


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт электроники и светотехники
Кафедра информационной безопасности и сервиса


УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой
канд. техн. наук, доц.


(подпись) С. Н. Ивлиев
« 6 » 06 2020.


БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА


**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ОБРАБОТКИ
КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ТЕПЛИЧНЫХ ХОЗЯЙСТВАХ**

Автор бакалаврской работы 
(подпись) 06.06.2020
(дата) Е.М. Мигачева

Обозначение бакалаврской работы БР-02069964-43.03.01-12-20

Направление 43.03.01Сервис

Руководитель работы 
(подпись) 06.06.2020
(дата) С.А. Шиков
ст. преп.

Нормоконтролер 
(подпись) 06.06.2020
(дата) Д. А. Салкин
канд. физ.-мат. наук, доц.

Саранск
2020

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт электроники и светотехники
Кафедра информационной безопасности и сервиса

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой
канд. техн. наук, доц.

 С.Н. Ивлиев
(подпись)

«25» 11 2019 г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

(в форме бакалаврской работы)

Студент Мигачева Екатерина Михайловна

1 Тема: «Разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах»

Утверждена приказом № 9386-с от 27.11.2019

2 Срок представления работы к защите 06.06.2020

3 Исходные данные для выпускной квалификационной работы: техническая литература, нормативная документация.

4 Содержание выпускной квалификационной работы:

4.1 Теоретические основы развития растений в тепличных хозяйствах.

4.2 Современные требования и возможности систем мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах.

4.3 Разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах.

5 Приложения:

5.1 Код программного обеспечения

5.2 Чертеж светильника для автоматизированной системы

Руководитель работы
ст. преп.

 27.11.2019
подпись, дата

С.А. Шиков

Задание принял к исполнению  24.11.2019.
подпись, дата

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 88 страниц, 34 рисунка, 4 таблицы, 50 использованных источников, 2 приложения.

СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ, МОНИТОРИНГ, ПАРАМЕТРЫ, ТЕПЛИЧНЫЕ ХОЗЯЙСТВА, СВЕТИЛЬНИК, PROTEUS, ДАТЧИК, ТЕМПЕРАТУРА, ФОТОСИНТЕЗ, УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ, СПЕКТР.

Объектом разработки является система мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах.

Цель работы — разработкаи системы мониторинга и обработки климатических параметров.

В процессе работы проводились исследования теоретических основ развития растений в тепличных хозяйствах.

В результате проведенной работы была разработана система мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах.

Степень внедрения — частичная.

Область применения — мониторинг и обслуживание тепличных хозяйств.

Эффективность — разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров позволит эффективно отслеживать используемые ресурсы и улучшить урожай выращиваемых растений.

					БР-02069964-43.03.01-12-20			
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Мизачева	<i>[Подпись]</i>	06.08		Д	4	88
Провер.		Шиков	<i>[Подпись]</i>	06.08				
Н. Контр.		Салкин	<i>[Подпись]</i>	08.08				
Утверд.		Ивлиев	<i>[Подпись]</i>	09.08				
						ИЭС, каф. ИБ и С, д\о, 481		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Теоретические основы развития растений в тепличных хозяйствах	9
1.1 Фотобиологические процессы при воздействии оптического излучения на растения	9
1.2 Влияние спектрального состава света на рост и развитие растений	15
1.3 Обоснование параметров системы мониторинга микроклимата в тепличных хозяйствах	19
2 Современные требования и возможности систем мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах	15
2.1 Требования к системе мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах	24
2.2 Обзор современных систем управления микроклиматом	30
2.3 Светильники и системы сбора данных используемых в системе мониторинга и обработки климатических параметров	38
2.4 Обзор существующих разработанных систем	41
3 Разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах	46
3.1 Математическая модель автоматического управления микроклимата в теплице	46
3.2 Разработка прикладного программного обеспечения	56
3.3 Разработка схемотехники и моделирование в среде Proteus	60
3.4 Разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров	69
3.4.1 Среда проектирования устройства мониторинга и обработки	69
3.4.2 Разработка системы автоматического сбора данных управления досвечиванием	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73

					БР–02069964–43.03.01–12–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	74
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Код программного обеспечения	81
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Чертеж светильника для автоматизированной системы	88

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

ВВЕДЕНИЕ

Основой роста растений является процесс фотосинтеза, который зависит от условия окружающей среды растения – микроклимата. Человечество давно заметило особенности выращивая тех или иных видов культур. Влажность почвы, солнечный свет, температура и другие факторы, влияющие на рост.

Ежегодно тепличному комплексу — его автоматизации, уделяется огромное количество ресурсов. Управление микроклиматом теплицы одна из важнейших проблем современности. Правильно подобранный микроклимат для каждого типа растений позволит эффективно использовать имеющиеся ресурсы. На сегодняшний день системы автоматизации управления микроклиматом внедряются по всему миру.

Актуальность работы тесно связана с увеличением объемов продукции, выращиваемой в тепличные хозяйства. Системы автоматизации тепличных хозяйств упрощают процессы роста растительной продукции. Мониторинг, обработка, управление климатическими параметрами позволяют создавать подходящие условия для растений.

Объектом разработки является система мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах.

Целью работы является разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров.

Задачи, которые ставит данная работа:

а) изучение теоретических основ развития растений в тепличных хозяйствах;

б) изучение современные требований к системам мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах;

в) изучение возможностей существующих систем;

г) разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров.

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Теоретической и методологической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные проблемам диагностирования датчиков, а также работы, посвященные разработке систем обработки аналоговых данных таких авторов, как Козырева И.Н., Малышев В.В. и других.

Информационной базой исследования послужили работы в сфере автоматизации микроклимата тепличных хозяйств.

Практическая ценность бакалаврской работы заключается в том, что разработанная система мониторинга и обработки климатических параметров сможет быть использована в тепличных комплексах.

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1 Теоретические основы развития растений в тепличных хозяйствах

1.1 Фотобиологические процессы при воздействии оптического излучения на растения

Влияние оптическое излучение на растения многосторонне. Ясно, что в основе всех процессов фотобиологического действия оптическое излучение лежат фотохимические реакции, которые протекают в клетках в результате поглощения ими солнечного излучения. Краткая справка о некоторых из них приведена ниже.

У растений специальным органом фотосинтетической деятельности служит лист, где находятся специализированные структуры клетки — хлоропласты, содержащие пигменты и другие компоненты, необходимые для процессов поглощения и преобразования энергии света в химический потенциал.

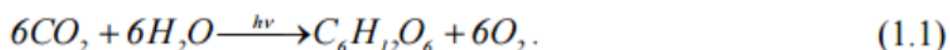
Листья растений поглощают видимое, часть ультрафиолетового излучения и синтезируют органические вещества из минеральных (фотосинтез). Растения имеют различные комбинации пигментов. Основными пигментами растений, обеспечивающими поглощение лучистой энергии и ее использование на построение биомассы, являются зеленые пигменты — хлорофиллы *a* и *b*. Менее эффективную роль в поглощении и преобразовании энергии на фотосинтез играют желтые пигменты — каротиноиды.

Путь превращения энергии оптическое излучение в процессе фотосинтеза в химическую энергию у всех видов растений одинаков: за счет восстановления углекислого газа до углеводов энергия оптическое излучение трансформируется в химическую энергию органических молекул. Конечными продуктами фотосинтеза являются различные органические вещества — углеводы, белки, жиры и т. д. оптическое излучение является источником энергии, углекислый газ — источником основного строительного материала растения, а вода —

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР–02069964–43.03.01–12–20				

источником водорода при синтезе органических молекул (и кислорода — для атмосферы).

