,23)}, \quad (2.24)$$

где  $K_1$  – эмпирическая постоянная процесса облучения растений, определяемая численно из краевых условий при импульсном режиме облучения, т.е. при  $T_s = 16$  ч,  $S = 86$  мм<sup>2</sup> из (2.24),  $K_1 = 86 \cdot 10^{-6}$ .

Для поиска наиболее эффективного режима импульсного режима облучения для выращивания земляники садовой на этапе пролиферации исследуем функцию (2.24) на экстремумы. Критерием оптимизации является величина  $S$ , условием оптимизации является стремление величины  $S$  к максимальному значению ( $S \rightarrow \max$ ).

Для исследования функции на экстремум найдем производную:

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

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

Из математической модели видно, что необходимо изменить параметры облучательной установки, работающей в импульсном режиме облучения, применительно к длительности импульса света равное в 1 секунду.

## **2.2 Методика определения площади листьев меристемной земляники садовой**

Исследование над меристемными растениями земляники садовой сортов «Корона» и «Брайтон» было сделано в лаборатории Удмуртского научно-исследовательского аграрного института Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук с 2016 по 2022 гг [6]. Эксперимент был произведен под тремя различными фитооблучательными установками:

1. Светодиодная фитооблучательная установка, работающая в импульсном режиме облучения со смешанным спектром облучения мощностью 30 Вт (LED имп ФОУ).
2. Светодиодная фитооблучательная установка, работающая в непрерывном режиме облучения с холодно-белым спектром освещения мощностью 30 Вт (LED непр ФОУ).
3. Люминесцентная фитооблучательная установка, работающая в непрерывном режиме облучения с белым спектром освещения мощностью одной лампы 40 Вт (ЛФОУ).

На этапах пролиферации и укоренения замерялась площадь поверхности зеленой массы при помощи светопроектора с интервалом в 5 суток. Средняя арифметическая сумма замеров площади двух взаимно перпендикулярных проекций одного меристемного растения являлась показателем роста (рисунок 2.3, 2.4).

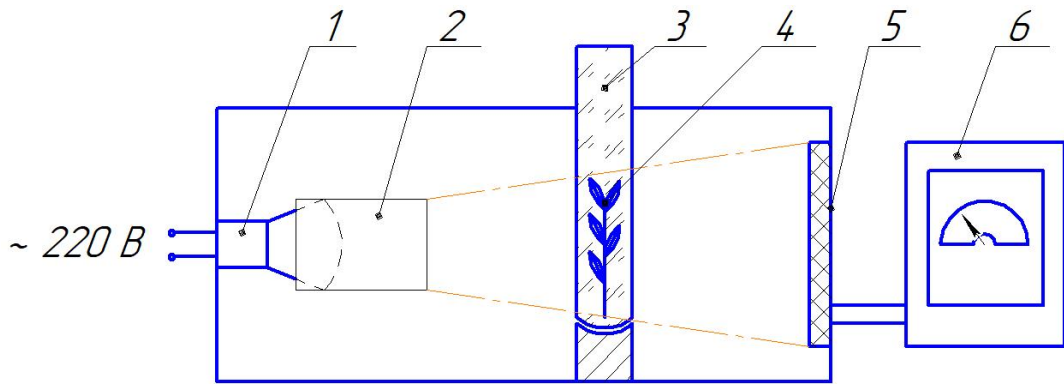
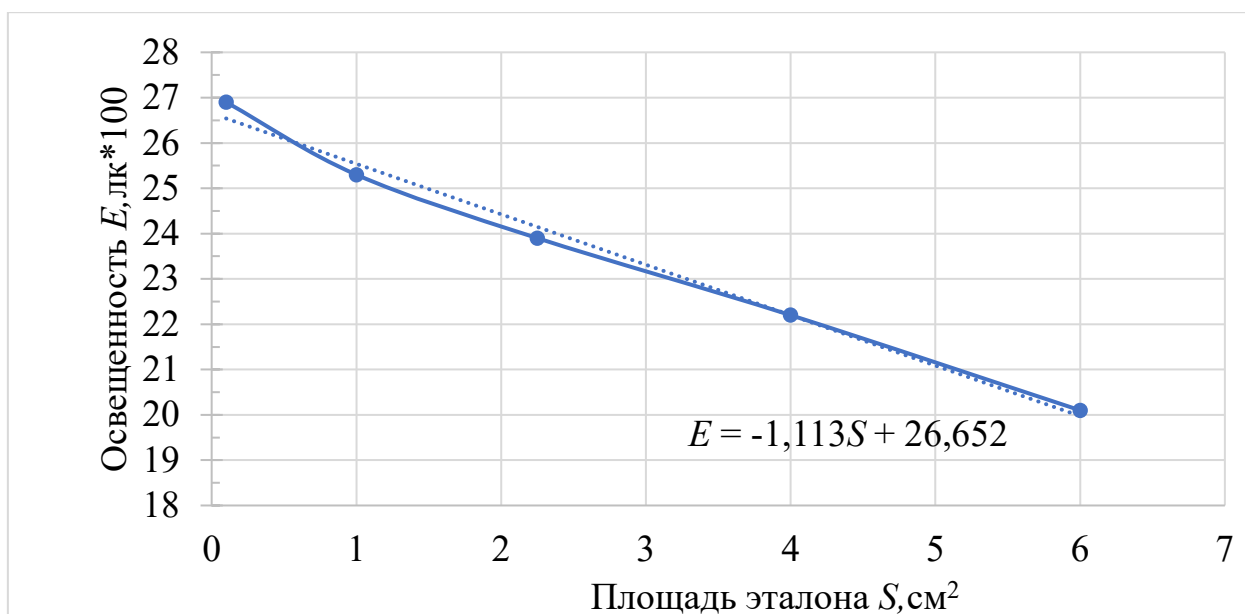


Рисунок 2.3 – Схема светопроектора для определения площади листовой поверхности меристемных растений  
 1 – источник излучения; 2 – отражатель; 3 – пробирка; 4 – растение;  
 5 – селеновый фотоэлемент; 6 – люксметр



Рисунок 2.4 – Светопроектор для определения листовой поверхности меристемных растений

Для определения площади листьев, была снята тарировочная кривая (рисунок 2.5). Общая площадь ассимиляционной поверхности листьев определялась как средняя геометрическая от суммы двух взаимно перпендикулярных проекций растений.



**Рисунок 2.5 – Тарировочная кривая для определения площади листьев меристемных растений земляники**

Так, при эталоне в  $1 \text{ см}^2$  облученность составила 2,55 клк, а при эталоне в  $4 \text{ см}^2$  – 2,22 клк. Было задействовано 5 эталонных замеров и, затем построена тарировочная кривая, позволяющая определять площадь растения в пробирке. Под каждой установкой находилось 3 лотка с 33 пробирками в каждой. Все пробирки подвергались замерам поочередно и в день измерений производилось определение среднего значения площади листа под определенной фитоустановкой.

## **ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ**

1. Плотность потока фотонов под LED непр ФОУ составила  $R = 68,2 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ , а под LED имп 0,5 ФОУ –  $R' = 34,67 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ . Следовательно, возникает необходимость изменения временных настроек импульсного режима облучения для выращивания земляники садовой на этапе пролиферации.

2. Разработана математическая модель, позволяющая обосновать наиболее эффективные параметры импульсного режима облучения при

выращивании меристемной земляники садовой. Длительность импульса света необходимо увеличить до 1 секунды.

3. Методика определения площади листьев состояла из нескольких этапов: была снята тарировочная кривая, общая площадь ассимиляционной поверхности листьев определялась как средняя геометрическая от суммы двух взаимно перпендикулярных проекций растений.



### **3 ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ**

#### **3.1 Описание экспериментальной установки**

Важную роль при выращивании микрочеренков играет режим облучения, позволяющий получить наиболее эффективный рост растений, поэтому разработка новых методов облучения, не только эффективно влияющих на рост и развитие растений, но и позволяющих значительно сохранить расходы электроэнергии, является актуальной задачей.

Клональное микроразмножение земляники осуществлялось в световой комнате лаборатории Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства структурного подразделения федерального государственного бюджетного учреждения науки удмуртского федерального исследовательского центра уральского отделения российской академии наук (УдмНИИ СХ структурное подразделение ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН) (рисунок 3.1). Освещенность составляла 4,2-4,7 клк, температура – 22-25 °С, относительная влажность воздуха изменялась от 70 до 75 %, фотопериод составлял 16 часов (с 6 час. утра до 22 час. вечера).



**Рисунок 3.1 – Общий вид световой комнаты лаборатории УдмНИИ  
СХ структурного подразделения ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН**

Объектами исследований являлись меристемные растения земляники садовой сорта «Корона» и земляники ремонтантной сорта «Брайтон» [7].

Влияние импульсного режима облучения на рост меристемных растений земляники исследовалось на всех трех этапах роста растений:

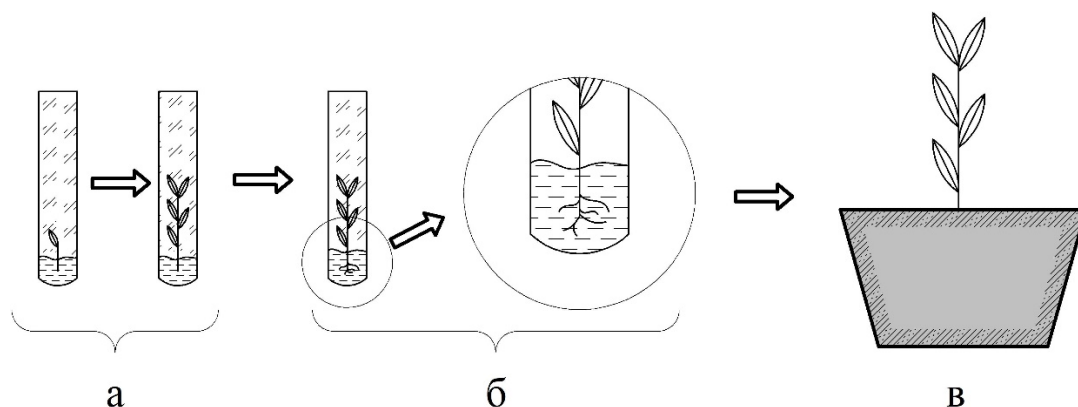


Рисунок 3.2 – Этапы роста растений

**а – этап наращивания зеленой массы растения (пролиферация), 30 дней**

**б – этап отращивания корней (укоренение), 30 дней**

**в – этап адаптации в открытом грунте, 30 дней**

На первом этапе пролиферации вводили в культуру ткани апексы (верхушечная часть стебля или корня) на питательной среде Мурасиге-Скуга с половинной дозой макро- и микросолей (рисунок 3.2 а). На этапе укоренения добавляли в питательную среду индуктор ризогенеза (процесс развития корней) идолил-3-масляную кислоту (ИМК) (рисунок 3.2 б). На этапе адаптации растение высаживается в открытый грунт в горшочках, так же под облучательную установку лаборатории (рисунок 3.2 в).

Мы сравнивали четыре режима облучения растений. Во всех режимах фотопериод составлял 16 часов, то есть установки работали с 6 часов утра до 22 часов ночи [8].

Первый режим – контрольный. Источником излучения были светильники с разрядными лампами низкого давления марки Osram L 10W/640 Philips TL-D 18W/33-640 мощностью 10 Вт каждая, которые используются в лаборатории УдмНИИ СХ структурного подразделения ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН при выращивании меристемных растений земляники садовой (рисунок 3.3 а).

Второй режим – импульсный. На рисунке 3.3 б показано фото экспериментального LED фитооблучателя, работающего в импульсном режиме.

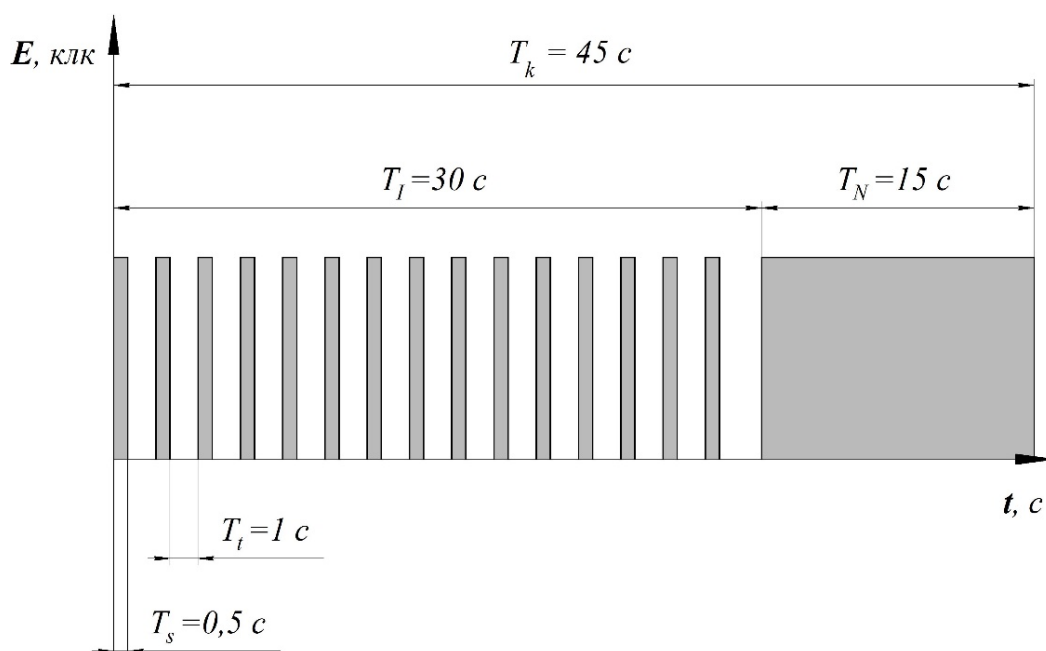


а

б

**Рисунок 3.3 – Сравнимые фитооблучатели**  
**а – разрядный с лампой Osram L 10W/640 (контроль);**  
**б – LED фитооблучатель, работающий в непрерывном и импульсном режиме**

Импульсный режим сочетал в себе короткие импульсы и один длинный (рисунок 3.4.).



**Рисунок 3.4 – Параметры импульсного режима, реализованного LED-фитоустановками для облучения микрочеренков земляники**

Временные настройки:

$T_s$  – длительность импульса излучения, 0,5 с;

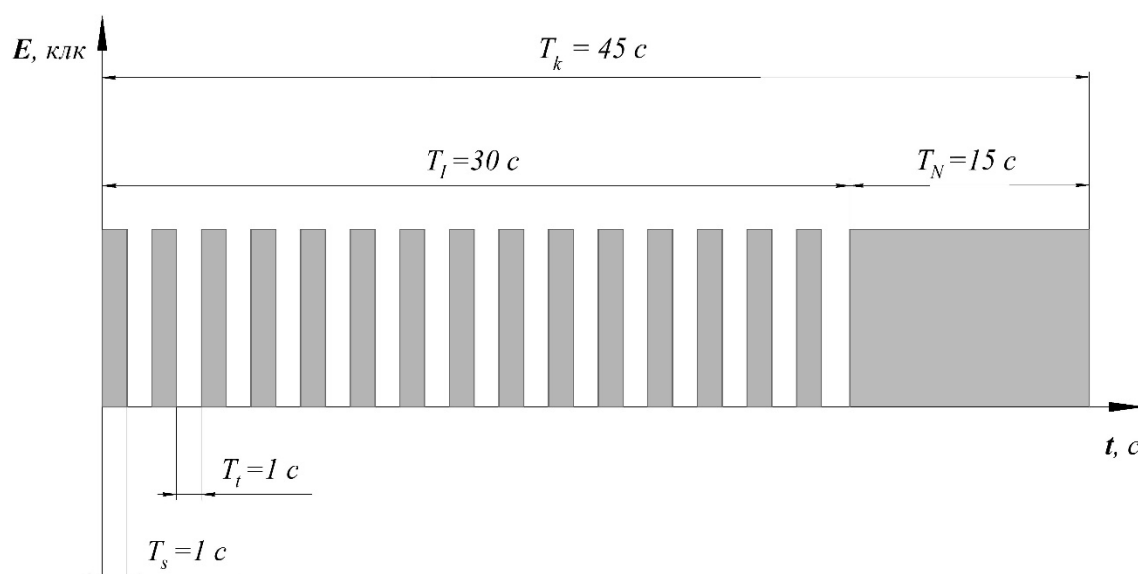
$T_t$  – длительность темновой паузы, 1,0 с;

$T_I$  – длительность импульсного облучения, 30 с;

$T_N$  – длительность непрерывного облучения, 15 с;

$T_k$  – период комбинированного режима облучения, 45 с.

Третий режим – LED фитооблучатель, также импульсный. Но с учетом математической модели в данной установке увеличена  $T_s$  – длительность импульса излучения до 1 с (рисунок 3.5), что позволит в момент световой стадии фотосинтеза впитать большее количества энергии света хлорофиллом и, соответственно, в темновой стадии будет преобразовываться большее количество энергии, необходимой для роста и развития растения.



**Рисунок 3.5 – Параметры импульсного режима, реализованного LED-фитоустановками для облучения микрочеренков земляники с увеличенной длительностью импульса до 1 секунды**

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

### 3.2 Измерение спектра излучения и разработка блок схемы работы LED фитоустановки в импульсном режиме для облучения микрочеренков земляники

LED фитооблучатель состоял из 32 светодиодов мощностью по 1 Вт каждый. Опираясь на труды А.Ф. Клешнина [45], Н.Н. Протасовой [86], В.В. Малышева [72] мы создали LED фитооблучатель с соотношением синего излучения к белому и красному как 25%, 25% и 50%. На рисунке 3.6, 3.7 показаны спектры излучения светодиодов, измеренные спектрометром марки «ТКА-ВД», а на рисунке 3.8 показан спектр самого LED фитооблучателя [9].

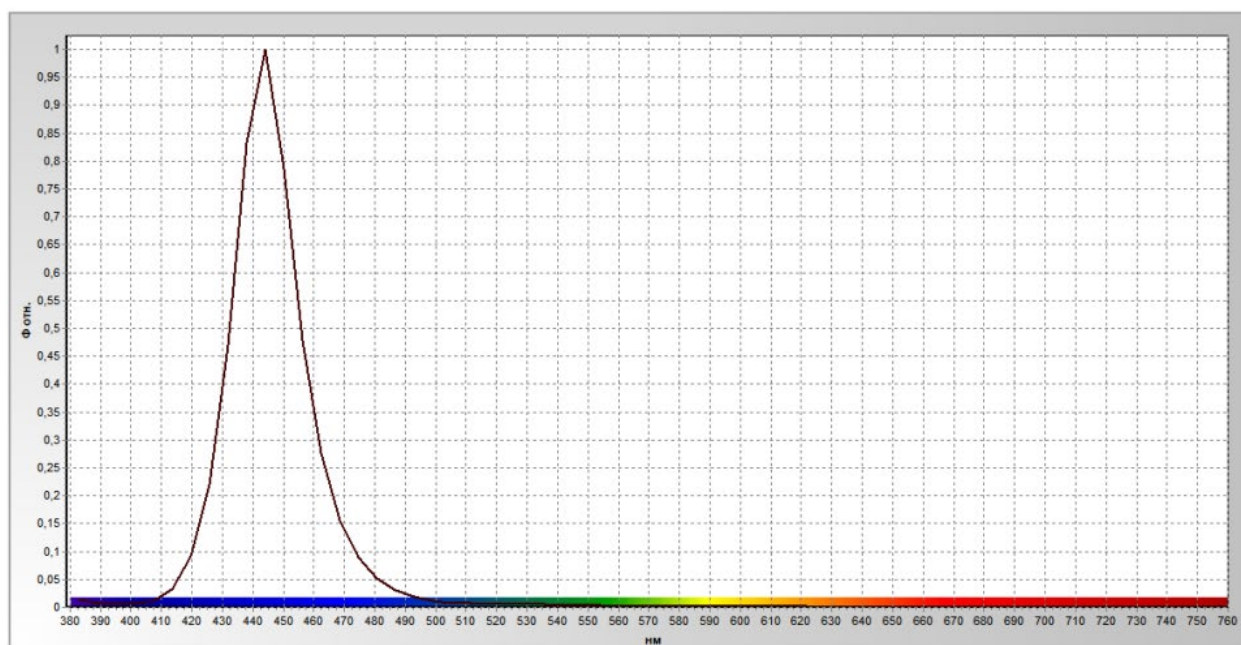


Рисунок 3.6 – Скриншот программного обеспечения «ТКА-ВД». Спектр излучения синего светодиода

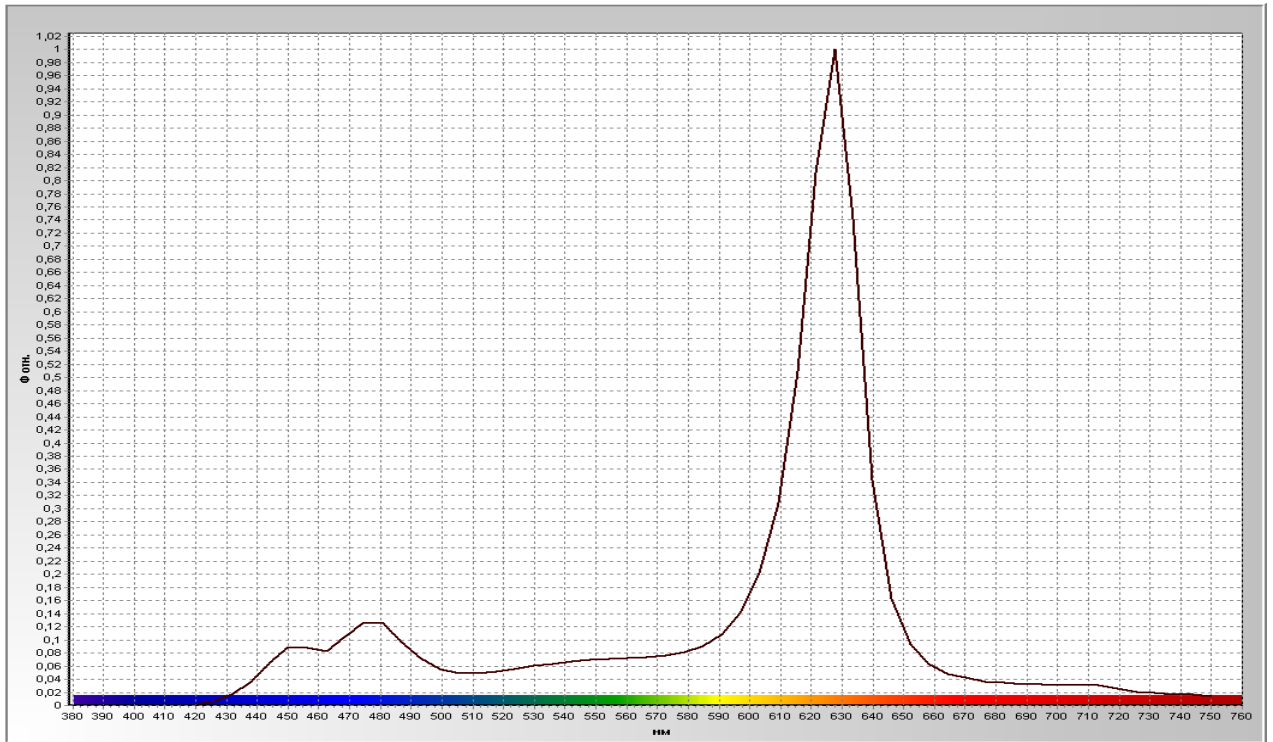
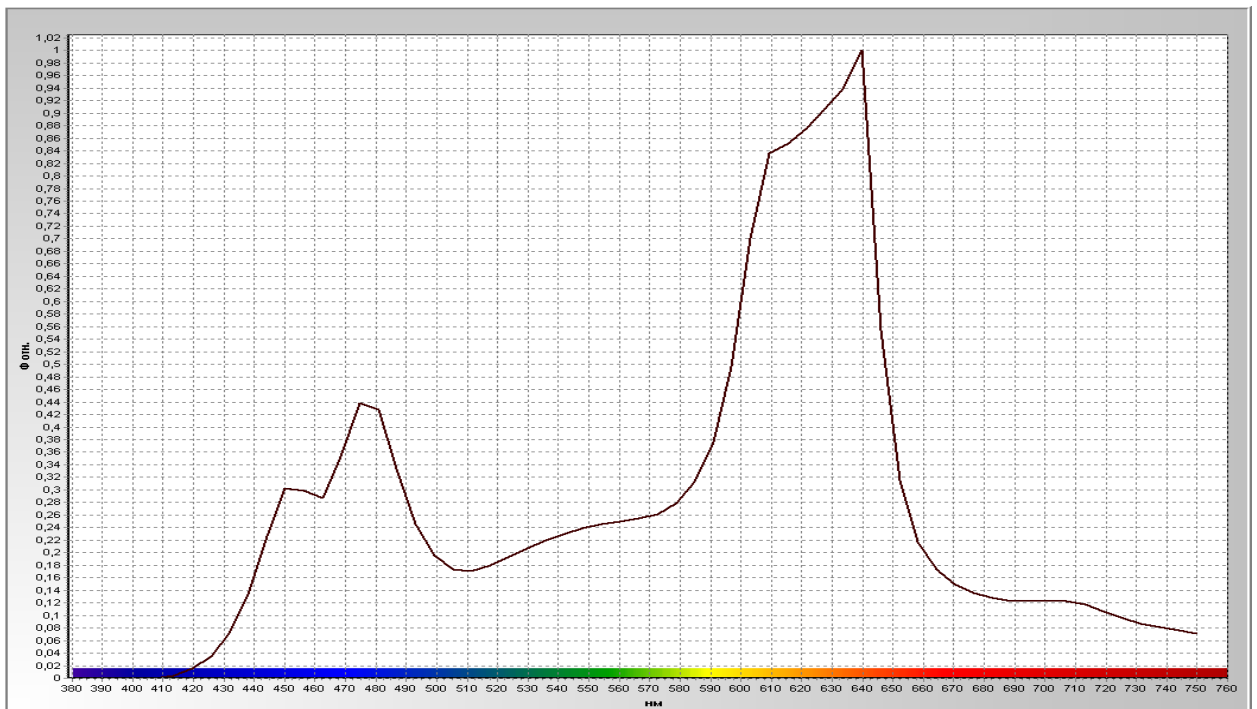


Рисунок 3.7 – Скриншот программного обеспечения «ТКА-ВД». Спектр излучения красного светодиода



В

Рисунок 3.8 – Скриншот программного обеспечения «ТКА-ВД». Спектр излучения экспериментальной фитоустановки

Технические характеристики спектрометра «ТКА-ВД» взяты из источника [127] и приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики спектрометра ТКА-ВД [127]

Наименование характеристики	Значение характеристики
Тип	Прямой метод измерения
Приёмник	Полихроматор, 128-пиксельная линейка кремниевых фотоэлементов
Оптический диапазон	390÷760 нм
Диапазоны показаний <b>коррелированной цветовой температуры</b>	1600 ÷ 16 000 К
Пределы рабочей освещённости (тепловых ИС)	10 ÷ 20 000 лк
Пределы рабочей яркости (тепловых ИС)	10 ÷ 20 000 кд/м <sup>2</sup>

Для реализации работы LED фитоустановки в импульсном режиме была разработана блок-схема (рисунок 3.9).

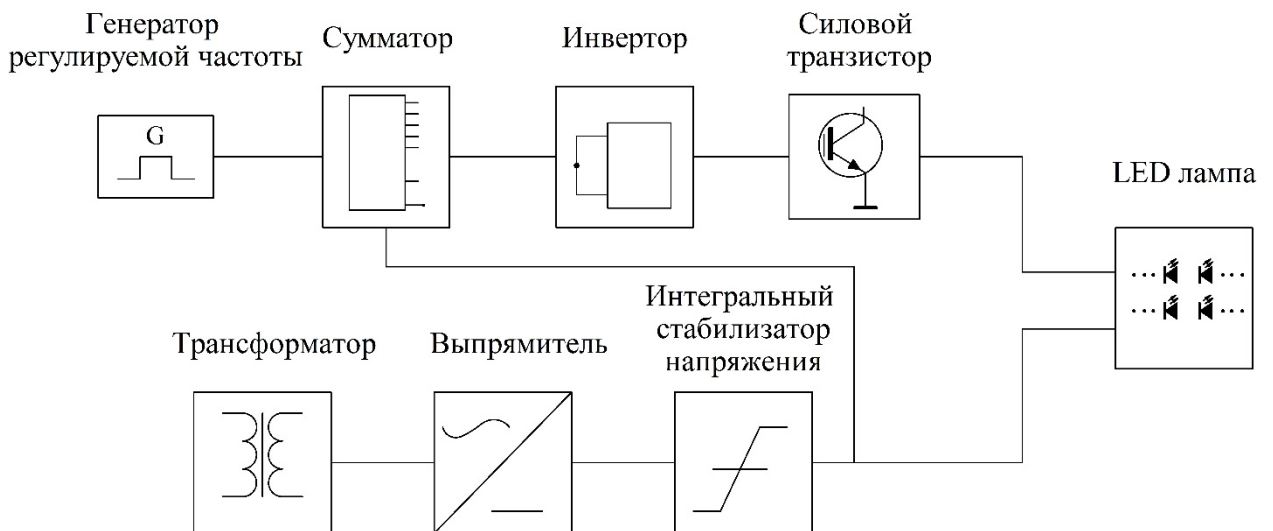


Рисунок 3.9 – Блок схема работы импульсной LED фитоустановки

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

### 3.3 Разработка системы управления работой LED фитоустановки в импульсном режиме для облучения микрочеренков земляники

Основным элементом системы управления работой LED фитоустановок в импульсном режиме являются микросхемы марки K561.

В частотоподающем узле схемы используются компоненты:

– цифровой инвертор на микросхеме K561ЛН2, состоящий из шести логических элементов НЕ. С помощью элементов D1.1, D1.2, D1.3, D1.4 осуществлен генератор регулируемой частоты, позволяющая изменять скважность и частоту световых импульсов. Скважность импульсов облучательной установки менялась на основании положительных опытов, проведенных кандидатом биологических Наук Б.В. Коржом в институте растениеводства [64];

– четырнадцатиразрядный счетчик сигналов на микросхеме K561ИЕ16 (D2), который служит делителем входных импульсов;

– четыре логических элемента 2И-НЕ на микросхеме K156ЛА7. Элементы D3.1, D3.3, D3.4, а также при помощи D1.5, D1.6 реализован непосредственно алгоритм работы установки;

– понижающий трансформатор на 28 В марки ОСМ 1-0.063, служит для преобразования сетевого напряжения;

– диодный мост VDS1;

– интегральный стабилизатор напряжения KP142ЕН8Б (D4), выдает 12 В и питает частотоподающую цепь.

Освещение растений производилось светодиодами VD1-VD32 с номинальным током потребления 350 миллиампер и номинальным падением напряжения 3 Вольта. Светодиод VD0 является индикаторным для контроля работы установки, в том числе и с отсутствием основного светильника [12]. Так же в схеме использованы конденсаторы керамические и электролитические различной емкости, предохранители, силовой транзистор, резисторы постоянные и переменные.



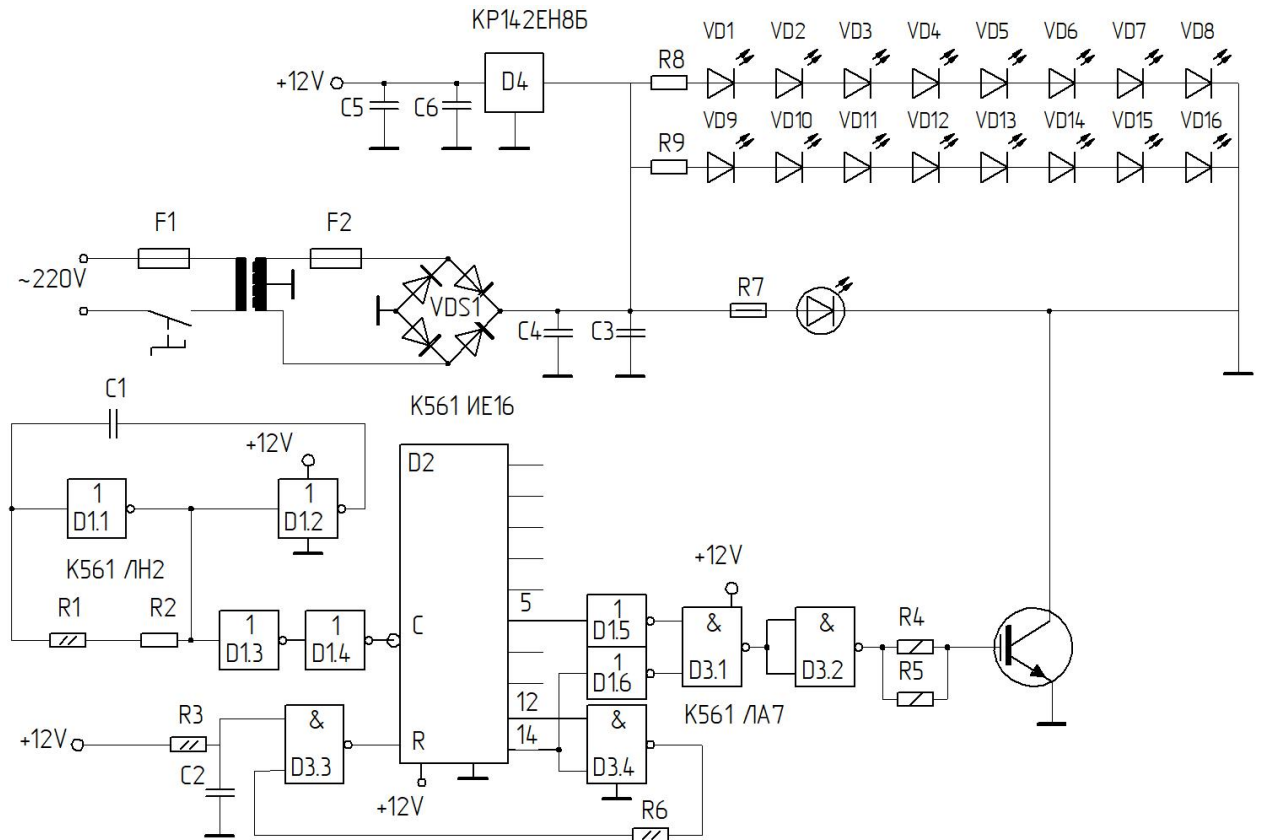


Рисунок 3.10 – Схема работы LED фитоустановки в импульсном режиме

Для сборки схемы использовалось макетная плата, размещенной в пластиковом корпусе (рисунок 3.11).