Накопление энергии в процессе фотосинтеза связано с химическими и электронными преобразованиями компонентов. В частности, происходит перестройка химических связей. Связи в молекулах разрываются, и возникает иной тип связей. Уравнение фотосинтеза обычно записывают в виде:



Фотосинтетическая деятельность растений зависит от многих факторов, прежде всего от условий освещения (интенсивность и спектральный состав), доступность и концентрация углекислого газа, условий водоснабжения и минерального питания. Факторы внешней среды приводят к изменению активности фотосинтетических процессов (воздействуя на отдельные реакции фотосинтеза), что, в конечном счете, определяет общую продуктивность растений.

Различают световую и темновую стадии фотосинтеза, так как часть элементарных реакций фотосинтеза может протекать только при освещении, а часть в темноте:

- световая стадия — окисление воды с образованием кислорода, водорода и запасанием энергии;

- темновая стадия — восстановления CO_2 (благодаря запасенной энергии углекислый газ соединяется с водородом и образуются молекулы углеводов).

Когда пигменты поглощают оптическое излучение в различных участках спектра, возникает понятие о спектре действия фотосинтеза. Для его определения измеряют ответную реакцию, например, поглощенный CO_2 или выделенный O_2 .

Величины, характеризующие эффективность превращения энергии оис в химическую:

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

БР-02069964-43.03.01-12-20

- энергетический выход фотосинтеза — отношение количества энергии, запасенной растением в виде энергии химических связей к общему количеству энергии, поглощенной растением за определенное время.

- квантовый выход — число молекул выделенного O₂ (или поглощенного CO₂) при поглощении одного кванта света.

Современные представления о процессах фотосинтеза основаны на существовании в растениях, так называемых фотосистем — неких центров, в которых происходит поглощение и запасание солнечной энергии (энергии оптического излучения), и ее расходование на фотохимические превращения.

Фотосистема содержит около 250 молекул пигментов, способных поглощать свет. Главная функция пигментов состоит в поглощении энергии света. Источником энергии служит электромагнитное излучение видимой области спектра с энергией 1—3 эВ (ФАР). Однако только молекула хлорофилла *a* может использовать поглощенную энергию в фотохимических реакциях, то есть является реакционным центром фотосистемы. Молекулы других пигментов не участвуют в фотохимической реакции, а только передают поглощенную световую энергию реакционному центру. Существует два типа фотосистем. В первой (I) молекула хлорофилла *a*, составляющая реакционный центр, имеет оптимальное, с точки зрения затрат энергии, поглощение при длине волны 700 нм (P700), а в более распространенной фотосистеме (II) — при 680 нм (P680). Когда эта фотосистема поглощает свет, то молекула P680 переходит в возбужденное состояние и два, принадлежащих этой молекуле, электрона, переносятся на молекулу акцептора. Следующий этап состоит в том, что окисленный P680 забирает недостающие электроны от молекулы воды, которая расщепляется на 2H⁺ и 1/2O₂ (фотолиз воды).

Хлорофиллы поглощают в основном фиолетовой и красной областях спектра (рис. 1.1), а каротиноптическое излучение преимущественно в синей области спектра (рис. 1.2).

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР-02069964-43.03.01-12-20					

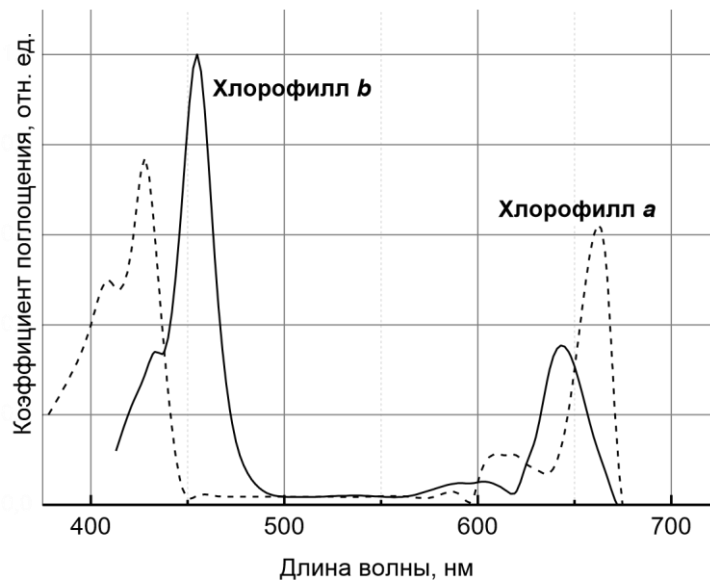


Рисунок 1.1 — Спектры поглощения хлорофиллов *a* и *b*, растворенных в диэтиловом эфире

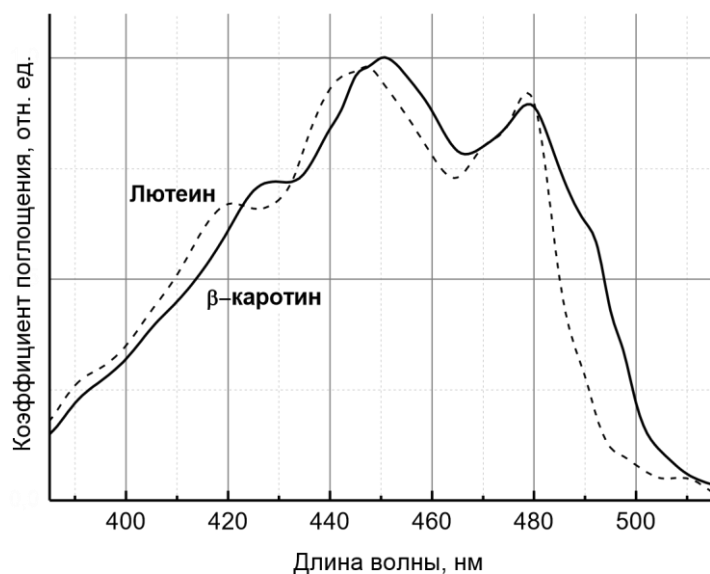


Рисунок 1.2 — Спектры поглощения каротина в гексане и лютеина в этаноле

Поскольку для осуществления фотосинтеза необходимо перевести в возбужденное состояние молекулы хлорофилла *a*, то для осуществления этой реакции может быть достаточно оптическое излучение в области 680 нм. Следует отметить, что использование такого длинноволнового оптического излучения с энергетической точки зрения наиболее выгодно. Например, энергия

поглощенного кванта при $\lambda=680$ нм составляет 1,82 эВ, а при $\lambda=400$ нм — 3,1 эВ. Разница в 1,28 эВ (эта энергия, возможно, большей частью переходит в тепловую энергию) оказывается существенной, так как почти в два раза больше световой энергии должно тратиться на возбуждение процесса фотосинтеза при облучении в области коротковолновых полос поглощения растений.

Однако облучением источниками с однородным монохроматическим излучением не удастся получить полноценных растений [24]. Поскольку интенсивность фотосинтеза зависит от многих факторов внешней среды, в том числе от интенсивности фотосинтетически активной радиации и ее спектрального состава. Спектральная интенсивность фотосинтеза может быть неодинаковой даже для растений одного и того же вида, но выращенных в различных условиях или имеющих разный возраст или фазу развития.

Причина заключается в том, что действие оптическое излучение на биологический приемник представляет собой сложную цепь взаимосвязанных процессов, а преобразование энергии излучения в биологическую представляет лишь один из видов этой совокупности процессов. Поэтому эффективность светового воздействия определяется всем комплексом реакций, связанных с преобразованием энергии излучения в биологическую и на рост и развитие растений (например, образование листьев и других органов растений) влияют не только фотосинтез, но и другие физиологические процессы. Скорость этих реакций и, следовательно, эффективность фотосинтетического воздействия, зависит от множества факторов: плотности облучения, стадии развития растения, спектрального состава излучения и других факторов.

Энергия оптическое излучение, которая поглощается листьями растений, расходуется на фотосинтез (наиболее значимая доля), на фотоморфогенез, синтез хлорофилла и другие процессы, а также на нагрев и излучение. Однако из всех фото процессов в растениях наиболее энергоемким является фотосинтез: для его протекания требуются уровни облученности на 1–3 порядка большие, чем, например, для фотоморфогенеза, фотопериодизма и других процессов.

					БР–02069964–43.03.01–12–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Эффективность основных фотохимических процессов зависит от длины волны падающего на растение излучения. Эта зависимость обусловлена тем, что каждому пигменту соответствует свой индивидуальный спектр поглощения и, соответственно, своя спектральная характеристика световой активности возбуждающего излучения. Например, основные пигменты — хлорофилл *a* и *b* поглощают излучение синей и красной спектральных областей (рис. 1.1), каротиноиды — синей (рисунок 1.2).

Поэтому в зависимости от процентного содержания того или иного пигмента, разные растения имеют разную спектральную характеристику чувствительности к световому воздействию. Исследования показали, что многие виды растений имеют близкие требования к спектру. Поэтому, можно построить некую обобщенную спектральную характеристику чувствительности листьев растений (рис. 1.3).

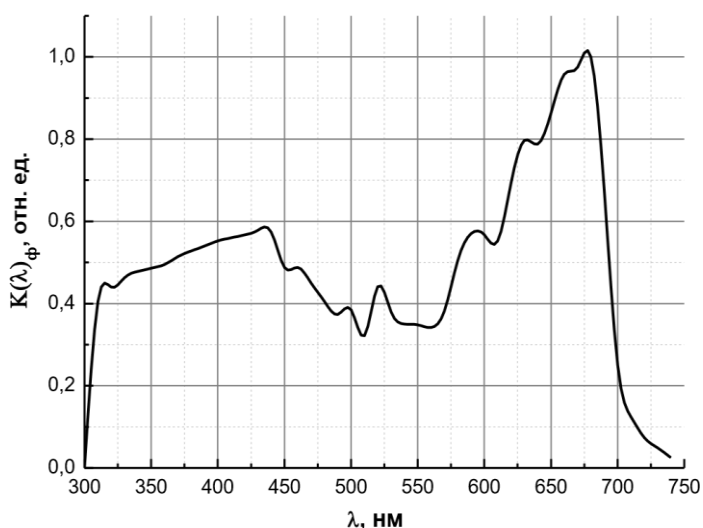


Рисунок 1.3 — Относительная спектральная фотосинтезная эффективность излучения по Свентицкому

Излучение может воздействовать на растения не только как источник энергии, но и как своеобразный регулятор реакций, протекающих в нем под действием света. Примерами таких регулирующих действий света являются фотоморфогенез и фотопериодизм.

Фотоморфогенез — процессы, происходящие в растении под влиянием

излучения различной интенсивности и спектрального состава. В них оптическое излучение выступает не как первичный источник энергии, а как сигнальное средство, регулирующее процессы роста и развития растения.

Фотопериодизм — реакция растения на суточный ритм освещенности, продолжительность светового дня и соотношение между темным и светлым временем суток. Для протекания фотопериодической реакции требуется значительно меньше энергии, чем для фотосинтеза. Оказывать влияние на фотопериодическую реакцию может также фотосинтетически неактивное излучение (например, инфракрасное).

Активность трех основных процессов в растении в зависимости от спектрального состава, падающего оптического излучения показана на рисунке 1.4.

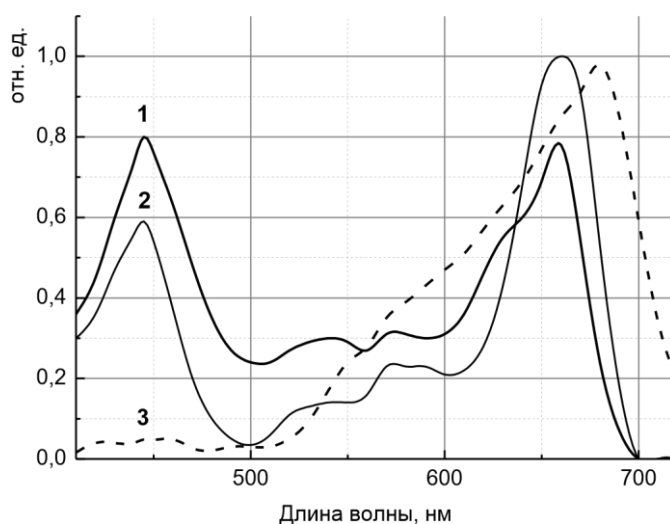


Рисунок 1.4 — Активность процессов:

1 — синтез хлорофилла; 2 — фотосинтез; 3 — фотоморфогенез

1.2 Влияние спектрального состава света на рост и развитие растений

Жизнедеятельность растения основывается на фотосинтезе. Фотосинтез позволяет преобразовывать углекислый газ с помощью энергии квантов света в органические вещества. Фотосинтез растений осуществляется в хлоропластах. Хлоропласты содержатся в клетках стеблей и плодов, однако основным органом

фотосинтеза является лист. Основными фотосинтетическими пигментами, обеспечивающими фотосинтез, являются хлорофиллы и бета-каротин. Спектр поглощения указанных пигментов имеет сложный характер и содержит по два максимума, в синей и красной областях спектра. Первый «синий» максимум приходится на длину волны ~450 нм, второй «красный» на длину волны ~700 нм. Фотосинтетическая активная радиация показана на рисунке 1.5.

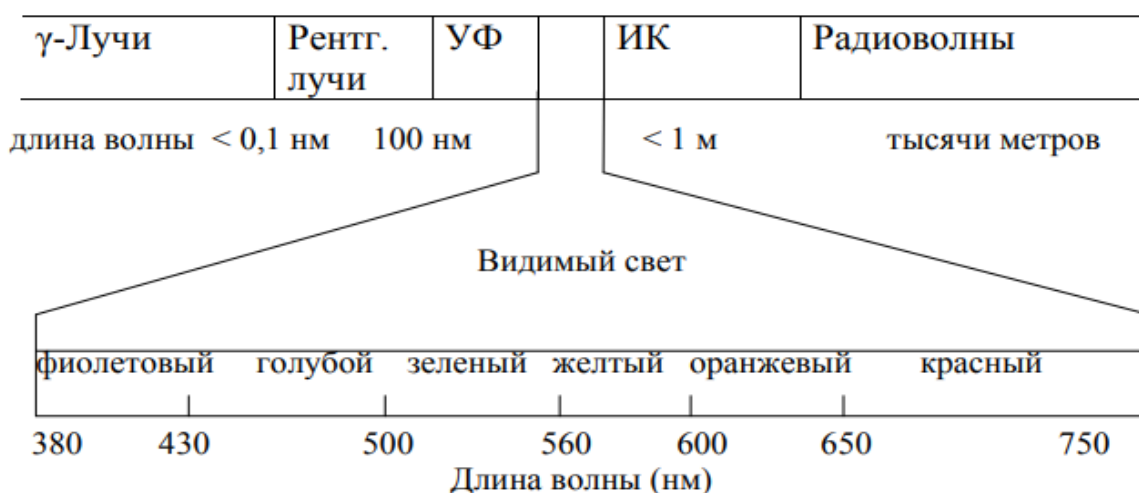


Рисунок 1.5 — Фотосинтетическая активная радиация

Впервые спектры поглощения хлорофилла были получены К. А. Тимирязевым. Сделано это было благодаря созданному им методу учета фотосинтеза по поглощению CO_2 . В ходе экспериментов по освещению растения светом различных длин (различного цвета) оказалось, что интенсивность фотосинтеза совпадает со спектром поглощения хлорофилла.