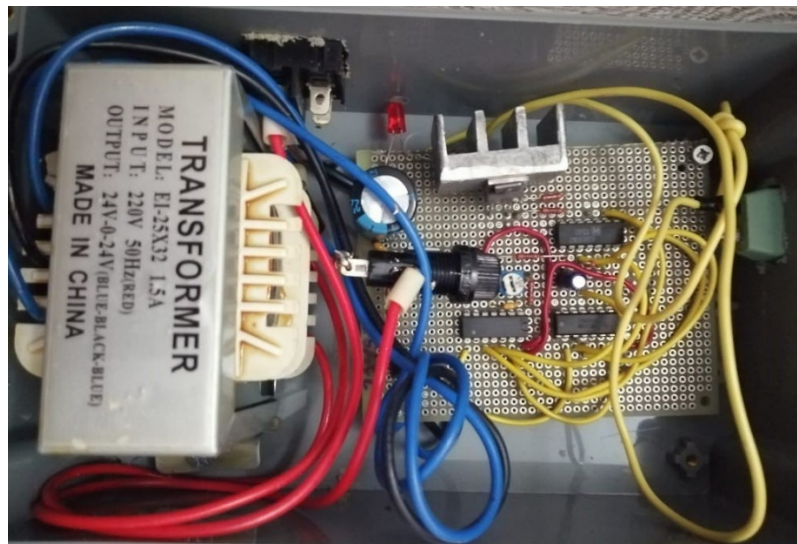


Рисунок 3.11 – Фото собранной схемы управления LED фитоустановкой

Помимо светотехнического оборудования в экспериментах использовалось также:

– Устройство для очистки и стерилизации воздуха УОС-99-01 «Сампо», модель ВЛ-12. Ламинарный бокс с вертикальным потоком и избыточным давлением воздуха в рабочей зоне настольного исполнения предназначен для работы с чистыми препаратами и бактериальными культурами группы риска 1 и 2, а также для проведения технологических процессов в очищенной от пыли и микробных аэрозолей атмосфере. Это устройство защищает продукт, помещенный в рабочую зону, так как поддерживает класс чистоты воздуха PS (100). Рабочая поверхность стола выполнена из нержавеющей стали с антибликовой обработкой. Корпус стальной с антикоррозийным покрытием. Производитель – ЗАО «Сампо», г. Санкт-Петербург, Россия.

– Стерилизатор паровой ВК-75-01 (автоклав) предназначен для стерилизации паром под давлением в нашем случае агаризованных питательных сред, лабораторной посуды и инструментария, не портящихся при воздействии пара. Производитель – ОАО «Тюменский завод медицинского оборудования и инструментов», г. Тюмень, Россия;

– Аквадистиллятор электрический аптечный ДЭ-4-02-«ЭМО» предназначен для производства дистиллированной воды путем тепловой перегонки. Дистиллированная вода используется в нашем случае для приготовления питательных сред и мытья лабораторной посуды (пробирки, колбы и др.). Производитель – ЗАО «Электромедоборудование», г. Санкт-Петербург, Россия.

Каждый вариант насчитывал 33 экспланта, повторность эксперимента четырехкратная, культуральным сосудом являлись пробирки биологические П2-21-200. Ростовые параметры микрорастений растений определяли путем измерения линейкой согласно нормативным документам. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа по методике Доспехова Б.А. [10].

Для измерения облученности использовался люксметр «ТКА-ПКМ» (рисунок 3.12).



**Рисунок 3.12 – Общий вид прибора «ТКА-ПКМ» для измерения облученности**

В таблице 3.2 приведены технические данные прибора «ТКА-ПКМ».

**Таблица 3.2 – Технические данные прибора «ТКА-ПКМ» [127]**

Наименование характеристики	Значения характеристики
Диапазон измерений освещённости	10 ÷ 200 000 лк
Основная относительная погрешность измерений освещённости (не более)	± 8,0 %
Жидкокристаллический дисплей	3½ разряда

Фитооблучательные установки разрабатываются на кафедре автоматизированного электропривода для микроклональных растений с 2009 г. [57]. С помощью разработанной схемы управления LED фитоустановкой удастся добиться максимального энергосбережения (Приложение Б), при этом качество роста растений на различных стадиях развития не уступает контролю [10, 11, 13].

Нами была решена задача разработки эффективной LED установки для облучения меристемных растений. Эффективность разработанной установки заключается в экономии электроэнергии за счет схемы, обеспечивающей реализацию импульсного облучения, долговечность которой заключается в использовании светодиодного источника света.

## ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

1. Разработан LED фитоустановка с соотношением синего излучения к белому и красному как 25%, 25% и 50%, с подтверждением спектров излучения светодиодов, измеренных спектрометром марки «ТКА-ВД».
2. Разработана блок-схема импульсная LED фитоустановки, состоящая из: генератора сигналов с возможностью регулировки частоты, счетчика, инвертора, силового ключа, линейного источника питания, а также самих LED ламп.
3. Разработана импульсная LED фитоустановка с системой управления работой в импульсном режиме с использованием микросхемы низкой интеграции серии K561ЛН2, позволяющая изменять скважность и частоту световых импульсов.

## 4 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА РОСТ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

### 4.1 Результаты экспериментов с разработанной облучательной установки

LED импульсный фитооблучатель (LED имп.1 ФОУ) оказал положительное влияние на биометрические показатели микрочеренков земляники на этапе укоренения (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Биометрические показатели микрорастений земляники садовой в зависимости от фитооблучателя

Сорт земляники	Фитооблучатель					
	ЛФОУ (контроль)			LED имп.1 ФОУ		
	высота розеток, мм	число нормально развитых листьев, шт	длина корней, мм	высота розеток, мм	число нормально развитых листьев, шт	длина корней, мм
«Корона»	25±1,2	6,0	17±0,8	20±1	7,2	20±1
«Брайтон»	26±1,3	5,6	15±0,7	21±1	4,5	21±1

Из таблицы 4.1 видно, что у сорта «Брайтон» под светодиодным импульсным фитооблучателем не произошло вытягивание розеток, и высота розеток составила 21 мм под импульсным и 26 мм под люминесцентным фитооблучателем. Кроме этого, использование LED имп.1 ФОУ привело к увеличению числа нормально развитых листьев 5,6 шт (4,5 шт в контроле), а также обеспечило увеличение длины корней до 21 мм. (в контроле 15 мм).

Аналогичная динамика выявлена у сорта «Корона».

По сравнению с ЛФОУ облучение LED имп.1 ФОУ немного снизило высоту розеток с 25 мм до 20 мм, но при этом увеличилось число нормально развитых листьев с 6,0 шт до 7,2 шт и возросла длина корней с 17 мм до 20 мм.

Динамика роста листовой поверхности укореняемых микрочеренков земляники находилась в течение пассажа в прямой зависимости от количества нормально развитых листьев [12].

Так, облучение микрорастений сорта Корона под LED имп ФОУ по сравнению с ЛФОУ (контроль) в динамике способствовало как увеличению числа нормально развитых листьев (с 6,0 шт до 7,2 шт), так и более интенсивному увеличению площади листовой поверхности с 262,2 мм<sup>2</sup> до 348,0 мм<sup>2</sup> (рисунок 4.1).

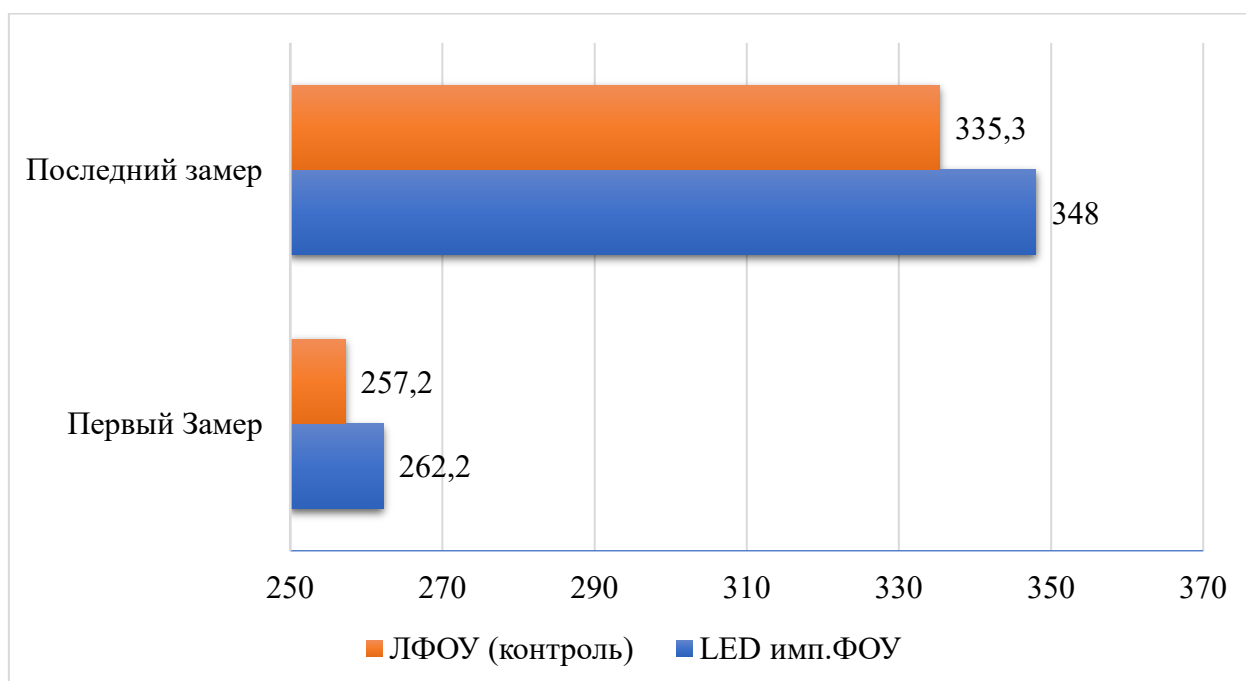


Рисунок 4.1 – Динамика роста листовой поверхности у микрочеренков земляники сорта «Корона» в зависимости от режима облучения, мм<sup>2</sup>

Импульсное облучение микрорастений садовой земляники сорта «Брайтон» LED имп.1 ФОУ по сравнению с ЛФОУ (контроль) в динамике способствовало как уменьшению числа нормально развитых листьев (с 5,6 шт до 4,5 шт), так и менее интенсивному увеличению площади листовой поверхности с 249,7 мм<sup>2</sup> до 302,1 мм<sup>2</sup> (рисунок 4.2).

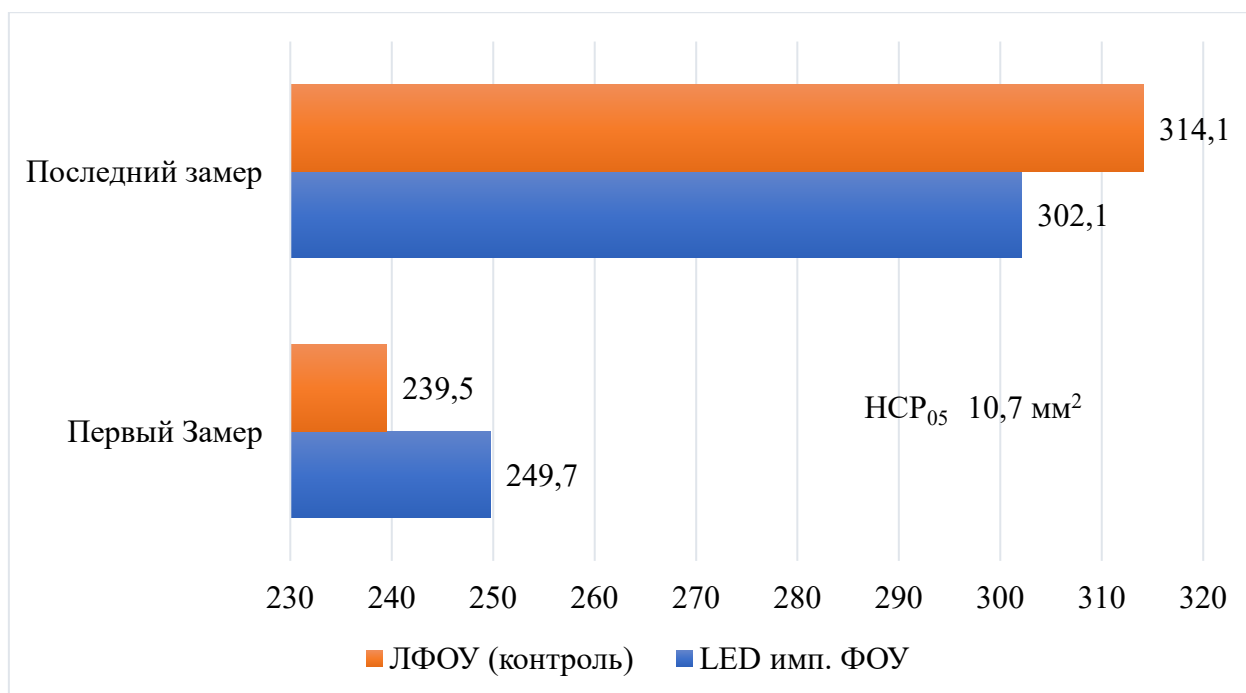


Рисунок 4.2 – Динамика роста листовой поверхности микрочеренков земляники сорта Брайтон в зависимости от режима облучения, мм<sup>2</sup>

Экспериментальная LED имп.1 ФОУ оказала существенное положительное влияние на укореняемость микрочеренков земляники (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Укореняемость микрочеренков земляники в зависимости от режима облучения, %

Фитооблучатель	Сорт	
	Садовая «Корона»	Ремонтантная «Брайтон»
ЛФОУ (контроль)	90,0	80,0
LED имп.1 ФОУ	95,0	90,0
HCP <sub>05</sub>	3,6	8,2

Из таблицы 4.2 видно, что при укоренении сорта «Корона» под люминесцентным фитооблучателем (контроль) укореняемость микрочеренков земляники была ниже, чем у экспериментального, то есть 90,0 % и 95,0 %. При укоренении сорта «Брайтон» и 80,0 % под ЛФОУ (контроль) и 90,0 % под LED имп.1 ФОУ.

Результаты экспериментов показаны в таблицах 4.3-4.8 и удельные затраты электроэнергии показаны на рисунках 4.3 и 4.4.

Таблица 4.3 – Сравнение режимов облучения микрочеренков земляники садовой сорта «Корона»

Параметры		Облучательные фитоустановки		
		LED имп.1 ФОУ	LED непр.ФОУ	ЛФОУ (контроль)
Время работы облучательной установки, ч		234,72	480	480
Мощность облучательной установки	кВт	0,03	0,03	0,042
	%	71,43	71,43	100
Расход электроэнергии	кВт·ч	7,04	14,4	20,16
	%	34,92	71,4	100
Изменение площади листьев	мм <sup>2</sup>	86±4,3	70±3,5	78±3,9
	%	110,26	89,74	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт·ч/мм <sup>2</sup>	0,08	0,21	0,26
	%	31,67	79,59	100

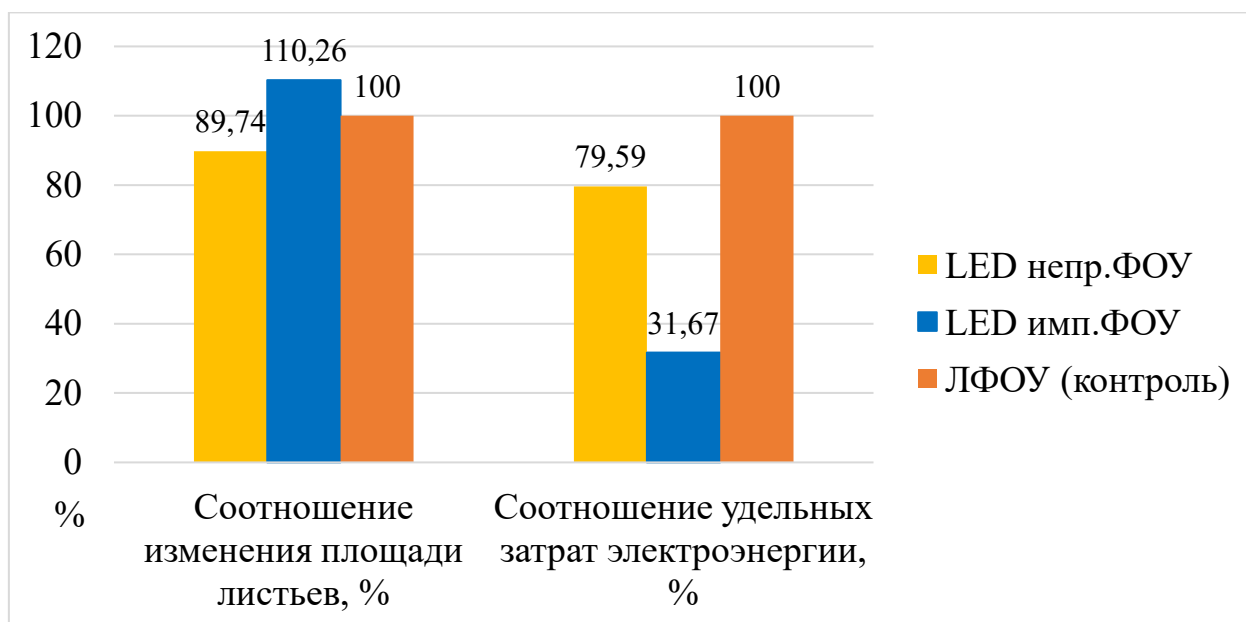


Рисунок 4.3 – Удельные затраты электроэнергии и прирост листовой поверхности и растений земляники садовой сорта «Корона»



Таблица 4.4 – Сравнение режимов облучения меристемных растений земляники садовой сорта «Брайтон» на этапе пролиферации (наращивания площади листьев)

Параметры		Облучательные фитоустановки		
		LED имп.1 ФОУ	LED непр.ФОУ	ЛФОУ (контроль)
Время работы облучательной установки, ч		234,72	480	480
Мощность облучательной установки	кВт	0,03	0,03	0,042
	%	71,43	71,43	100
Расход электроэнергии	кВт·ч	7,04	14,4	20,16
	%	34,92	71,4	100
Изменение площади листьев	мм <sup>2</sup>	53±2,6	60±2,9	75±3,7
	%	70,67	80,00	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт·ч/мм <sup>2</sup>	0,13	0,24	0,27
	%	49,42	89,29	100

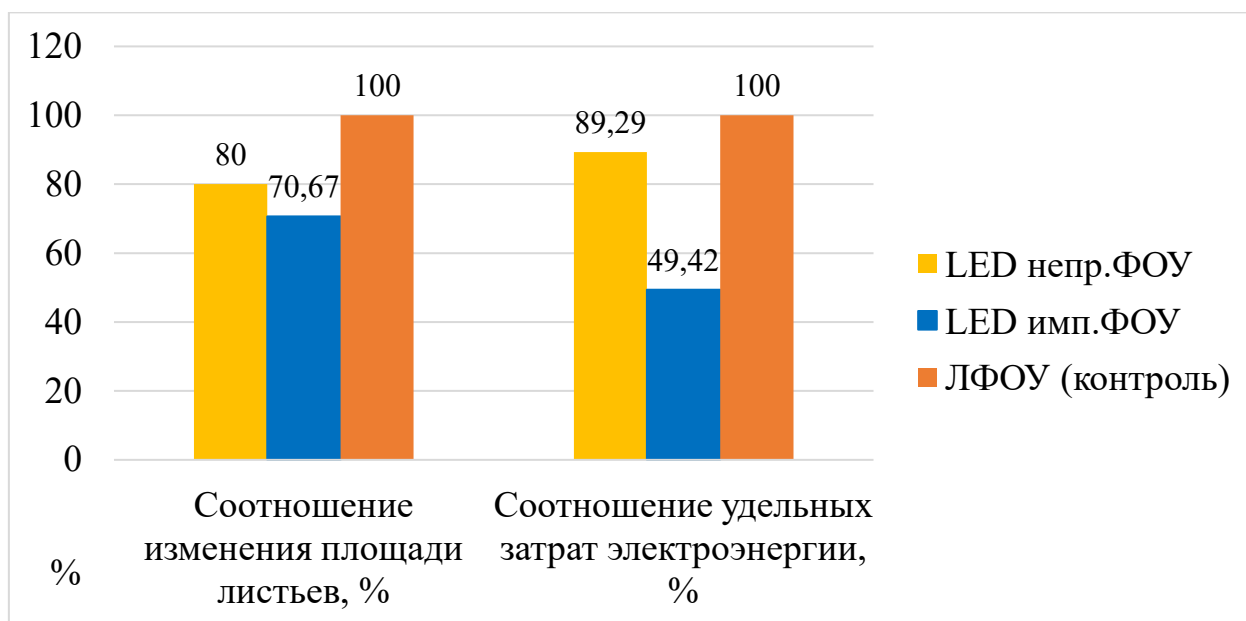


Рисунок 4.4 – Удельные затраты электроэнергии и прирост листовой поверхности и растений земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации

**Таблица 4.5 – Сравнение режимов облучения меристемных растений земляники садовой сорта «Корона» на этапе укоренения**

Параметры		Облучательные фитоустановки		
		LED имп.1 ФОУ	LED непр.ФОУ	ЛФОУ (контроль)
Время работы облучательной установки, ч		234,72	480	480
Мощность облучательной установки	кВт	0,03	0,03	0,042
	%	71,43	71,43	100
Расход электроэнергии	кВт·ч	7,04	14,4	20,16
	%	34,92	71,4	100
Изменение площади листьев	мм <sup>2</sup>	77±3,8	73±3,6	76±3,8
	%	101,32	96,05	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт·ч/мм <sup>2</sup>	0,09	0,20	0,27
	%	34,47	74,36	100

**Таблица 4.6 – Сравнение режимов облучения меристемных растений земляники садовой сорта «Брайтон» на этапе укоренения**

Параметры		Облучательные фитоустановки		
		LED имп.1 ФОУ	LED непр.ФОУ	ЛФОУ (контроль)
Время работы облучательной установки, ч		234,72	480	480
Мощность облучательной установки	кВт	0,03	0,03	0,042
	%	71,43	71,43	100
Расход электроэнергии	кВт·ч	7,04	14,4	20,16
	%	34,92	71,4	100
Изменение площади листьев	мм <sup>2</sup>	75±3,7	87±4,3	88±4,4
	%	85,23	98,86	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт·ч/мм <sup>2</sup>	0,09	0,17	0,23
	%	40,97	72,25	100

**Таблица 4.7 – Сравнение режимов облучения меристемных растений земляники садовой сорта «Корона» на этапе адаптации**

Параметры		Облучательные фитоустановки		
		LED имп.1 ФОУ	LED непр.ФОУ	ЛФОУ (контроль)
Время работы облучательной установки, ч		234,72	480	480
Мощность облучательной установки	кВт	0,03	0,03	0,042
	%	71,43	71,43	100
Расход электроэнергии	кВт·ч	7,04	14,4	20,16
	%	34,92	71,4	100
Изменение площади листьев	мм <sup>2</sup>	80±3,9	92±4,6	96±4,8
	%	83,33	95,83	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт·ч/мм <sup>2</sup>	0,09	0,16	0,21
	%	41,90	74,53	100

**Таблица 4.8 – Сравнение режимов облучения меристемных растений земляники садовой сорта «Брайтон» на этапе адаптации**

Параметры		Облучательные фитоустановки		
		LED имп.1 ФОУ	LED непр.ФОУ	ЛФОУ (контроль)
Время работы облучательной установки, ч		234,72	480	480
Мощность облучательной установки	кВт	0,03	0,03	0,042
	%	71,43	71,43	100
Расход электроэнергии	кВт·ч	7,04	14,4	20,16
	%	34,92	71,4	100
Изменение площади листьев	мм <sup>2</sup>	67±3,3	66±3,3	66±3,3
	%	101,52	100,00	100
Удельные затраты электроэнергии	кВт·ч/мм <sup>2</sup>	0,11	0,22	0,31
	%	34,40	71,43	100

Анализируя результаты измерений из таблиц 4.5 и 4.7 можно рассчитать экономию электроэнергии, затрачиваемую на облучение меристемных

растений земляники садовой сорта «Корона» на этапах пролиферации и укорени по формуле (4.1).

$$\Delta W = \sum_a^y (w_K \cdot \Delta S_K) - \sum_a^y (w_{И} \cdot \Delta S_{И}), \quad (4.1)$$

где,  $\Delta W$  – экономия электроэнергии, кВт·ч,

$w_K$  – удельные затраты электроэнергии на этапах адаптации и укоренения под установкой ЛФΟΥ (контроль); кВт·ч,

$w_{И}$  – удельные затраты электроэнергии на этапах адаптации и укоренения под установкой LED имп.1 ФОУ; кВт·ч,

$\Delta S_K$  – изменение площади поверхности листьев на этапах адаптации и укоренения под установкой ЛФΟΥ (контроль); кВт·ч,

$\Delta S_{И}$  – изменение площади поверхности листьев на этапах адаптации и укоренения под установкой LED имп.1 ФОУ. кВт·ч,

Таким образом, экономия электроэнергии при облучении земляники садовой сорта «Корона» при развитии меристемных растений до высадки в грунт составит:

$$\begin{aligned} \Delta W &= \left( 0,26 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{мм}^2} \times 78 \text{мм}^2 + 0,27 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{мм}^2} \times 77 \text{мм}^2 \right) - \\ &- \left( 0,08 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{мм}^2} \times 86 \text{мм}^2 + 0,09 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{мм}^2} \times 77 \text{мм}^2 \right) = 27,26 \text{кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

Переводя в процентное соотношение расход электрической энергии, получим, что экономия электрической энергии составит:

$$\Delta W = \frac{27,26 \cdot 100\%}{40,32} = 68\%$$

Экономия электроэнергии при облучении земляники садовой сорта «Брайтон» при развитии меристемных растений до высадки в грунт составит:

$$\begin{aligned} \Delta W &= \left( 0,27 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{мм}^2} \times 75 + 0,23 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{мм}^2} \times 88 \right) - \\ &- \left( 0,13 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{мм}^2} \times 53 \text{мм}^2 + 0,09 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{мм}^2} \times 75 \text{мм}^2 \right) = 20,52 \text{кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

Переводя в процентное соотношение расход электрической энергии, получим, что экономия электрической энергии составит:

$$\Delta W = \frac{20,23 \cdot 100\%}{40,32} = 51\%.$$

## 4.2 Эффективность влияния различных облучательных установок на темпы роста

Для обоснования влияния режима облучения меристемных растений земляники садовой сортов «Корона» и «Брайтон» разработана структурно-функциональная схема (рисунок 4.5)

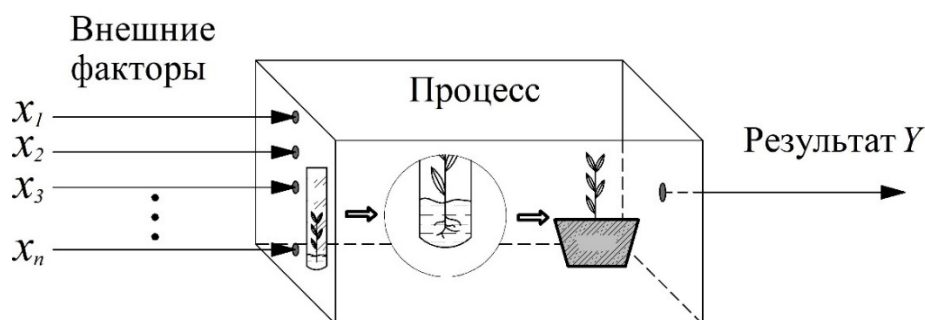


Рисунок 4.5 – Структурно-функциональная схема влияния режима облучения на меристемное растение

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

$x_1$  – вид растения (в данном случае земляника садовая);

$x_2$  – этап выращивания по технологии, используемой УдмНИИ СХ структурным подразделением ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН;

$x_3$  – температура в пробирке и лаборатории;

$x_4$  – питательная среда в пробирке;

$x_5$  – состав воздуха в пробирке и лаборатории;

$x_6$  – спектральный состав облучения;

$x_7$  – режим облучения (импульсный или непрерывный)

Под результатом  $Y$  принимается наиболее эффективный режим облучения растений.

При математической обработке данных по темпам количественного изменения явлений или при усреднении различных приростов, например приростов растений, вместо средней арифметической применяют среднюю геометрическую [4, 14, 16, 36, 37, 65], которая вычисляется по формуле (4.2).

$$G = \sqrt[N]{\Pi_x}, \quad (4.2)$$

где  $G$  – среднее геометрическое;  $\Pi$  – знак произведения означает, что все числа, стоящие за ним, следует перемножить, т.е.  $\Pi_x = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_N$ ;  $N$  – число вариантов (число периодов времени).

При вычислении средней геометрической воспользуемся логарифмами, формула (4.3).

$$\lg G = \frac{\sum \lg x}{N}, \quad (4.3)$$

где  $\sum \lg x$  – сумма логарифмов всех вариантов;  $N$  – объем выборки.

Темпы роста площади листьев на этапе пролиферации земляники садовой сорта «Корона» определяются делением площади последующего наблюдения на площадь предыдущего замера по формуле (4.4):

$$x = \frac{S_i}{S_{i-1}}, \quad (4.4)$$

где  $x$  – темп роста листьев;  $S$  – средняя площадь листа.

Данные занесены в таблицу (4.9):

**Таблица 4.9 – Рост листа земляники сорта «Корона» под LED непр. ФОУ**

День измерения	Средняя площадь (S) листа, мм <sup>2</sup>	Темп роста (x)	lg x
1-й	262±13,1	-	-
5-й	285±14,2	1,088	0,04
10-й	306±12,2	1,074	0,03
15-й	331±13,2	1,082	0,03
20-й	348±13,9	1,051	0,02

Таким образом среднее геометрическое из значений темпов роста:

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

отсюда  $G = 1,07$ .

Проверка вычисления производится по формуле (4.5):

$$S_N = S_1 \cdot G^{N-1}, \quad (4.5)$$

где  $S_N$  – максимальная варианта,  $\text{мм}^2$ , т.е. последнее измерение наблюдавшегося признака;  $S_1$  – начальное измерение площади листа,  $\text{мм}^2$ ;  $G$  – среднее геометрическое по темпу роста;  $N$  – число наблюдений.

Следовательно, проверка для средней геометрической темпов роста земляники меристемной под LED непр. ФОУ:

$$S_N = 262 \cdot 1,07^4 = 348 \text{ мм}^2.$$

Полученное по формуле (4.5) значение максимальной варианты идентично фактическому – 348,  $\text{мм}^2$ , следовательно, среднее геометрическое вычислено верно.

Аналогично проведены расчеты по средней геометрической на этапе пролиферации из значений темпов роста земляники садовой сорта «Корона» под люминесцентным облучением (Таблица 4.10).

**Таблица 4.10 – Рост листа земляники сорта «Корона» под ЛФОУ (контроль)**

День измерения	Средняя площадь (S) листа, $\text{мм}^2$	Темп роста (x)	$\lg x$
1-й	257±10,2	-	
5-й	279±11,1	1,086	0,03
10-й	296±11,8	1,061	0,03
15-й	322±12,8	1,088	0,04
20-й	335±13,4	1,04	0,02

Среднее геометрическое из значений темпов роста земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации под люминесцентным фитооблучателем:

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

отсюда  $G = 1,07$ .

Произведем проверку по формуле (4.5):

$$S_N = 257 \cdot 1,07^4 = 335 \text{ мм}^2.$$

Полученное значение максимальной варианты идентично фактическому – 335  $\text{мм}^2$ , следовательно, среднее геометрическое вычислено верно.

Аналогично проведем расчеты по средней геометрической на этапе пролиферации из значений темпов роста земляники под импульсным светодиодным облучением со световой фазой в 0,5 с. (Таблица 4.11).

**Таблица 4.11 – Рост листа земляники сорта «Корона» под LED имп 0,5 ФОУ**

День измерения	Средняя площадь (S) листа, мм <sup>2</sup>	Темп роста (x)	lg x
1-й	255±10,2	-	-
5-й	271±10,8	1,063	0,03
10-й	281±11,1	1,037	0,02
15-й	301±11,8	1,071	0,03
20-й	325±12,3	1,080	0,03

Среднее геометрическое из значений на этапе пролиферации темпов роста земляники садовой сорта «Корона» под LED имп.0,5 облучателем:

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

отсюда  $G = 1,06$ .

Произведем проверку по формуле (4.5):

$$S_N = 255 \cdot 1,06^4 = 325 \text{ мм}^2.$$

Полученное значение максимальной варианты идентично фактическому – 325 мм<sup>2</sup>, следовательно, среднее геометрическое вычислено верно [36, 37].