Из сложного характера спектров поглощения и интенсивности фотосинтеза можно предположить, что возможно подобрать спектр искусственного освещения таким образом, что продуктивность растений по отношению к потраченной энергии на освещение будет максимальной.

Свет в жизни растений играет определяющую роль. Световая энергия, прежде всего, определяет основополагающий процесс в растениях — фотосинтез. Жизнедеятельность растений находится в тесной зависимости от интенсивности и спектрального состава света. Показано, что свет разного

спектрального состава регулирует рост и развитие, фотосинтетические процессы и продуктивность растений. Зависимость фотосинтеза от энергии света является вполне очевидной и существенной. Уже достаточно давно установлено отсутствие линейной зависимости между активностью процесса фотосинтеза и освещенностью. Световая кривая фотосинтеза (зависимость активности фотосинтеза от интенсивности света) имеет форму логарифмической кривой. Прямая зависимость скорости процесса от притока энергии имеет место только при низкой интенсивности света. В области насыщающих интенсивностей света дальнейшее увеличение освещенности не увеличивает скорость фотосинтеза. Как известно, из всего спектра для жизни растений важна фотосинтетически активная, находящаяся в пределах от 380 до 710 нм, и физиологически активная радиация (300-800 нм), но наиболее значимы красные лучи, спектр которых находится в пределах от 600 до 720 нм. Эти световые волны необходимы для образования хлорофилла. Свет этой части спектра является основным поставщиком энергии для фотосинтеза и влияет на процессы, связанные с изменением скорости развития растения. Вместе с тем избыток красной части спектра задерживает процессы образования генеративных органов. Синие и фиолетовые (380-490 нм) лучи, как и красная составляющая, принимают непосредственное участие в фотосинтезе, стимулируют образование белков и регулируют скорость развития растения. Помимо интенсивности существенное значение для фотосинтеза имеет спектральный состав света.

Спектр действия фотосинтеза (кривая его зависимости от длины волны падающего света) при выровненном числе квантов имеет два четко выраженных максимума: в красной и синей части спектра, аналогичных максимумам поглощения хлорофилла. Красные и синие лучи наиболее эффективны в фотосинтезе. Анализ кривой квантового выхода фотосинтеза в зависимости от длины волны показывает, что он имеет близкие значения в диапазоне длин волн 580—680 нм (около 0,11).

						БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			17

В сине-фиолетовой части спектра (400—490 нм), поглощаемой наряду с хлорофиллами также и каротиноидами, квантовый выход снижается (до 0,06), что связывают с менее продуктивным использованием энергии, поглощаемой каротиноидами.

В дальней красной области спектра (более 680 нм) наблюдается резкое снижение квантового выхода. Качество света оказывает сложное и разностороннее влияние на фотосинтез.

Спектральный состав света определяет состав продуктов, синтезируемых при фотосинтезе: на синем свете преимущественно синтезируются органические кислоты и аминокислоты, а позднее — белки, тогда как красный свет индуцирует синтез растворимых углеводов, а со временем — крахмала. Отмечено регулирующее действие синего света на активность ферментов фотосинтетического превращения углерода.

Известно, что различные спектры света могут вызывать у растений и различные процессы морфогенеза. По литературным данным, синий свет характеризуется как основной компонент морфогенеза. При синем свете формируются листья с большим содержанием хлорофилла. Показано, что синий свет усиливает закладку вегетативных почек у побегов табака в условиях *in vitro*, а красный стимулирует развитие цветочных почек.

Для светокультуры растений необходимо знание теоретических основ и методов выращивания растений с помощью искусственного облучения. Источниками излучения в светокультуре растений служат электрические лампы различных типов. Необходимо, чтобы в их спектре были все участки видимого излучения с преобладанием красных, зеленых, синих и фиолетовых лучей, а также небольшая доля длинного ультрафиолетового и короткого инфракрасного света.

В настоящее время для освещения рассадных компонентов теплиц и светокультуры растений все более широко используются светильники с высокоэффективными газоразрядными лампами высокого давления

										Лист
										18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

(металлогалогеновыми (МГЛ) и натриевыми (ДНаТ)) мощностью 400–200 Вт. Оптимальное соотношение спектральных участков ФАР в общем светопотоке, наряду с другими факторами, может определять максимальную фотосинтетическую продуктивность растений. Повышение эффективности выращивания растений в светокультуре во многом связано с внедрением прогрессивных технологий, в том числе предусматривающих оптимизацию светового режима. Применение современных источников света, светодиодных облучателей, позволяет резко сократить энергозатраты на выращивание растений за счет высокой светоотдачи, длительного рабочего ресурса и возможности регулировать спектр облучения.

1.3 Обоснование параметров системы мониторинга микроклимата в тепличных хозяйствах

Из года в год в тепличных хозяйствах большое внимание уделяется системам поддержания микроклимата. Правильно выбранная система поддержания микроклимата одно из важнейших условий, позволяющих повысить качество урожая. Современная система автоматического управления микроклиматом должна поддерживать не только заданный режим но и максимально эффективно использовать возможности исполнительных узлов и датчиков.

В определение «микроклимат» включается четыре основных показателя: это температура воздуха, влажность, количество света и уровень углекислого газа. Для управления этими параметрами теплицы оборудуются исполнительными узлами: системой отопления, вентиляции, досвечивания, системой подкормки углекислым газом, системой контроля влажности.

Влажность почвы — это отношение количества воды в почве к ее массе, выраженное в процентах. Скорость изменения влажности почвы и оказывает огромное влияние как на ход биологических процессов, так и на обеспечение

											Лист
											19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

БР–02069964–43.03.01–12–20

растений водой и, как следствие, на создание урожая. Однако если в теплице используется более современный механизм поддержания водно-солевого баланса в почве — гидропоника, то контролировать влажность почвы необходимости нет, так как этим занимается система гидропоники и удобрений.

Процесс фотосинтеза — самый важный фактор в жизнедеятельности всех растений. От него зависит скорость роста растения и его урожайность. Источником энергии для фотосинтеза является свет, поэтому, приступая к монтажу теплицы защищённого грунта, нужно продумать оптимальное её расположение, позволяющее использовать естественное освещение максимально эффективно. Различают естественное и искусственное освещение, так же на этот параметр большое влияние оказывает концентрация углекислого газа и температура.

В настоящее время производится активное переоборудование теплиц, связанное с повышением требований к теплице, а значит с количеством исполнительных узлов: разделение контуров обогрева, переоборудование оконной вентиляции, установка вентиляторов. И чем больше исполнительных узлов имеет теплица, тем важнее для нее выбор системы автоматического поддержания микроклимата. Например, одним из наиболее популярных параметров управления является рациональное расходование энергоресурсов. В данном случае целесообразнее активно использовать нижние контура обогрева, т.к. они меньше всего отдают тепла внешней среде.

Как показывает практика, что внедрение автоматизированных систем управления на этапе проектирования системы довольно сложный процесс в плане выбора системы и исполнительных устройств, ввиду того что в процессе эксплуатации теплицы могут быть изменены культуры посадки, помимо этого все климатические параметры зависят от возраста растения. Поэтому в системе управления микроклиматом должна существовать возможность оперативно изменить любой параметр во время эксплуатации, причем методы его задания должны в наглядной форме отражать агрономические, экономические и

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист 20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

теплотехнические требования, предъявляемые к системе.

Таким образом, современная система управления микроклиматом должна позволять задать не только один из параметров, указанных выше или их комбинацию, но и любой другой параметр, возникающий в процессе производства, предоставляя оператору системы широкие возможности в выборе метода поддержания температурно-влажностного режима в теплице.

На основании работ таких авторов как, Каримов И.И., Лысенко В.И. была схематично изображена работа фотосинтезирующего аппарата растений, которая представлена в виде схемы.