Аналогично проведем расчеты по средней геометрической на этапе пролиферации из значений темпов роста земляники под импульсным светодиодным облучением со световой фазой в 1 с. (Таблица 4.12).

**Таблица 4.12 – Рост листа земляники сорта «Корона» под LED имп.1 ФОУ**

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



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

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

отсюда  $G = 1,07$ .

Произведем проверку по формуле (4.5):

$$S_N = 260 \cdot 1,07^4 = 346 \text{ мм}^2.$$

Полученное значение максимальной варианты идентично фактическому –  $346 \text{ мм}^2$ , следовательно, среднее геометрическое вычислено верно.

Исходя из полученных данных эффективность облучательной фитоустановки на влияние темпов роста листа земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации оказалось выше у исследуемой LED имп.1 ФОУ (Рис. 4.6).

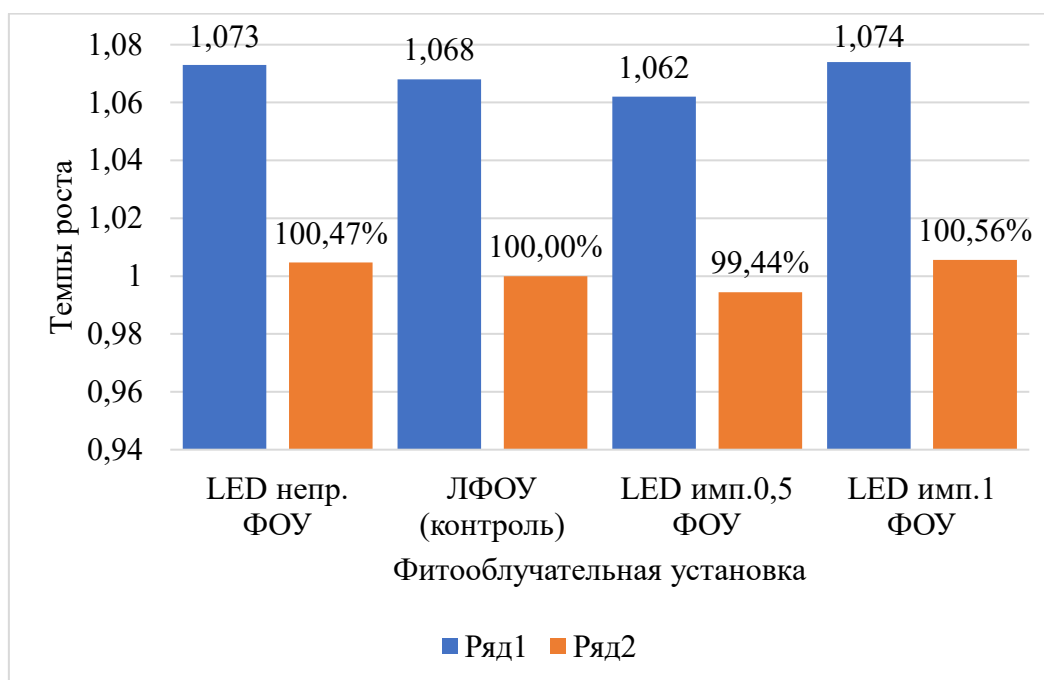


Рисунок 4.6 – Эффективность влияния фитооблучательной установки на темпы роста листа земляники садовой сорта «Корона»

Таким образом, эффективность LED имп.1 ФОУ выше, чем у ЛФОУ (контроль) и выше, чем у LED непр. ФОУ.

Темпы роста площади листьев на этапе пролиферации земляники садовой сорта «Брайтон» определяются по формуле (4.4), данные занесены в таблицу 4.13.

**Таблица 4.13 – Рост листа земляники сорта «Брайтон» под LED непр. ФОУ**

День измерения	Средняя площадь (S) листа, мм <sup>2</sup>	Темп роста (x)	lg x
1-й	249±10,3	-	-
5-й	280±10,9	1,124	0,05
10-й	291±11,5	1,039	0,02
15-й	300±11,8	1,031	0,01
20-й	302±12,6	1,007	0,01

Таким образом среднее геометрическое из значений темпов роста:

$$\lg G = \frac{(0,05 + 0,02 + 0,01 + 0,01)}{4} = 0,02,$$

отсюда  $G = 1,05$ .

Проверка вычисления производится по формуле (4.5):

$$S_N = 249 \cdot 1,05^4 = 302 \text{ мм}^2.$$

Полученное по формуле (4.5) значение максимальной варианты идентично фактическому – 302 мм<sup>2</sup>, следовательно, среднее геометрическое вычислено верно.

Аналогично проведем расчеты по средней геометрической на этапе пролиферации из значений темпов роста земляники садовой сорта «Брайтон» под люминесцентным облучением (Таблица 4.14).

**Таблица 4.14 – Рост листа земляники сорта «Брайтон» под ЛФОУ (контроль)**

День измерения	Средняя площадь (S) листа, мм <sup>2</sup>	Темп роста (x)	lg x
1-й	239±11,9	-	-
5-й	279±12,0	1,167	0,07
10-й	296±12,5	1,061	0,03
15-й	308±12,9	1,041	0,02
20-й	314±13,2	1,019	0,01

Среднее геометрическое из значений темпов роста земляники садовой сорта «Брайтон» на этапе пролиферации под люминесцентным фитооблучателем:

$$\lg G = \frac{(0,07 + 0,03 + 0,02 + 0,01)}{4} = 0,03,$$

отсюда  $G = 1,07$ .

Произведем проверку по формуле (4.5):

$$S_N = 239 \cdot 1,07^4 = 314 \text{ мм}^2.$$

Полученное значение максимальной варианты идентично фактическому – 314,56 мм<sup>2</sup>, следовательно, среднее геометрическое вычислено верно.

Аналогично проведем расчеты по средней геометрической на этапе пролиферации из значений темпов роста земляники садовой сорта «Брайтон» под LED имп.0,5 ФОУ облучением (Таблица 4.15).

**Таблица 4.15 – Рост листа земляники сорта «Корона» под LED имп.0,5 ФОУ**

День измерения	Средняя площадь (S) листа, мм <sup>2</sup>	Темп роста (x)	lg x
1-й	235±11,6	-	-
5-й	271±11,8	1,153	0,06
10-й	281±12,3	1,037	0,02
15-й	292±12,6	1,039	0,02
20-й	295±12,9	1,010	0,01

Среднее геометрическое из значений на этапе пролиферации темпов роста земляники садовой сорта «Корона» под LED имп.0,5 ФОУ фитооблучателем:

$$\lg G = \frac{(0,06 + 0,02 + 0,02 + 0,01)}{4} = 0,02,$$

отсюда  $G = 1,06$ .

Произведем проверку по формуле (4.5):

$$S_N = 235 \cdot 1,06^4 = 295 \text{ мм}^2.$$

Полученное значение максимальной варианты идентично фактическому – 295,14 мм<sup>2</sup>, следовательно, среднее геометрическое вычислено верно.

Аналогично проведем расчеты по средней геометрической на этапе пролиферации из значений темпов роста земляники садовой сорта «Брайтон» под LED имп.1 ФОУ облучением (Таблица 4.16).

Таблица 4.16 – Рост листа земляники сорта «Корона» под LED имп.1 ФОУ

День измерения	Средняя площадь (S) листа, мм <sup>2</sup>	Темп роста (x)	lg x
1-й	244±11,6	-	-
5-й	276±11,9	1,131	0,05
10-й	288±12,5	1,043	0,02
15-й	298±12,8	1,035	0,01
20-й	300±13,5	1,007	0,01

Среднее геометрическое из значений на этапе пролиферации темпов роста земляники садовой сорта «Корона» под LED имп.1 ФОУ фитооблучателем:

$$\lg G = \frac{(0,05 + 0,02 + 0,01 + 0,01)}{4} = 0,02,$$

отсюда  $G = 1,05$ .

Произведем проверку по формуле (4.5):

$$S_N = 235 \cdot 1,05^4 = 300 \text{ мм}^2.$$

Полученное значение максимальной варианты идентично фактическому – 300 мм<sup>2</sup>, следовательно, среднее геометрическое вычислено верно.

Исходя из полученных данных эффективность облучательной фитоустановки на влияние темпов роста листа земляники садовой сорта «Брайтон» на этапе пролиферации будет выше у ЛФОУ (контроль) (Рис. 4.7).

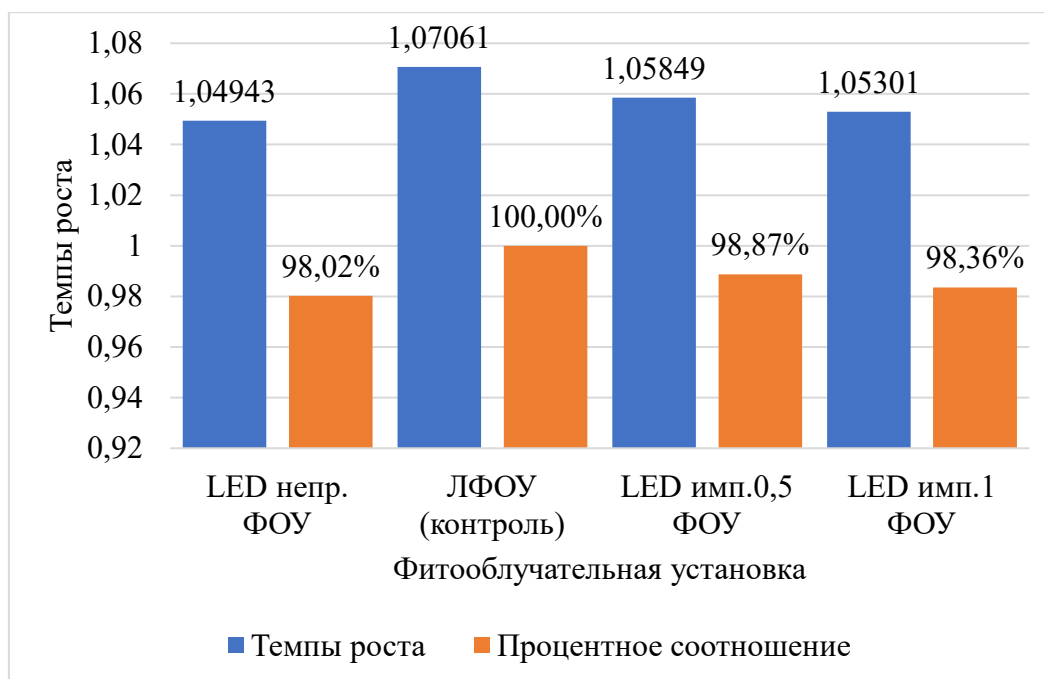


Рисунок 4.7 – Эффективность влияния фитооблучательной установки на темпы роста листа земляники садовой сорта «Брайтон»

Таким образом, можно сделать вывод о том, что эффективность темпов роста листа под LED имп.1 ФОУ выше, чем у LED непр. ФОУ.

#### 4.3 Интерполяция динамики роста микрочеренков земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации

Вычисление асимптот и параметров уравнения интерполяции динамики роста микрочеренков земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации под LED непр. ФОУ начнем с создания таблицы данных (Таблица 4.16) [13, 15].

Приведенные данные в таблице 4.17 (по столбцам):  $N$  – пятидневки вегетационного периода;  $N^2$  – квадраты порядковых номеров пятидневок;  $S$  – значение площади листовой поверхности земляники садовой, мм<sup>2</sup>.

Таблица 4.17 – Параметры логистической кривой земляники садовой сорта «Корона» под LED непр. ФОРУ

$N$	$N^2$	$S$	$\frac{a_1}{S}$	$\frac{a_1}{S} - 1$	$z$	$Nz$	$S'$	$(S' - S)^2$
1	1	262	1,32	0,3	-0,48	-0,48	258,82	10,11
2	4	285	1,22	0,22	-0,65	-1,31	287,56	6,58
3	9	306	1,13	0,13	-0,86	-2,58	313,90	62,41
4	16	331	1,05	0,05	-1,28	-5,14	337,68	44,67
5	25	348	1,01	0,001	-3,54	-17,70	344,04	15,70
15	55				-6,82	-27,23		139,46

Далее рассчитаем необходимые данные для построения логистической кривой:  $a_1$  – максимальное значение площади листьев, определенной по графику эмпирических данных (Рис. 4.7) примем за 348,1 мм<sup>2</sup>, это значение делим на соответствующее значение  $S$ ;  $z$  – значение логарифма предыдущего столбца в естественной форме [37]

$$z = \lg\left(\frac{a_1}{S} - 1\right) \quad (4.25)$$

Согласно методике Зайцева Г.Н. [37]  $\beta$ ,  $\gamma$  – параметры уравнения, определяющие наклон и изгиб логистической кривой можно определить, составив систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} N\gamma + \beta \sum N &= \sum z \\ \gamma \sum N + \beta \sum N^2 &= \sum Nz \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

Подставляя значения из таблицы 4.17 в формулу (4.7) получаем:

$$\left. \begin{aligned} 5\gamma + 15\beta &= -5,47 \\ 15\gamma + 55\beta &= -20,57 \end{aligned} \right\}$$

откуда получаем  $\gamma = 0,16$ ,  $\beta = -0,41$ .

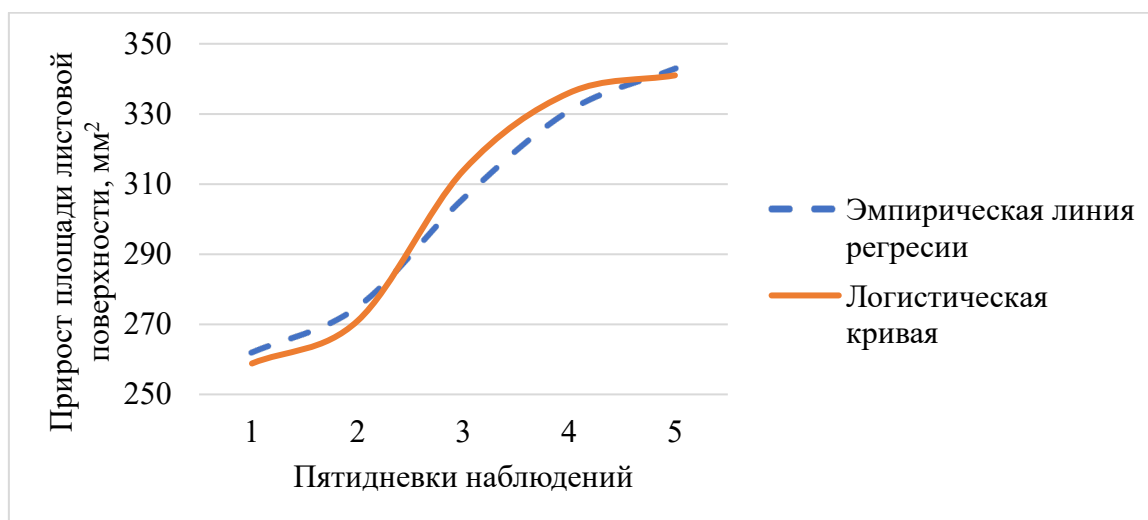
Уравнение приобретает для рассматриваемого случая следующую конкретную форму:

$$S' = \frac{348}{1 + 10^{0,16 - 0,41N}} \quad (4.8)$$

откуда произведем расчет и заполнение столбца таблицы 4.17 соответствующими значениями.

На рисунке 4.8 изображены эмпирическая и теоретическая линии регрессии прироста площади листовой поверхности земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации под LED имп.0.5 ФОУ.

Аналогично произведем расчеты под ЛФОУ (контроль) и сравним полученные эмпирические линии регрессии.



**Рисунок 4.8 – Прирост площади листовой поверхности земляники садовой сорта «Корона»**

Данные необходимые для расчета асимптот и параметров уравнения интерполяции динамики роста микрочеренков земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации под ЛФОУ (контроль) приведены в таблице 4.18.

**Таблица 4.18 – Параметры логистической кривой земляники садовой сорта «Корона» под ЛФОУ (контроль)**

$N$	$N^2$	$S$	$\frac{a_1}{S}$	$\frac{a_1}{S} - 1$	$z$	$Nz$	$S'$	$(S' - S)^2$
1	1	257	1,31	0,31	-0,51	-0,51	252,82	17,89
2	4	279	1,20	0,20	-0,69	-1,38	283,13	15,92
3	9	296	1,13	0,13	-0,87	-2,61	305,90	93,90
4	16	322	1,04	0,04	-1,37	-5,49	328,53	38,44
5	25	335	1,01	0,01	-2,57	-12,87	338,12	9,06
15	55				-6,02	-22,87		175,21

Произведем расчеты по формуле (4.8) получим зависимость интерполяции динамики роста микрочеренков земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации под ЛФΟΥ (контроль):

$$S' = \frac{335}{1 + 10^{0,24-0,48N}}.$$

Данные необходимые для расчета асимптот и параметров уравнения (4.5) интерполяции динамики роста микрочеренков земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации под LED имп.0,5 ФОУ приведены в таблице 4.19.

**Таблица 4.19 – Параметры логистической кривой земляники садовой сорта «Корона» под LED имп.0,5 ФОУ**

$N$	$N^2$	$S$	$\frac{a_1}{S}$	$\frac{a_1}{S} - 1$	$z$	$Nz$	$S'$	$(S' - S)^2$
1	1	255	1,27	0,27	-0,55	-0,55	250,25	23,91
2	4	271	1,20	0,20	-0,69	-1,39	271,75	0,15
3	9	281	1,15	0,15	-0,80	-2,40	296,36	219,34
4	16	301	1,08	0,08	-1,08	-4,32	311,18	103,23
5	25	325	1,00	0,01	-2,72	-13,60	323,51	3,50
15	55				-5,85	-22,27		350,13

Произведем расчеты по формуле (4.8) получим зависимость интерполяции динамики роста микрочеренков земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации под LED непр. ФОУ:

$$S' = \frac{325}{1 + 10^{0,24-0,47N}}.$$

Ошибка полученного уравнения определяется по формуле (4.8):

Данные необходимые для расчета асимптот и параметров уравнения (4.5) интерполяции динамики роста микрочеренков земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации под LED имп.1 ФОУ приведены в таблице 4.20



Таблица 4.20 – Параметры логистической кривой земляники садовой сорта «Корона» под LED имп.1 ФОУ

$N$	$N^2$	$S$	$\frac{a_1}{S}$	$\frac{a_1}{S} - 1$	$z$	$Nz$	$S'$	$(S' - S)^2$
1	1	260,00	1,33	0,33	-0,47	-0,47	255,36	21,53
2	4	282,00	1,22	0,22	-0,64	-1,28	287,56	30,96
3	9	300,00	1,15	0,15	-0,81	-2,44	312,69	161,04
4	16	329,00	1,05	0,05	-1,28	-5,13	332,14	9,86
5	25	346,00	1,01	0,01	-3,53	-17,69	344,04	3,85
15	55				-6,76	-27,03		227,23

Произведем расчеты по формуле (4.8) получим зависимость интерполяции динамики роста микрочеренков земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации под LED непр. ФОУ:

$$S' = \frac{346}{1 + 10^{0,67-0,67N}}$$

Сравним полученные эмпирические линии регрессии, полученные в результате расчетов асимптот и параметров уравнения (4.5) интерполяции динамики роста микрочеренков земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации под LED имп.0.5 ФОУ, LED имп.1 ФОУ, под ЛФОУ (контроль) и под LED непр. ФОУ (Рисунок 4.9).

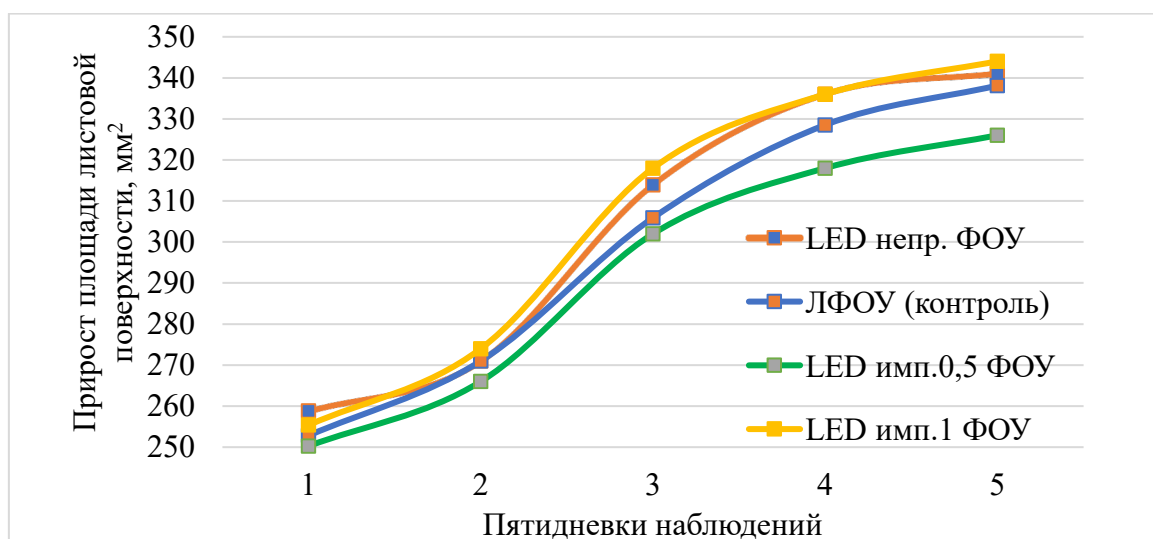


Рисунок 4.9 – Теоретические линии регрессии прироста площади листовой поверхности земляники садовой сорта «Корона» под различными фитоустановками

Из рисунка 4.9 видно, что под LED имп.0.5 ФОУ эмпирическая линия регрессии прироста площади листовой поверхности земляники садовой сорта «Корона» на этапе пролиферации выше, чем под ЛФОУ (контроль). Результаты опытов подтверждаются приложением В и приложением Г.

## ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ

1. Применение импульсного режима облучения с использованием LED имп.1 ФОУ по сравнению с ЛФОУ (контроль) в клональном микроразмножении земляники способствовало:

- существенному увеличению укореняемости микрочеренков земляники. Укореняемость земляники садовой сорта «Корона» составила 95 % под LED имп.1 ФОУ, а под ЛФОУ (контроль) – 90%;

- увеличению числа нормально развитых листьев земляники садовой сорта «Корона» – 5,6 шт под LED имп.1 ФОУ, когда под ЛФОУ (контроль) – 4,5 шт и, как следствие, обеспечило увеличение длины корней до 21 мм. (в контроле 15 мм);

- увеличению площади листовой поверхности микрорастений сорта «Корона» с 262 мм<sup>2</sup> до 348 мм<sup>2</sup>;

- уменьшению числа нормально развитых листьев земляники садовой сорта «Брайтон»: под LED имп.1 ФОУ – 4,5 шт., а под ЛФОУ (контроль) – 5,6 шт. Однако, это не повлияло на длину корней под LED имп.1 ФОУ и составило 21 мм, когда под ЛФОУ (контроль) – 15 мм;

- менее интенсивному росту площади листовой поверхности микрорастений сорта «Брайтон» – с 249 мм<sup>2</sup> до 302 мм<sup>2</sup>, когда под ЛФОУ (контроль) эти значения выросли с 239 мм<sup>2</sup> до 314 мм<sup>2</sup>;

- импульсный режим препятствовал вытягиванию и способствовал формированию невысоких микрорастений. Высота земляники садовой сорта «Корона» под LED имп.1 ФОУ составила 20 мм, а под ЛФОУ (контроль) – 25

мм. Высота земляники садовой сорта «Брайтон» под LED имп.1 ФОУ составила 21 мм, а под ЛФОУ (контроль) – 26 мм;

– к концу второго или третьего этапа все укоренившиеся микрорастения земляники по высоте розетки, числу нормально развитых листьев и длине корней соответствовали ГОСТ Р 54051-2010;

2. Предлагаемый импульсный режим облучения оказался эффективнее для земляники садовой сорта «Корона» на этапах нарастания площади листьев и наращивания корней, позволяющая сэкономить электрическую энергию до 67% при улучшении качества биометрических показателей земляники садовой. Несколько ниже были результаты для ремонтантной земляники сорта «Брайтон», но и эти растения соответствовали ГОСТ Р 54051-2010. Расчеты показали, что расход электроэнергии при облучении фитооблучательной установкой ниже почти на 50%.

## 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИТООБЛУЧАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ОБЛУЧЕНИЯ МЕРИСТЕМНЫХ РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

Экономическая эффективность определялась на основе метода приведенных затрат. В таблице 5.1 представлены исходные данные для расчета.

Таблица 5.1 – Оценка технико-экономической эффективности замены светильников ЛФОУ на LED имп.1 ФОУ

Показатель	Размерность	Обозначение	Вариант	
			LED имп.1ФОУ	ЛФОУ (контроль)
Количество фитооблучательных установок	шт.	N	9	9
Стоимость одной фитооблучательной установки	руб.	$C_{ou}$	7600	3500
Стоимость светодиодов/люминесцентных ламп для одной фитооблучательной установки	руб.	$C_{л}$	3000	1000
Количество производимых растений в год	шт.	A	7850	5000
Мощность одной фитооблучательной установки	кВт	$P_{л}$	0,030	0,042
Коэффициент потерь мощности в ПРА		$K_{пра}$	1,00	1,00
Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии	руб./ кВт·ч	$C_{кВт}$	4,12	4,12
Коэффициент, учитывающий расходы на монтаж		$K_{м}$	0,20	0,20
Коэффициент, учитывающий транспортные расходы		$K_{т}$	0,12	0,12
Срок службы лампы	час.	$T_{л}$	50000,00	9600,00
Срок службы арматуры	час.	$T_{ар}$	8760,00	8760,00
Время работы фитооблучательной установки в режиме освещения в год	час.	$T_{раб}$	2400,00	4800,00
Зарплата электромонтера	руб.	ЗП	17000,00	17000,00
Нормативный коэффициент эффективных капиталовложений		$E_{н}$	0,15	0,15
Цена продукции	руб./растение	Ц	100	100

Расчет экономической эффективности проводился для 9 стеллажей продукции по методике приведенных затрат:

1. Капитальные вложения:

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

По формуле 5.1 капитальные вложения для облучательной установки ЛФОУ (контроль) составят:

$$K_{\text{ЛФОУ}} = (0,2 + 0,12 + 1) \cdot 3500 \cdot 9 = 41\,500 \text{ рублей,}$$

а для фитооблучательной установки LED имп.ФОУ капитальные вложения:

$$K_{\text{LED}} = (0,2 + 0,12 + 1) \cdot 7600 \cdot 9 = 90\,288 \text{ рублей.}$$

2. Эксплуатационные затраты (ЭЗ) рассчитываются по формуле 5.2:

$$\text{ЭЗ} = C_э + C_a + C_{зп} + C_{тр} + C_{пр}, \quad (5.2)$$

где  $C_э$  – стоимость электроэнергии, руб.;  $C_a$  – стоимость амортизационных отчислений, руб.;  $C_{зп}$  – стоимость отчислений на заработную плату, руб.;  $C_{тр}$  – стоимость текущего ремонта, руб.;  $C_{пр}$  – стоимость прочих эксплуатационных расходов, руб.

В свою очередь, стоимость электроэнергии ( $C_э$ ) определяется по формуле 5.3:

$$C_э = K_{пра} \cdot N \cdot P_l \cdot C_{кВт} \cdot T_{раб} \quad (5.3)$$

Таким образом стоимость электроэнергии для фитооблучательной установки LED имп.ФОУ составит:

$$C_{э\text{LED}} = 1 \cdot 9 \cdot 0,03 \cdot 4,12 \cdot 4800 = 5\,339,52 \text{ рублей,}$$

и для облучательной установки ЛФОУ (контроль) стоимость электроэнергии:

$$C_{э\text{ЛФОУ}} = 1 \cdot 9 \cdot 0,042 \cdot 4,12 \cdot 4800 = 7\,475,33 \text{ рублей.}$$

Стоимость амортизационных отчислений на фитооблучательные установки определяется по формуле 5.4:

$$C_a = \frac{C_l \cdot K_M \cdot K_T \cdot N \cdot T_{раб}}{T_l} \quad (5.4)$$

Следовательно:

$$C_{a\text{ЛФОУ}} = \frac{1000 \cdot 0,2 \cdot 0,12 \cdot 9 \cdot 4800}{9600} = 108 \text{ рублей,}$$

$$C_{aLED} = \frac{3000 \cdot 0,2 \cdot 0,12 \cdot 9 \cdot 2400}{50000} = 31 \text{ рубль.}$$

Также необходимо учесть амортизационные отчисления на арматуру по формуле 5.5:

$$C_{арм} = \frac{(K - C_{л} \cdot K_{пра} \cdot C_{кВт} \cdot N) \cdot T_{раб}}{T_{ар}}. \quad (5.5)$$

Откуда следует:

$$C_{армЛФОУ} = \frac{(41500 - 1000 \cdot 4,12 \cdot 9) \cdot 4800}{8760} = 2\,422 \text{ рублей,}$$

$$C_{армLED} = \frac{(90288 - 1000 \cdot 4,12 \cdot 9) \cdot 2400}{8760} = 14\,577 \text{ рублей.}$$

Затраты на текущий ремонт рассчитываются по формуле 5.6:

$$C_{тр} = 0,125 \cdot K \quad (5.6)$$

Следовательно,

$$C_{трЛФОУ} = 0,125 \cdot 41500 = 5\,187,5 \text{ рублей,}$$

$$C_{трLED} = 0,125 \cdot 90288 = 11\,286 \text{ рублей.}$$

Расходы на заработную плату определяются по формуле 5.7:

$$C_{зп} = 12 \cdot ЗП \quad (5.7)$$

Соответственно:

$$C_{зпЛФОУ} = C_{зпLED} = 12 \cdot 17000 = 204\,000 \text{ рублей.}$$

Прочие затраты определяются по формуле 5.8:

$$C_{пр} = (C_{э} + C_{а} + C_{арм} + C_{зп}) \cdot 0,1 \quad (5.8)$$

Откуда

$$C_{прЛФОУ} = (7\,475,33 + 108 + 2422 + 204000) \cdot 0,1 = 21\,400 \text{ рублей,}$$

$$C_{прLED} = (5\,339,52 + 31 + 14577 + 204000) \cdot 0,1 = 22\,395 \text{ рублей.}$$

Исходя из выше представленных расчетов эксплуатационные затраты для облучательной установки ЛФОУ (контроль) составят:

$$\begin{aligned} \text{ЭЗ}_{\text{ЛФОУ}} &= 7\,475,33 + 108 + 204\,000 + 5\,187,5 + 21\,400 = \\ &= 238\,152,83 \text{ рублей} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ЭЗ}_{\text{LED}} &= 5\,339,52 + 31 + 204\,000 + 11\,286 + 22\,395 = \\ &= 243\,051,52 \text{ рублей} \end{aligned}$$

3. Учитывая коэффициент эффективности капиталовложений, приведенные затраты определяются по формуле 5.9:

$$\text{ПЗ} = \text{К} \cdot \text{Е}_н + \text{ЭЗ} \quad (5.9)$$

Следовательно,

$$\text{ПЗ}_{\text{ЛФОУ}} = 41\,500 \cdot 0,15 + 238\,152,83 = 244\,377,83 \text{ рублей,}$$

$$\text{ПЗ}_{\text{LED}} = 90\,288 \cdot 0,15 + 243\,051,52 = 256\,594,72 \text{ рублей.}$$

4. Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле 5.10:

$$\Gamma_{\text{ээ}} = \left( \frac{\text{ПЗ}_{\text{ЛФОУ}}}{\text{А}_{\text{ЛФОУ}}} - \frac{\text{ПЗ}_{\text{LED}}}{\text{А}_{\text{LED}}} \right) \cdot \text{А}_{\text{LED}}. \quad (5.10)$$

Получаем, что годовой экономический эффект при использовании фитооблучательной установки LED имп.ФОУ составит:

$$\Gamma_{\text{ээ}} = \left( \frac{244\,377,83}{5\,000} - \frac{256\,594,72}{7\,850} \right) \cdot 7\,850 = 127\,078,47 \text{ рублей.}$$

Таблица 5.2 – Данные расчета экономической эффективности

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

Из таблицы 5.2 видно, что использование экспериментальной установки позволяет снизить затраты электроэнергии на 29 %.

## ВЫВОДЫ ПО ПЯТОЙ ГЛАВЕ

1. При использовании фитооблучательной установки LED имп.ФОУ в сравнении с облучательной установкой ЛФОУ (контроль) при выращивании меристемных растений годовой экономический эффект составит 127 078,47 рублей, который получается в т.ч. за счет экономии электроэнергии на 29% и более высоких темпов роста.

2. Затраты на производство одного растения сократились на 16,17 рублей при сроке окупаемости данной установки 2,02 года.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Итоги выполненного исследования

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

2. Предложена математическая модель, описывающая влияние режима облучения на темпы роста меристемной земляники, которая показала, что комбинированный режим облучения с длительностью импульса света в 1 с. позволяет уменьшить время выращивания меристемной земляники и снизить удельные затраты примерно на 68%.