Количество образовавшегося хлорофилла а, связанного с ферментным комплексом и выполняющего функции РЦ (согласно приведенной схеме), зависит от концентрации протохлорофиллида и величины облученности. За счёт темновой реакции связанный хлорофилл-а переходит в свободный и образует конгломерат молекул-сборщиков. Их концентрация определяется интенсивностью облучения и количеством свободного кислорода в тканях листа, т.к. в среде кислорода на свету происходит распад хлорофилла. Основным источником кислорода на свету является фотосинтез. Таким образом, необходимо учесть наличие отрицательной обратной связи между синтезом хлорофилла и фотосинтезом.

Результаты исследований и их обсуждение. Формализация процессов фотосинтеза позволила составить систему кинетических дифференциальных уравнений, описывающих структуру и функционирование фотосинтезирующего хлорофиллового аппарата зеленых растений.

Основываясь на схеме процессов функционирования хлорофиллового аппарата, изображённой на рисунке 1.6, получаем следующую систему уравнений.

Данные математические выражения описывают изменение концентраций основных веществ, участвующих в образовании структуры фотосинтезирующего аппарата и накоплении продуктов фотосинтеза. Целью

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

усовершенствования математической модели является достижение максимальных значений фотосинтеза при экономически обоснованном уровне облучённости. Решая эти уравнения совместно, получены характеристики фотосинтезирующих объектов в динамическом режиме.

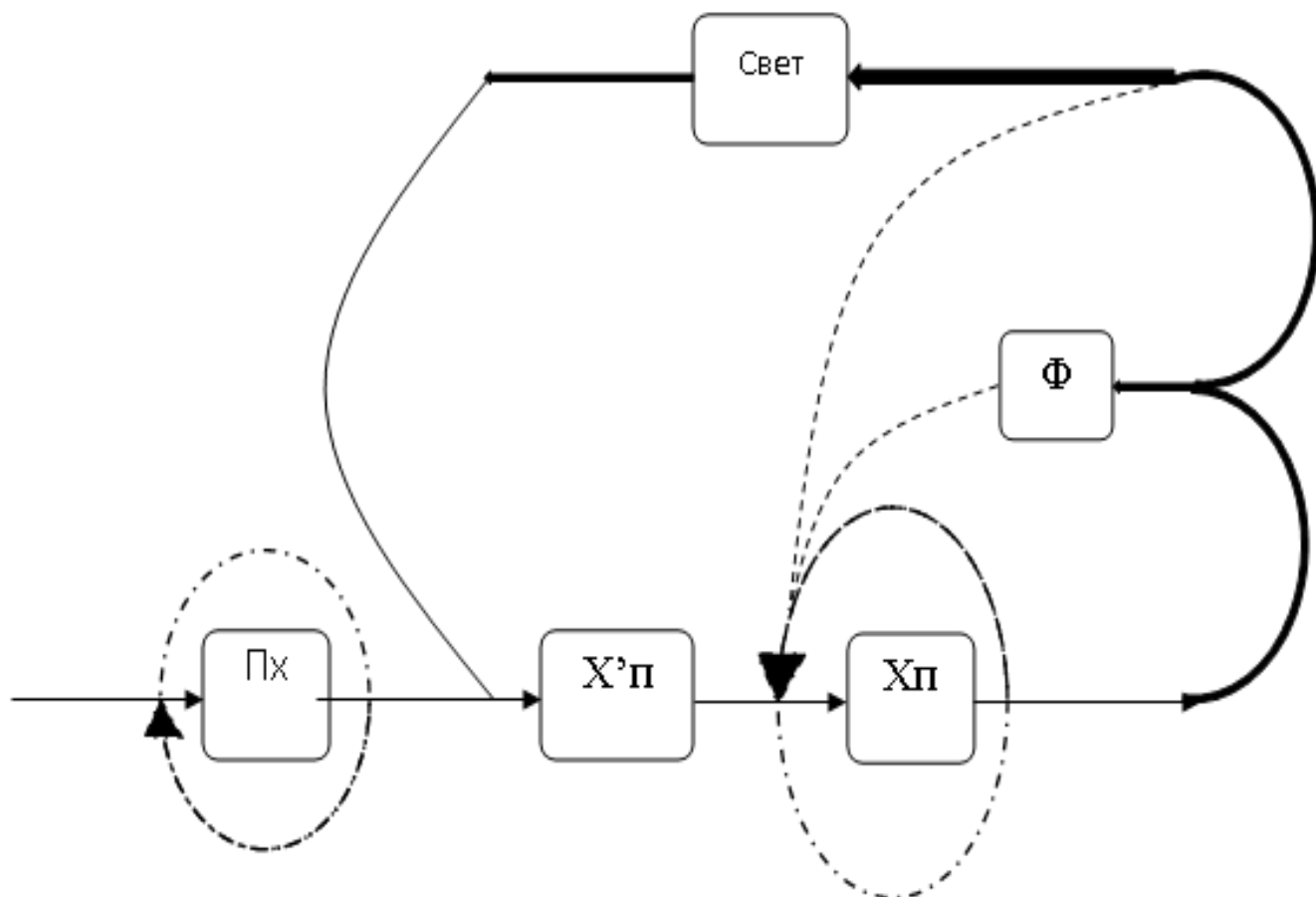


Рисунок 1.6 — Схема процессов функционирования хлорофиллового аппарата

где Пх — протохлорофиллид;

Х'п — хлорофилл, связанный с биологической мембраной;

Хп — свободный хлорофилл;

Ф — фотосинтез;

— положительная связь;

--- отрицательная связь.

$$\begin{cases} \frac{dP}{dt} = C_1(40 - P) - C_2nP; \\ \frac{dR}{dt} = C_2nP - C_3R; \\ \frac{dH}{dt} = C_3R - C_4FH \left(n - \frac{R}{H} 3,27 - 10^4 \right); \\ \frac{dF}{dt} = C_5Hn - C_6F. \end{cases} \quad (1.2)$$

где, P — концентрация протохлорофиллида, мг/г.сух.веса.

n — облученность, Вт/м²;

R — концентрация реакционных центров в зелёной листовой пластинке, мг/г.сух.веса.

H — концентрация хлорофилла, мг/г.сух.веса;

F — интенсивность фотосинтеза, мг[CO₂]/м²;

C₁ — константа скорости синтеза протохлорофиллида, с⁻¹.

C₂ — константа скорости, с⁻¹Вт⁻¹м².

C₃ — константа скорости темновой реакции перехода хлорофилла в свободное состояние, с⁻¹;

C₄ - константа скорости фотоокисления хлорофилла, м²мг[CO₂]⁻¹Вт⁻¹с⁻¹;

C₅ — константа скорости фотосинтеза, (мг[CO₂]/мг/г.сух.веса)⁻¹Вт⁻¹с⁻¹.

C₆ — константа скорости ингибирования фотосинтеза собственными продуктами, с⁻¹.

Система уравнений представляет собой динамическую модель некоторой управляемой системы. Она может быть решена при условии максимального фотосинтеза. В случае, если управляющим параметром в ней будет оптическое излучение, будут получены исходные данные для проектирования установки искусственного облучения растений, которая позволит сократить расход электрической энергии, не снижая качества выращиваемых растений. Следует отметить, что данная модель требует дальнейших уточнений как по точности определения констант, входящих в уравнение, так и по воспроизводимости результатов на основе лабораторных испытаний.

										Лист
										23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР-02069964-43.03.01-12-20					

2 Современные требования и возможности систем мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах

2.1 Требования к системе мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах

Для постановки задачи необходимо выдвинуть требования, предъявляемые к своей разработке.

Рассмотрим основные условия, учитываемые при выборе автоматической системы управления микроклиматом теплиц.

- Стоимость системы управления. Этот фактор всегда учитывается в первую очередь и, зачастую, является решающим.