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

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

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

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

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг, Ю.Б. Энергосбережение в светотехнических установках / Ю.Б. Айзенберг, Н.В Рожкова // Новости светотехники. – Москва, 1999. – Вып. 4 (16). – 24 с.
2. Андрийчук, В.А. Установки переменного облучения для светокультуры растений / В.А. Андрийчук // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2008. – С. 103–105.
3. Астафурова, Т.П. Влияние различного соотношения спектральных участков ФАР на фотосинтетический метаболизм растений огурца / Т.П. Астафурова, Г.С. Верхотурова, Т.А. Зайцева, А.В. Ракитин, И.А. Викторова, Р.И. Аминов // Вестник Башкирского университета. – 2001. – № 2 (I). – С. 9–11.
4. Баврин, И. И. Краткий курс высшей математики для химико-биологических и медицинских специальностей / И. И. Баврин. – Москва, 2003. – 328 с.
5. Баев, В.И. Технологическое электрическое освещение птичников родительского стада на основе спектральной чувствительности глаз птицы: монография / В.И. Баев, В.А. Шанцин. – Волгоград: ИПК ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА Нива, 2009. – 184 с.
6. Батурин, А.И. Автоматическая система для комбинированного облучения меристемных растений / А.И. Батурин, Юран С.И., Баранова И.А. // В сборнике: Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Материалы IV Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах. 2018. С. 523-524.

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

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

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

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

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

12. Батурин, А.И. Разработка ресурсо- и энергосберегающего электрооборудования для реализации энергоэффективных электротехнологий для воздействия на биологические объекты / А.И. Батурин, Н.П. Кондратьева,

Бузмаков Д.В., Осокина А.С., Маркова М.Г., Сомова Е.Н., Батурина К.А. // Агротехника и энергообеспечение. 2019. № 3 (24). С. 39-49

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

14. Батурин, А.И. Сравнение светодиодных ламп по цветовой температуре / А.И. Батурин, И. Г. Гузев, М. Б. Цыркин, К. А. Варанкин // Научные труды студентов Ижевской ГСХА : Сборник статей / Отв. за выпуск Н.М. Итешина. Том 1 (14). – Ижевск : Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 1991-1994.

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

16. Батурин, А.И. Энерго- и ресурсосберегающие облучательные установки для растений *in vitro* / А.И. Батурин, Н.П. Кондратьева, Корепанов Р.И. // В сборнике: Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Материалы IV Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах. 2018. С. 476-477.

17. Беляков, М.В. Расчёт эффективной отдачи светодиодных ламп для тепличного освещения / Пятченков Д.С., Парфененков И.А., Беляков М.В. // В сборнике: Энергетика, информатика, инновации - 2021. Сборник трудов XI Международной научно-технической конференции. Смоленск, 2021. С. 537-539.

18. Битаров, К.С. Влияние режимов импульсного облучения ламами ДРЛФ400 на динамику роста рассады огурца / К.С. Битаров // Зап. ЛенСХИ, 1976, т. 288, с. 141-143

19. Большина Н.П. Обеспечение режимов искусственного облучения растений / Н.П. Большина, С.А. Овчукова, В.А. Козинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. – № 10. – С. 55–57.

20. Большина, Н.П. К использованию импульсного облучения растений / Большина Н.П., Рязанова Т.В. // Сборник научных трудов МИИСП «Рациональная электрификация с. х.». М.: МИИСП, 1984

21. Большина, Н.П. Обеспечение режимов искусственного облучения меристемных гвоздики. / Большина Н.П., Овчукова С.А. // Тезисы конференции «Человек и свет. Саранск, 1982

22. Большина, Н.П. Облучательные установки с газоразрядными лампами в промышленном цветоводстве: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.07 – Светотехника / Н.П. Большина. – Москва: МИИСП, 1985. – 19 с.

23. Большина, Н.П. Применение импульсного облучения в с.х. производстве. / Большина Н.П., Овчукова С.А., Рязанова Т.В. // Сб. трудов НПК «Пути повышения эффективности с.-х. производства», Барнаул: Тр. АН Сибири, 1983.

24. Большина, Н.П. Результаты опытов по импульсному облучению ремонтантной гвоздики / Большина Н.П. // Повышение качества электрификации сельскохозяйственного производства и его электроснабжения: сборник научных трудов МИИСП. – Москва: МИИСП, 1982. – С. 91–93.

25. Большина, Н.П. Совершенствование установок для облучения растений / Большина Н.П., Живописцев Е.Н., Обухов С.Г. // Механизация и электрификация с.х., 1984, № 10

26. Большина, Н.П. Способы повышения эффективности облучательных установок в промышленном растениеводстве / Большина

Н.П., Козинский В.А., Овчукова С.А. // Сборник трудов «Проблемы фотоэнергетики растений и повышение урожайности». Львов: Госком СССР по НиТ, 1984, с. 257-258

27. Вассерман, А.Л. Об оценке эффективности действия источников излучения на растения / А.Л. Вассерман, Г.Н. Квашин, В.В. Малышев // Светотехника. – 1986. – № 7. – С.14–16.

Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 39-44

28. Владыкин, И.Р. Повышение эффективности предпосевной обработки семян овощных культур ультрафиолетовым излучением. / Диссертация на соиск. уч. степени канд. техн. наук. М.: РГАЗУ, 1999.

29. Вознесенская, Н.П. Фотосинтез и спектральный состав света / Н.П. Вознесенская. – Москва: Наука, 1965. – 184 с.

30. Воскресенская, Н.П. Фоторегулярные реакции и их вклад в фотосинтетическую деятельность растений. Фотосинтез и продукционный процесс / Н.П. Воскресенская. – Москва: Наука, 1988. – С. 142–153.

31. Годнев, Т.Н. О последствии мощных световых импульсов на устойчивость фотосинтетического аппарата / Т.Н. Годнев, Н.К. Акулович, В.И. Домаш // Исследования по физиологии и биохимии растений: сборник. – Минск: Уражай, 1966. – С. 115–134.

32. Дорошек, А.С. Физиологическое состояние листа как фактор управления световым режимом: тезисы 5-й Всесоюзной конференции по фотоэнергетике / А.С. Дорошек. – Алма-Ата, 1978. – 140 с.

33. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Москва: Колос, 1979. – 419 с.

34. Дымникова, А.Г. Выбор светодиодов и фотодиодов для фотолюминесцентного анализатора / Дымникова А.Г., Беляков М.В. // В сборнике: Энергетика, информатика, инновации - 2019. Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции. В 2-х томах. 2019. С. 427-431.

35. Жилинский, Ю.М. Электрическое освещение и облучение / Ю.М. Жилинский, В.Д. Кумин. – Москва: Колос, 1982. – 272 с.
36. Зайцев, Г.Н. Методика биометрических расчетов / Зайцев, Г.Н. // Наука, 1973, 255с.
37. Зайцев, Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Зайцев Г.Н. // Наука. – 1973. – С. 1-256.
38. Зиенко, С.И. Особенности оптической среды поверхности семян растений / Зиенко С.И., Беляков М.В. // Прикладная физика. 2021. № 6. С. 47-52.
39. Ильин, О.В. Экосистемы третьего тысячелетия – интенсивная производственная светокультура: труды II Международной конференции «Регуляция роста, развития и продуктивности растений» / О.В. Ильин, Т.О. Ильина, С.А. Панов, А.Н. Самодурова, Д.Е. Коваленко – Минск, 2001. – С. 56–57.
40. Ильин, О.В. Энергосберегающие фитотехнологии – основа интенсивной светокультуры растений. Использование новой гидропонно-осветительной установки и агротехнологии выращивания сельскохозяйственных культур / О.В. Ильин // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – Ч. 2. – С. 99–104.
41. Информационный портал огородникам. Земляника сорта Брайтон [Электронный ресурс]. URL: <http://ogorodnikam.com/sadovye-rasteniya/yagodnye/klubnika-brajton/#i> (дата обращения: 15.06.2023)
42. Кабанен, Т.В. Энергосберегающие светотехнические установки и оборудование для многоярусных узкостеллажных тепличных технологий: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве / Кабанен Т.В. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2008. – 19 с.

43. Карпов, В.Н. Энергосбережение в оптических электротехнологиях АПК. Прикладная теория и частные методики / В.Н. Карпов, С.А. Ракутько. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2009. – 100 с.
44. Каюмов, М.К. Программирование урожаев с/х культур. / Каюмов М.К. - М.: Агропромиздат, 1989.- 320 с
45. Кирилин, Н.И. Расчет оптико-электронных систем автоматического контроля управления сельскохозяйственными процессами. / Кирилин Н.И., Смирнова Т.Б. - М.: МГАУ, 1993, с. 61
46. Клешнин, А.Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений / А.Ф. Клешнин. – Москва: Изд-во АН СССР, 1954. – 456 с.
47. Ключка, Е.П. Биотехническая система оптических электротехнологий переменного облучения растений / Е.П. Ключка, Г.В. Степанчук // Международный сборник научных трудов Донской аграрной научно-практической конференции «Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы» / Высокоэффективные технологии и технические средства в сельском хозяйстве. – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. – С. 149–152.
48. Ключка, Е.П. Методика расчета облучательной установки переменного облучения культивационных сооружений / Е.П. Ключка, Г.В. Степанчук // Электротехнические комплексы и системы управления. – Воронеж, 2011. – № 2 (22). – С. 40–45.
49. Ключка, Е.П. Направления развития электротехнологий переменного облучения растений: научная дискуссия: вопросы технических наук: материалы IV Международной заочной научно-практической конференции (12 ноября 2012) / Е.П. Ключка. – Москва: Изд-во Международный центр науки и образования, 2012. – С. 57–64.
50. Ключка, Е.П. Оптические электротехнологии переменного облучения растений для тепличного производства / Е.П. Ключка, Г.В. Степанчук // Пленарные доклады и тезисы сообщений Международной научно-практической конференции «Инновационные



энергоресурсосберегающие технологии». – Москва: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2012. – С. 119–120.

51. Ключка, Е.П. Способы создания переменного облучения растений / Е.П. Ключка, Г.В. Степанчук, Н.Е. Пономорева // Пленарные доклады и тезисы сообщений Международной научно-практической конференции «Инновационные энергоресурсосберегающие технологии». – Москва: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2012. – С. 113–114.

52. Ключка, Е.П. Энергосберегающий принцип для создания светового режима, повышающего продуктивность фотосинтеза растений защищенного грунта / Е.П. Ключка, Г.В. Степанчук // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – № 67 (03). – 10 с.

53. Коваленко, О.Ю. Повышение эффективности применения газоразрядных ламп низкого давления в УФ облучательных установках в животноводстве. / Коваленко, О.Ю. // Автореферат на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Саранск, Морд. ГУ, 1991

54. Козинский, В.А. Карусельная установка / В.А. Козинский. – Москва: Картофель и овощи, 1966. – С. 10–12.

55. Козинский, В.А. Электрическое освещение и облучение / В.А. Козинский. – Москва: Колос, 1991. – 240 с.

56. Кондратьева, Н.П. Коэффициент мощности облучательных установок, работающих в комбинированном режиме / Кондратьева Н.П. // Труды НПК «Актуальные проблемы электромеханизации производственных процессов в АПК УР и пути их решения в условиях современной рыночной экономики». Ижевск: ИжГСХА: «Шеп», 2001, с. 59-63

57. Кондратьева, Н.П. Повышение эффективности электрооблучения растений в защищенном грунте: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве / Н.П. Кондратьева – Москва, 2003. – 24 с.

58. Кондратьева, Н.П. Светодиодная система для облучения меристемных растений / Валеев Р.А., Юран С.И., Н.П. Кондратьева, Владыкин И.Р., Логинов В.В., Кондратьев Р.Г., Маркова М.Г. // Патент на полезную модель RU 127286 U1, 27.04.2013. Заявка № 2012130687/13 от 17.07.2012.

59. Кондратьева, Н.П. Управление поливом растений в защищенном грунте по дозе фотосинтетически активной радиации / Н.П. Кондратьева, Л.П. Шичков, И.Р. Владыкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 7. – С. 5–6.

60. Кондратьева, Н.П. Энергоресурсосберегающие электротехнологии и электрооборудование на предприятиях агропромышленного комплекса / Н.П. Кондратьева, Юран С.И., Владыкин И.Р., Баранова И.А., Козырева Е.А., Баженов В.А. // В сборнике: Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе. Материалы регионального научно-практического семинара. 2016. С. 304-312.

61. Конев, С.В. Фотобиология / С.В. Конев, И.Д. Волотовский. – Минск: Изд-во БГУ им. В.И. Ленина, 1979. – 284 с.

62. Коняев, Н.Ф. Продуктивность растений и площадь листьев / Н.Ф. Коняев. – Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1970. – 19 с.

63. Корж, Б.В. Использование коротких серий импульсного освещения для изучения процессов фотосинтеза дыхания зеленых растений на свету. Корж, Б.В. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Л.: 1976, 194 с.

64. Корж, Б.В. К вопросу выращивания растений при импульсном освещении / Б.В. Корж // Фотоэнергетика растений. – Ама-Ата, 1978. – С. 128–129.

65. Косицын, О.А. Математическая модель энергетики искусственного облучения растений (Зависимость удельных затрат энергии на единицу фитомассы от продолжительности выращивания рассады в теплицах)

/ О.А. Косицын // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – № 5. – С. 20–21.

66. Кочубей, С.М. Спектральные свойства растений как базис для дистанционных методов диагностики / С.М. Кочубей, Н.И. Кобец, Т.М. Шадчина. – Киев: Наукова думка, 1990. – 260 с.

67. Кузнецов, О.Н. Разработка генераторов импульсов и исследование режимов искусственного облучения растений. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Л.: Пушкин, 1971.

68. Леман, В.М. Курс светокультуры растений / В.М. Леман. – Москва: Высшая школа, 1976. – 272 с.

69. Леман, В.М. О накоплении сухого вещества при переменном освещении / В.М. Леман, И.И. Богачева // Проблемы фотосинтеза: сборник. – Москва: Изд-во АН СССР, 1959. – 58 с.

70. Лямцов, А.К., Тищенко Г.А. Электроосветительные и облучательные установки. М.: Колос, 1983, 224с.

71. Малышев, В.В. Прогнозирование урожаев при светокультуре возможно / В.В. Малышев // Мир теплиц. – 2005. – № 3. – С. 55–56

72. Малышев, В.В. Современная светотехника для теплиц / В.В. Малышев, А.К. Лямцов // Автоматизация сельскохозяйственного производства: сборник докладов Международной научно-технической конференции. – Углич: Изд-во Известия, 2004. – Ч. 2. – С. 457–466.

73. Матвеев, А.Б. Облучательные установки фотофизического и фотохимического действия / А.Б. Матвеев, С.М. Лебедкова. – Москва: МЭИ, 1996. – 69 с.

74. Матвеев, А.Б. Электротехнические облучательные установки фитобиологического действия / А.Б. Матвеев, С.М. Лебедкова, С.Н. Петров. – Москва: МЭИ, 1989. – 91 с.

75. Молчанов, А.Г. Влияние переменного оптического облучения на рассады огурцов и томатов в зимних теплицах: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 –

Электрификация сельскохозяйственного производства / Молчанов А.Г. – Ставрополь, 1985. – 128 с.

76. Морозов, В.А. Комплекс для регистрации биопотенциалов растений: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий / Морозов В.А. – Ижевск. – 2005. – 165 с.

77. Ничипорович, А.А. Реализация регуляторной функции света в жизнедеятельности растения как целого и в его продуктивности / А.А. Ничипорович // Фоторегуляция метаболизма и морфогенеза растений: сборник научных трудов. – Москва: Наука, 1975. – 125 с.

78. Ничипорович, А.А. Фотосинтез и вопросы продуктивности растений / А.А. Ничипорович. – Москва: Наука, 1963. – 158 с.

79. Ничипорович, А.А. Энергетическая эффективность фотосинтеза и продуктивность растений / А.А. Ничипорович. – Пушкино, 1979. – 38 с.

80. Обухов, С.Г. Коэффициент мощности импульсных регулирующих устройств / Обухов, С.Г. – Электричество, 1965, № 11, с. 36.

81. Овчукова, С.А. Применение оптического излучения в сельскохозяйственном производстве. / Дисс. на соиск. уч. ст. доктора техн. наук. Москва: ВИЭСХ. - 2001. - 351 с.

82. Петрова, Л.Н. Ориентация листьев, структурная организация фотосинтетического аппарата, продуктивность и качество зерна озимой пшеницы / Л.Н. Петрова, Ф.В. Ерошенко // Научный журнал КубГАУ. – № 24 (8). – декабрь 2006.

83. Прищеп, Л.Г. Эффективная электрификация защищенного грунта / Л.Г. Прищеп. – Москва: Колос, 1980. – 208 с.

84. Проблемы фотоэнергетики растений / А.А. Шахов, Н.С. Балаур. – Кишнев: Штиинца, 1974. – 285 с.

85. Проблемы фотоэнергетики растений / А.А. Шахов, Н.С. Балаур. – Кишнев: Штиинца, 1974. – 285 с.

86. Протасова, Н. Н. Значение отдельных участков спектра для фотосинтеза, роста и продуктивности растений (при облучении, выповненной по энергии или числу квантов). / Протасова, Н. Н. // Информационный бюллетень «Тепличный сервис», 1995, № 6-7, с.24-25

87. Протасова, Н.Н. Рост растений и содержание гормонов в зависимости от спектрального состава света / Н.Н. Протасова, Р.А. Карначук, И.Ф. Головацкая; под ред. Р.К. Саляева и В.И. Кефели // Рост и устойчивость растений. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 71–81.