- Современные системы автоматического управления состоят из устройства управления, исполнительных устройств и вспомогательного оборудования.

Устройство управления — микроконтроллеры и компьютеры с встроенным и прикладным программным обеспечением, различные датчики и какой-либо способ вывода информации на экран или на печать;

Исполнительные устройства — реле, коммутирующие оборудование, электродвигатели, электроклапана.

Вспомогательное оборудование — силовые кабели и кабели для цепей управления, монтажные коробки и корпуса, и монтажные материалы.

Очевидно, что для больших теплиц с большим количеством технологических систем и множеством функциональных возможностей состав и количество компонентов, а соответственно и стоимость систем управления, будет выше, чем для малых теплиц, у которых систем меньше и требования к ним проще. Поэтому, стоимость систем управления определяется индивидуально для конкретных теплиц и анализируется в сравнении.

Практически все современные системы мониторинга микроклимата

										Лист
										24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

теплиц обладают достаточным набором функциональных возможностей, необходимых для системы обработки показателей микроклимата, но отличаются деталями:

а) возможность автоматического управления имеющимися в теплице технологическими системами обогрева, форточной вентиляции, полива, электрического досвечивания, подпитки углекислым газом;

б) возможность обеспечения одновременного контроля различными узлами системы;

в) качество поддержания требуемого климата в теплицах или возможность имеющимися средствами добиться минимального отклонения от задания поддерживаемых климатических параметров: температуры, влажности, концентрации углекислого газа, освещённости;

г) возможность корректировки задаваемых параметров микроклимата в теплице в зависимости от состояния растений, времени суток, года и метеоусловий для повышения урожайности в теплице;

д) возможность согласованного с потребностями теплицы управления вспомогательными тепловыми пунктами, электрогенерирующими установками и энергосберегающими системами.

Следует отметить, что, если для малых теплиц достаточна сама возможность мониторинга имеющимися исполнительными устройствами, то для больших теплиц эта возможность рассматривается как безоговорочная и обсуждаются дополнительные возможности управления котельными, электростанциями и т.п. Продвинутые заказчики оценивают качество динамических процессов управления параметрами микроклимата.

Имеющееся в названии любой автоматизированной системы мониторинга и обработки микроклимата теплиц слово «Автоматизированная» многих неискушённых пользователей вводит в заблуждение, вызывая уверенность, что эта автоматизированная система сама будет управлять всеми процессами в теплице. Необходимо учитывать, что в соответствии с существующей

										Лист
										25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

терминологией: «автоматическая система» — система, способная функционировать без участия человека; «автоматизированная система» - система, функционирующая с участием человека. Отличий у различных автоматизированных систем управления по способам достижения поставленных целей больше, чем сходств. Основные условия, характеризующие функционирование системы управления:

Чем выше степень автоматизации, тем меньше требуется вмешательств оператора в процессы управления. В идеале, агроному требуется задать название сорта посаженной культуры и все действия по управлению исполнительными механизмами для обеспечения необходимого климата сделает система автоматического управления. Реально, на практике, агрономом или оператором, по указанию агронома, задаются задающие графики поддержания микроклимата и режимы работы оборудования, которые автоматически корректируются в соответствии с процессами управления, состоянием растений и внешними метеоусловиями. Системы, в которых агроном, как великий «гуру», постоянно колдует над процентами открытия форточек или градусами теплоносителя — слабые системы, требующие постоянного и квалифицированного вмешательства в работу системы. Сильные системы на основе задания параметров микроклимата и введённых ограничений сами определяют необходимые режимы функционирования технологических систем и обеспечивают их корректировку в соответствии с автоматически контролируемыми процессами работы оборудования и состоянием растений в теплицах, создавая объективные предпосылки для надёжного повышения урожайности и качества урожая;

а) Методы автоматического управления. Теплицы с множеством параметров, перекрёстных влияний, распределённые на значительных площадях, изнашивающимся оборудованием, подверженностью непредсказуемым, а иногда и не измеряемым, воздействиям относятся к классу сложных, многомерных, распределённых, нелинейных и нестационарных

										Лист
										26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

объектов управления. Методы управления должны быть соответствующие: оптимальные — обеспечивающие оптимизацию критерия качества, многосвязные — учитывающие многомерность объекта, динамические — учитывающие протяжённость процессов управления во времени, адаптивные и самообучающиеся — учитывающие нелинейность и изменчивость параметров объекта управления, с обратной связью по управлению и возмущениям. Наилучшие результаты по качеству процессов управления обеспечивают системы, построенные на основе динамического моделирования процессов управления в теплицах. Причём, чем больше параметров учитывает используемая модель, тем точнее вычисляются процессы в теплицах и точнее определяются команды управления. Это относится как к процессам формирования микроклимата в теплицах, создающим условия для роста растений, так и к процессам самого роста растений.

Степень автоматизации и применяемые в системах управления методы накладывают определённые требования на техническое обеспечение и, естественно, существенно влияют на стоимость систем управления. Поэтому, если к системам управления для промышленных тепличных комбинатов экономически целесообразно предъявлять максимальные требования, то к системам управления для средних (фермерских) и, тем более, для малых (индивидуальных) теплиц требования должны быть значительно ограничены.

б) Техническая база системы управления. Техническая база или техническое обеспечение систем управления включает в себя две основные составляющие: средства контроля и ввода данных, преобразования, обработки и выдачи управляющих воздействий (интеллектуальная составляющая) и средства электрического питания, коммутации, защиты и подключения средств управления (силовая составляющая). При множестве специфических есть и ряд основных характеристик технического обеспечения.

в) Надёжность элементной базы. Как правило: чем ниже надёжность элементов, тем ниже капитальные затраты при создании системы и выше

						БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			27

стоимость эксплуатационных затрат на энергоносители и ремонт оборудования. И наоборот, надёжное оборудование позволяет меньше внимания уделять его работоспособности и больше —выращиванию урожая.

г) Наличие запаса по функциональным и количественным показателям. Техническая база формируется, в первую очередь, из соображений обеспечения функциональных возможностей системы управления. Во вторую очередь —из условия оптимизации соотношения цена/качество.

д) Удобство эксплуатации и обслуживания. Системы автоматизации не вечны. Со временем их приходится ремонтировать, а также желательно, для предотвращения сбоев в работе, выполнять профилактическое обслуживание. Удобство эксплуатации и обслуживания определяется наличием и полнотой технической и технологической документации, включая электрические принципиальные схемы, паспорта на оборудование, описания и инструкции по эксплуатации. Данные условия и их актуальность зависят, в свою очередь, от других факторов: степени автоматизации, структуры, надёжности технического обеспечения, наличия проектной и эксплуатационной документации.

Основным требованием к программному обеспечению оператора является интуитивно понятный графический интерфейс, который бы позволял контролировать все параметры теплицы, работу исполнительных устройств и датчиков, позволять принудительно останавливать и запускать исполнительные механизмы, так же программное обеспечение должно позволять перепрограммировать пороговые настройки всей системы управления микроклиматом.

Основной акцент разрабатываемых сегодня систем сделан на экономичность и доступность потребителю, в связи с этим было принято решение выпустить программное обеспечение для ОС Windows XP/7/8/10, т.е. отказаться от кроссплатформенности.

Так как различные предприятия предъявляют различные требования к системам и имеют ограниченный бюджет, приведем сравнение различных

										Лист
										28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

комплектов системы управления (таблица 2.1). Т.к. в итоговую смету СУ входит разработка и макетирование плат, модулей, рассмотрим использование готовых модулей с выпущенными библиотеками, что значительно увеличивает простоту конструирования, а, значит, уменьшает стоимость.

Комплект №1 представляет минимальное количество датчиков и исполнительных устройств, без которых выращивания растения не представляется возможным.