88. Протасова, Н.Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения. / Протасова, Н.Н., Уеллс Дж. М., Дубровольский М.В., Цоглин Л.Н. // Физиология растений, 1990, т. 37, вып. 2, с. 386-396.

89. Ракутько, С.А. Геометрическая структура растений и оптимальный радиационный режим / С.А. Ракутько // Научный журнал «Исследовано в России». – 2008. – № 39. – С. 439–447.

90. Ракутько, С.А. Определение защитного угла светильника с произвольным светораспределением и его влияние на качество создаваемого освещения / С.А. Ракутько // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сборник научных трудов. – Ульяновск: Ульяновская ГСХА, 2008. – С. 167–173.

91. Ракутько, С.А. Оптимизация и оптимальный радиационный режим / С.А. Ракутько // Научный журнал «Исследовано в России» КубГАУ. – № 24 (8). – 2006.

92. Ракутько, С.А. Энергоемкость как критерий оптимизации технологических процессов / С.А. Ракутько // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 12. – С. 54–56.

93. Ракутько, С.А. Повышение эффективности оптических электротехнологий в АПК путем снижения энергоемкости этапов технологического процесса облучения / Дисс.на соиск.уч.ст.доктор техн.наук. Санкт-Петербург—Пушкин. 2010

94. Рихтер, А.А. К вопросу о механизме фотосинтеза / А.А. Рихтер // Издательство Академии Наук. – 1914. – Серия VI. – Т. 12. – С. 215–234.

95. Салыги, В.И. Автоматизированные системы управления технологическими режимами. Идентификация и оптимальное управление / под ред. В.И. Салыги. – Харьков: Харьковский государственный университет, 1976. – 179 с.

96. Свентицкий, И.И. Энергетические основы использования оптического излучения в растениеводстве. / Свентицкий И.И. // Дисс. на соис. уч. ст. доктора техн. наук. М.: ВИЭСХ, 1993, 53с

97. Скрипчинский, В.В. Фотопериодизм – его происхождение и эволюция / В.В. Скрипчинский. – Ленинград: Наука, 1975. – 299 с.

98. Сомова, Е.Н. Использование экспериментальных светодиодных фитооблучателей в размножении земляники садовой *in vitro* / Сомова Е.Н., Маркова М.Г. // В сборнике: Современные направления и технологии в садоводстве, питомниководстве и овощеводстве. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения М.Г. Концевого. Ижевск, 2022. С. 92-99.

99. Судник, Ю. А. Изменение быстрой фазы флуоресценции хлорофилла при созревании помидоров / Ю. А. Судник, М. А. Абделхамид, В. В. Строкина // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 1(42). – С. 80-85.

100. Суринский, Д.О Технико-экономическая эффективность использования энергосберегающего светодиодного электрооптического преобразователя ЭСЭП для мониторинга насекомых-вредителей / Д. О. Суринский, А. И. Марандин // АгроЭкоИнфо. – 2021. – № 5(47).

101. Тимирязев, К.А. Космическая роль растений. / К.А. Тимирязев // В сб. : Солнце, жизнь и хлорофилл. М-Петроград: Госиздат, 1923, 324 с.

102. Тимирязев, К.А. Растение и солнечная энергия. Избранные сочинения / К.А. Тимирязев. – Москва: Сельхозгиз, 1948. – Т. 1. – С. 107–167.

103. Тимирязев, К.А. Физиология растений как основа рационального земледелия. Избранные сочинения / К.А. Тимирязев. – Москва: Сельхозгиз, 1948. – Т. 2. – С. 41–86.
104. Тихомиров, А.А. Спектральный состав света и продуктивность растений / А.А. Тихомиров, Г.М. Лисовский, Ф.Я. Сидько. – Новосибирск: Наука Сибирское отделение, 1991. – 168 с.
105. Тооминг, Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х.Г. Тооминг. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 199 с.
106. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х.М. Торили; пер. с англ. А.С. Каменского; под ред. Ф.И. Ерешко. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
107. Шахов, А.А. Некоторые биофизические и биохимические аспекты действия фотоимпульсов / А.А. Шахов. – В книге «Светоимпульсное облучение растений». – Москва: Наука, 1967. – С. 11–34.
108. Шахов, А.А. Фотоэнергетика растений и урожай / А.А. Шахов. – Москва: Наука, 1993. – 410 с.
109. Шульгин, И.А. Архитектура растений и продукционный процесс в оптимальных условиях / И.А. Шульгин // Фотосинтез и продукционный процесс. – Москва: Наука, 1988. – С. 213–218.
110. Шульгин, И.А. К структурной организации листа как оптико-фотосинтезирующей системе / И.А. Шульгин, А.А. Ничипорович, С.В. Климов // Физиология растений. – 1977. – № 2. – Т. 24. – С. 31–34.
111. Шульгина, Л.М. Прерывистое облучение растений / Л.М. Шульгина, В.И. Атаманов, М.А. Цеханский // Сельский механизатор. – 2002. – № 2. – С. 35.
112. Юферев, Л.Ю. Анализ спектров поглощения электромагнитного излучения пигментами растений / Довлатов И.М., Юферев Л.Ю. // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 2 (31). С. 146-153.
113. Юферев, Л.Ю. Применение энергосберегающего ультрафиолетового электрооборудования в сельском хозяйстве /

Юферев Л.Ю. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 69-75.

114. Юферев, Л.Ю. Устройство управления блоком светодиодов / Юферев Л.Ю., Карамурзов Б.С., Кармоков А.М., Каздохов А.Б., Шахраманьян М.А. // Патент на полезную модель RU 177886 U1, 15.03.2018. Заявка № 2017104452 от 10.02.2017.

115. Юферев, Л.Ю. Энергосберегающее освещение сельскохозяйственных помещений и расчет его параметров / Юферев Л.Ю. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 3. С. 28-34.

116. Baturin, A.I. Effect of pulse radiation of meristemic rose plants / A.I., Kondratyeva N.P., Bolshin R.G., Krasnolutsкая M.G., Baturina K.A., Kirillin N.K., Ovchukova S.A., Zaitsev P.V.

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

118. Biggs, W.W. Principles of radiation measurement / Biggs W.W. // Advanced Agricultural Instrumentation. Proceedings from the NATO Advanced Study Institute, The Netherlands, 1984.

119. Wilhelm, P. Comparison of Curvatures and Dorsiventrality. / Wilhelm P. // Differenzierung und Entwicklung. Encyclopedia of Plant Physiology. Differentiation and Development. Part III. Growth, Development, Movement (in German). Vol. 15/1. Heidelberg: Springer-Verlag. p. 370.

120. Выращивание клубники в Израиле [Электронный ресурс]. URL: <https://bangkokbook.ru/zametki/klubnika-izrail-97-foto.html> (дата обращения: 23.02.2023)

121. Светодиодные биосветильники для теплиц [Электронный ресурс]. URL: <https://ecoledbio.ru/?yclid=17276684189130555391> (дата обращения: 17.05.2022)



122. Выращивание клубники [Электронный ресурс]. URL: <https://fermer.ru/blog/12864/kak-vyrashchivayut-klubniku-v-izraile-99499> (дата обращения: 21.07.2022)
123. Земляника садовая Брайтон [Электронный ресурс]. URL: <https://pokayadoma.ru/foto/zemlyanika-brajton-opisanie-sorta.html> (дата обращения: 02.11.2022)
124. Светодиоды [Электронный ресурс]. URL: [https://www.radio18.ru/catalog/luxeon\\_star\\_o/119836/](https://www.radio18.ru/catalog/luxeon_star_o/119836/) (дата обращения: 20.08.2023)
125. Выращивание земляники. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ecoportal.org.ua/sort/klubnika-karolina/> (дата обращения: 24.04.2023)
126. Кривая МкКри [Электронный ресурс]. URL: <https://www.redusystems.com/ru/publikatsii/kazhdyu-diapazon-far-izlucheniya-imeyet-opredelennuyu-funktsiyu-dlya-urozhaya> (дата обращения: 03.09.2022)
127. Научно-техническое предприятие ТКА [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tkaspb.ru/> (дата обращения: 18.03.2021)
128. Hughes, J.E., Morgan, D.C., Lambton, P.A., Black, C.R., Smith, H., 1984. Photoperiodic time signals during twilight. *Plant. Cell Environ* 7, 269–277.
129. Murashige, T. Plant tissue and cell culture application to crop improvement / Murashige T. // Prague : Czechosl. Acad. Sci.- 1984.- P. 23 - 32.
130. Olle, M. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality / Olle, M., Virsile A. // *Agricultural and Food Science*. 2013. V. 22. Issue 2. P. 223-234
131. Kotilainen, T.B. Patterns in the spectral composition of sunlight and biologically meaningful spectral photon ratios as affected by atmospheric factors / T.B. Kotilainen,\* , P.J. Aphalo , СС. Brelforda , H. Bööke , S. Devrajd , A. Heikkiläc , R. Hernándezе , A. Kyllingf , AV. Lindforsc , TM. Robson.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 725 486** <sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
A01G 7/04 (2006.01)  
H02J 3/01 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
A01G 7/04 (2020.01); H02J 3/01 (2020.01)

(21)(22) Заявка: 2019117195, 03.06.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
03.06.2019Дата регистрации:  
02.07.2020Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 03.06.2019

(45) Опубликовано: 02.07.2020 Бюл. № 19

Адрес для переписки:  
607684, Нижегородская обл., Кстовский р-н, д.  
Черемисское, ул. Лазурная, 23, Филатову  
Дмитрию Алексеевичу

(72) Автор(ы):

Филатов Дмитрий Алексеевич (RU),  
Кондратьева Надежда Петровна (RU),  
Большин Роман Геннадьевич (RU),  
Батурин Андрей Иванович (RU),  
Корепанов Роман Игоревич (RU),  
Ильясов Ильнур Раилевич (RU),  
Бузмаков Даниил Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Филатов Дмитрий Алексеевич (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: АЛФЕРОВ А.А. и др. Влияние  
светодиодных источников света на  
содержание гармоник тока и напряжения  
промышленных предприятий//  
Электротехника и энергетика, N 3(66),  
29.07.2016, с.67-73. CN 104410099 B, 14.07.2017.  
CN 107069726 A, 18.08.2017. RU 180919 U1,  
29.06.2018. RU 2187872 C1, 20.08.2002.

(54) Способ снижения энергоемкости светодиодной системы облучения (освещения) растений

(57) Реферат:

Изобретение относится к области светотехники и сельского хозяйства. Способ включает проведение экспериментальных исследований фактического гармонического состава тока и коэффициента мощности источников света. По коэффициенту мощности определяют нормированное общее искажение по току для заданного источника света. Определяют фактическое общее искажение по току для заданного источника света, величину избыточного гармонического искажения по току.

Упорядочивают фактические гармоники тока по величине от большего значения к меньшему значению. Минимальную необходимую величину и частоту гармоник тока фильтра гармоник определяют путем перебора упорядоченного спектра гармоник до величины, не превышающей нормированного уровня общего гармонического искажения по току. Формируют настраиваемые параметры фильтра гармоник. Способ позволяет снизить энергоемкость светодиодной системы. 2 ил., 2 табл., 1 пр.

RU 2 7 2 5 4 8 6 C 1

RU 2 7 2 5 4 8 6 C 1

УТВЕРЖДАЮ  
 проректор по научной работе  
 и стратегическому развитию  
 ФГБОУ ВО «Ижевская государственная  
 сельскохозяйственная академия»,  
 д.с.-х.н., профессор Коконов С.И.  
 «06» 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ  
 директор ФГБУН «Удмуртский  
 федеральный исследовательский центр  
 УрО РАН», д.ф.-м.н. М.Ю. Альес  
 «06» 2022 г.

### ПРОТОКОЛ

LED светодиодные фитооблучательные установки с системой изменения скважности по заданной программе, разработанные представителями ФГБОУ ВО Ижевской ГСХА, испытывались при выращивании меристемных растений земляники садовой «Корона» на этапе пролиферации (нарастания площади листьев) в меристемной лаборатории УдмНИИСХ структурного подразделения ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН. Испытывались три фитооблучательные установки: LED фитооблучательная установка, работающая в импульсном режиме облучения мощностью 30 Вт (LED имп.ФОУ); LED фитооблучательная установка, работающая в непрерывном режиме облучения мощностью 30 Вт (LED непр. ФОУ); люминесцентная фитооблучательная установка (ЛФОУ), работающая в непрерывном режиме облучения мощностью 40 Вт (контроль).

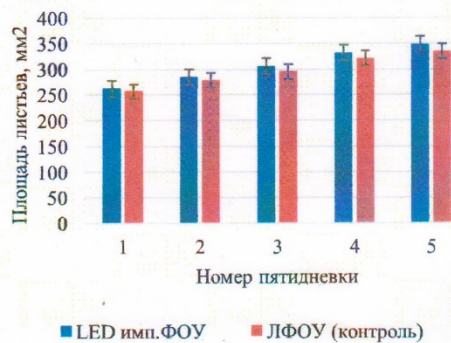
Данные экспериментов снимались 5 раз через каждые 5 дней с четырехкратной повторностью. Под каждой фитооблучательной установкой выращивалось 33 растения.

Начало эксперимента 12 декабря 2019 года, окончание 31 марта 2020 года. В меристемной лаборатории поддерживалась температура в пределах  $+25\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Результаты приведены в таблице.

Таблица. Динамика изменения средней площади листьев меристемной земляники садовой «Корона»

Номер пятидневки	Площадь листьев, мм <sup>2</sup>	
	LED имп.ФОУ	ЛФОУ (контроль)
1	262,12±11,5	256,81±12,4
2	285,13±12,2	278,96±12,8
3	306,02±13,1	296,14±13,4
4	331,56±14,5	321,55±14,1
5	348,06±15,4	335±15,1

Рисунок. Земляника садовая сорта «Корона». Этап наращивания площади листьев (пролиферация)




Результаты исследований показывают, что использование LED светодиодной фитооблучательной установки (LED имп.ФОУ) с системой изменения скважности по заданной программе позволяет улучшить биометрические показатели меристемных растений и способствуют значительной экономии электрической энергии до 68%.

Руководитель исследований:  
 д.т.н., профессор Кондратьева Н.П.  
 Исполнитель: аспирант Батуринов А.И.

Руководитель УдмНИИСХ  
 д.с.-х.н., профессор Леднев А.В.  
 Заведующий меристемной лабораторией  
 УдмНИИСХ  
 ст. научный сотрудник Сомова Е.Н.

УТВЕРЖДАЮ  
 проректор по научной работе  
 и стратегическому развитию  
 ФГБОУ ВО «Ижевская государственная  
 сельскохозяйственная академия»,  
 д.с.-х.н., профессор Коконев С.И.

«05» 06 2022 г.



УТВЕРЖДАЮ  
 директор ФГБУН «Удмуртский  
 федеральный  
 исследовательский центр  
 УрО РАН»  
 д.ф.-м.н. М.Ю. Алеев

«05» 06 2022 г.



### АКТ

#### о внедрении результатов научных исследований

Настоящий акт свидетельствует о внедрении законченной научно-исследовательской работы по влиянию различных по спектральному составу облучательных установок на рост и развитие меристемной земляники садовой сорта «Корона» и земляники ремонтантной сорта «Брайтон».

Испытывались три фитооблучательные установки: LED фитооблучательная установка, работающая в импульсном режиме облучения мощностью 30 Вт (LED имп.ФОУ); LED фитооблучательная установка, работающая в непрерывном режиме облучения мощностью 30 Вт (LED непр. ФОУ); люминесцентная фитооблучательная установка (ЛФОУ), работающая в непрерывном режиме облучения мощностью 40 Вт (контроль).

Результатом законченной научно-исследовательской работы является LED фитооблучательная установка (LED имп. ФОУ) с системой работы в импульсном режиме облучения, показавшая наилучшие результаты

Предлагаемая светодиодная фитоустановка обеспечивает увеличение площади листьев меристемной земляники на этапе пролиферации более чем в 1,13 раз относительно контроля.

Экономический эффект при использовании светодиодной фитоустановки выражается в экономии электрической энергии до 68% при улучшении качества меристемной земляники садовой.

Установка разработана д.т.н., профессором Кондратьевой Надеждой Петровной, аспирантом Батуриным Андреем Ивановичем.

Представители ФГБОУ ВО ИжГСХА

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

*И. Кондратьева*

Исполнитель  
 аспирант Батурин А.И.

*А.И. Батурин*

Представители ФГБУН УдмФИЦ  
 УрО РАН

Руководитель УдмНИИСХ  
 д.с.-х.н., профессор Леднев А.В.

*А.В. Леднев*

Заведующий меристемной лабораторией  
 УдмНИИСХ

ст. научный сотрудник Сомова Е.Н.

*Е.Н. Сомова*