Комплект №2 и №3 представляют собой дополненный комплект, но разница между ними составляет лишь, что комплект №3 предназначен для подключения к системе горячего водоснабжения.

Комплект №4 представляет собой самый полный комплект, система обогрева которого представляет собой дублированную систему водяного и электрического обогрева.

Программное обеспечение (ПО) представляет собой программный комплекс, в котором позволяет просматривать информацию с датчиков теплицы, как в режиме онлайн, так и за определенный период, принудительно включать/отключать исполнительные устройства.

Таблица 2.1 — Сравнение предлагаемых СУ

	Комплект №1	Комплект №2	Комплект №3	Комплект №4
1	2	3	4	5
Плата управления	+	+	+	+
Модем	–	–	–	+
Датчик углекислого газа	+	+	+	+
Обогащение углекислым газом	+	+	+	+
Датчик светового потока	+	+	+	+
Фитолампы	+	+	+	+
Электроподогрев почвы	–	+	–	+
Датчик температуры почвы	+	+	+	+

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4	5
Датчик влажности почвы	+	+	+	+
Датчик температуры почвы у корня	–	–	–	+
Датчик температуры листа	–	+	+	+
Электроподогрев воздуха	+	+	–	+
Датчик температуры и влажности внутреннего воздуха	+	+	+	+
Мотор управления створкой окна	–	+	+	+
Водяной калорифер для почвы	–	–	+	+
Водяной калорифер для воздуха	–	–	+	+
Датчик температуры воды в калорифере	–	–	+	–
Датчик температуры и влажности наружного воздуха	–	+	+	+
Датчик температуры в контуре водяного отопления	–	–	+	+
Ультразвуковой увлажнитель воздуха	+	+	+	+
«Искусственный дождь»	–	+	+	+

2.2 Обзор современных систем управления микроклиматом

Природа растений устроена таким образом, что без света нет фотосинтеза, а это главный двигатель роста. Вырабатывая хлорофилл растения способны усваивать углекислоту, но возможно это только при солнечном свете, чего не происходит в темное время суток. Недостаточное потребление солнечного света способно убить культуру или лишить ее дальнейшего развития, созревания плодов. Для решения этой проблемы в парниках, теплицах и оранжереях установлено искусственное освещение. Оно позволяет развиваться растениям

круглый год вне зависимости сезона. Лампы для растений в теплице способны ничуть не хуже заменить природное освещение в теплице зимой.

Оборудование теплиц искусственным освещением подвергается нормам, определенным положениям необходимым для эффективного выращивания растений. Например, количество света для в сутки необходимое тому или иному растению, а также возможную освещенную территорию.

При дневном освещении рационально будет использовать приборы способные снабдить теплицу таким количеством света, которое необходимо растению во время солнцестояния. Плотность подачи энергии света должна составлять от 400 до 1000 ммоль на м². При ночном освещении можно использовать фотопериодическое освещение. Плотность подачи энергии должна составлять от 5 до 10 ммоль на м².

Лампы используемые при создании системы досвечивания делятся на несколько типов:

- а) газоразрядная высокого напряжения (ртутная, металлогалогенная, натриевая);
- б) светодиодные;
- в) ультрафиолетовые;
- г) инфракрасные и т.д.

Оптимальный светильник для освещения теплицы должен выдавать свет в нужном спектре с достаточным показателем PAR, при этом иметь возможность регулирования спектра в зависимости от фазы роста культур. Светодиодные фитолампы и светильники отвечают этим требованиям, они надежнее и экономнее других видов ламп.

При расчете экономичности светильников иногда используют понятие светоотдачи, или отношения световой мощности к потребляемой. Чем этот показатель выше, тем экономнее использование лампы и ниже затраты на электроэнергию.

Сравним эффективность двух видов, газоразрядных ламп и светодиодных

										Лист
										31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

светильников (СДС).

Газоразрядные лампы всех типов обладают большой световой мощностью, хорошим коэффициентом рассеяния, но при этом их световая отдача значительно ниже, чем у светодиодов. Основная часть энергии нагревает микроклимат теплицы, этим увеличивая потери. Из-за огромного количества высвобождающейся энергии повышается риск ожогов растений. Если территория теплицы не позволяет или растение является высокорослым, то газоразрядные лампы придется заменить.

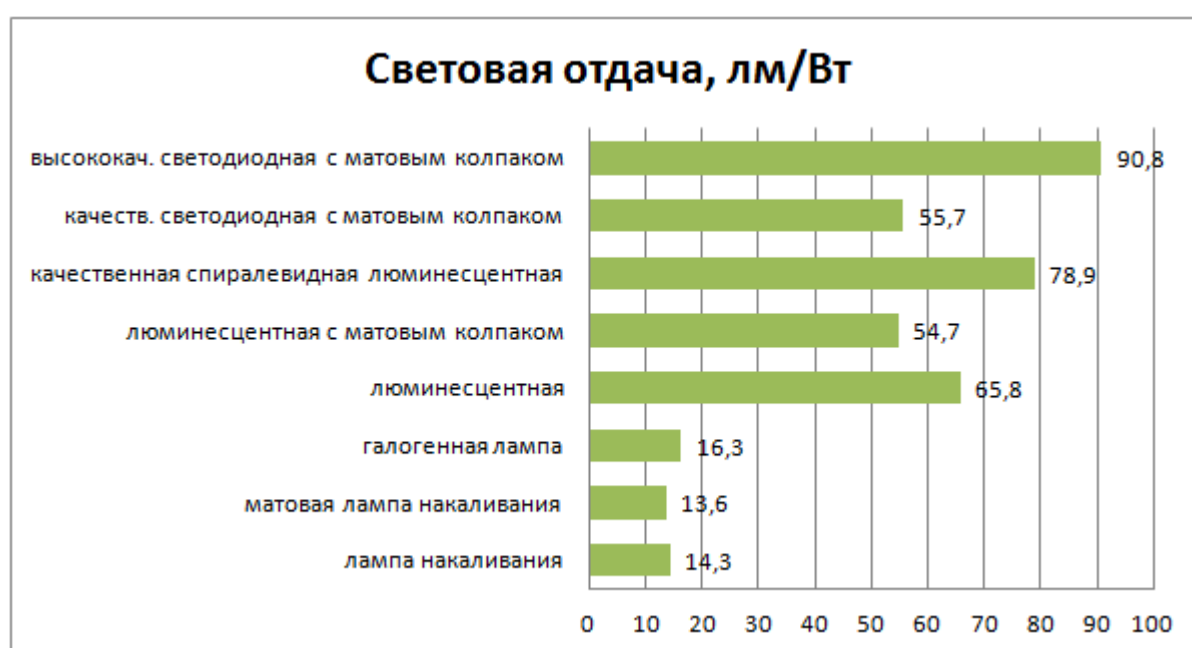


Рисунок 2.1 — Светоотдача разных типов ламп

СДС имеет низкий нагрев, значит их можно размещать на любом расстоянии от растений.

Белый свет (дневной) состоит из волн различной длины, в совокупности составляющих спектр. Он ограничен длинами волн от 380 нм (фиолетовый) до 780 (красный). Растения наиболее восприимчивы к синему, оранжевому и красному диапазонам светового спектра, при воздействии волн этой длины процессы фотосинтеза происходят наиболее интенсивно.

Натриевые лампы высокого давления (НЛВД) рекомендуется применять

преимущественно на поздних стадиях роста растений, так как при подсветке ими на ранних стадиях саженцы растут быстрее обычного, вытягиваются и образуют длинные стебли. Это объясняется тем, что спектр НЛВД содержит преимущественно красную составляющую, что полезно для растений в фазе плодоношения.

Светодиодные светильники выдают свет в строго определенном диапазоне. Пики излучения приходятся на 450 и 650 нм, что соответствует потребностям растений. Также светильник излучает мягкий ультрафиолет в диапазоне 320-380 нм, что повышает холодостойкость растений (рисунок 2.2).

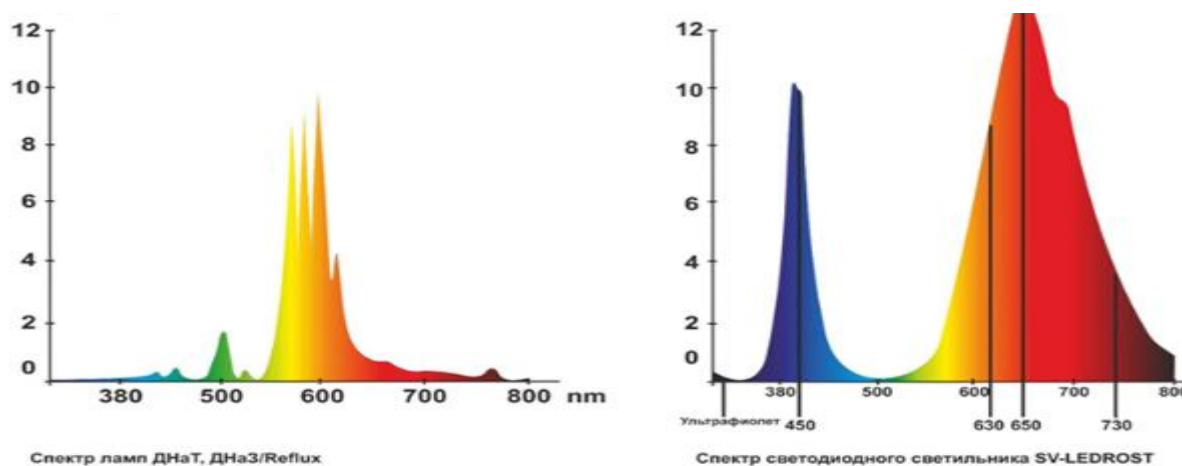


Рисунок 2.2 — Спектр светодиодного светильника в сравнении с лампами НЛВД

Существует ещё несколько причин замены НЛВД на светодиодные светильники. Например, натриевое освещение привлекает насекомых. Вредители наносят непоправимый вред растениям.

Еще не мало важная причина — это безопасность. Наполнитель таких ламп — натрий с ртутью. При повреждении лампы можно потерять большую часть урожая, на которую было воздействие поврежденной лампы.

Для подключения ламп ДНАТ и ДРЛ необходима пускорегулирующая аппаратура, что удорожает их первоначальную установку. Большие тепловые

потери увеличивают энергопотребление, в результате освещение теплицы газоразрядными лампами обходится довольно дорого, особенно в зимний период.

(Светодиодная тепличная фитолампа «Хамаль» 100-1000 Вт
Лампа натриевая для теплиц Sylvania SHP-TS GroLux 600W E40)

Таблица 2.2 — Основные характеристики ламп

	НЛВД	СДС
Стоимость	3000	4700
Срок службы	28500 часов	100 000 часов
Стоимость установки	12829 тыс	19083 тыс
Мощность	0,15 кВт	0,1 кВт
Затраты за год	5571 тыс/шт	3127 тыс/шт

С учетом стоимости покупки самих лам и установки СДС проигрывают НЛВД, но экономия довольно существенна. Срок службы СДС намного выше, а также затраты на электроэнергию. Значит эффективность использования светодиодных светильников намного выше.

Действие натриевой газоразрядной лампы основано на свойстве паров натрия, способных излучать монохроматический яркий свет в жёлто-оранжевом спектре. Это газообразное вещество заключено в особой колбе (трубке), называемой горелкой. Поскольку разогретые до высокой температуры пары натрия агрессивно действуют на стеклянные поверхности, то трубку изготавливают из более устойчивых веществ – боросиликатного стекла либо из поликристаллической окиси алюминия (в зависимости от типа лампы).

С каждой стороны горелки расположены электроды, предназначенные для создания дуговых разрядов, разогревающих пары натрия. Эта конструкция размещена в вакуумной стеклянной колбе, заканчивающейся резьбовым цоколем (рисунок 2.3).

Здесь уместно заметить, что существует два типа таких осветительных приборов: НЛНД (низкого давления) и НЛВД (высокого давления). Описанная

									Лист
									34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР-02069964-43.03.01-12-20				

выше конструкция даёт общее представление об устройстве газоразрядных натриевых светильников обоих типов. Различаются эти лампы конструкциями горелок и рабочим давлением паров внутри трубок.

В натриевых светильниках низкого давления, его величина не превышает 0,2 Па, а в НЛВД – порядка 10 кПа. Соответственно отличаются и рабочие температуры паров натрия: 270–300 °С для НЛНД и 650–750 °С в горелках высокого давления. Отсюда понятно, что горелки НЛВД обладают достаточно высокими уровнями световых потоков, то есть светят довольно ярко.

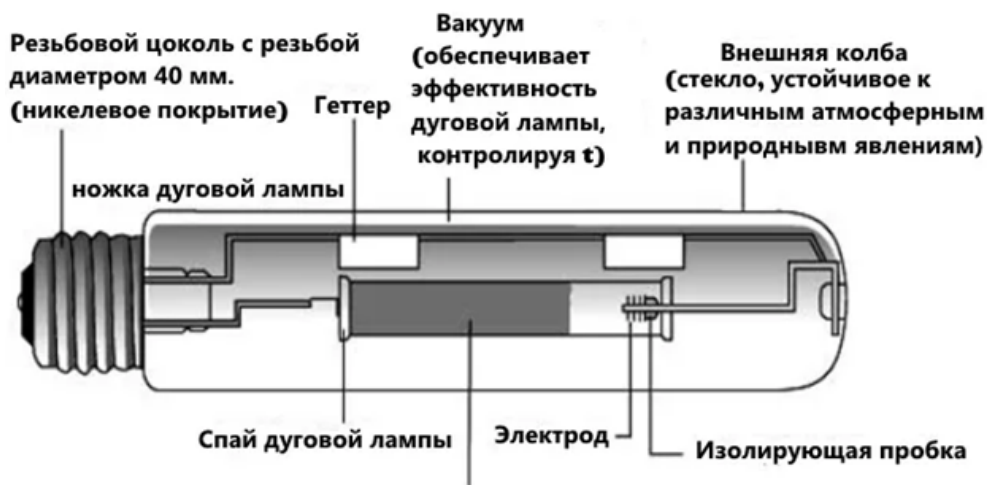


Рисунок 2.3 — Устройство натриевой лампы высокого давления

Светодиодные лампы и светильники для подсветки растений состоят из фитосветодиодов различного спектра, закрепленных на теплоотводящей шине из алюминия. Соединены последовательно в одну или несколько цепей и подключены к управляющему устройству – драйверу. Все эти элементы помещены в корпус с высокой степенью защиты от влаги. Лицевая часть светильника закрыта рассеивателем из оптического поликарбоната с высоким светопропусканием. Подключение светильника к сети выполняют с помощью сетевого провода без дополнительных устройств.

Для фитосветильников LED используют специальные светодиоды. Для создания необходимого спектра используются 2 метода:

- 1) комбинирование светодиодов разного спектра в нужном соотношении;

2) использование полноспектральных светодиодов для растений.



Рисунок 2.4 — Устройство светодиодного светильника

Для управления датчиками на большом расстоянии от места сбора и обработки данных используются системы автоматизированного мониторинга. Работающая в автоматическом режиме система позволяет выполнять циклы измерений с высокой скоростью и исключать ошибки, связанные с человеческим фактором. Промежутки между циклами измерений могут составлять от нескольких минут или часов до месяцев и лет. В списке задач, решаемых человеком, остаются качественный анализ собранных результатов, выбор необходимых средств наблюдений, их расположения и соединения в общую сеть. Имея постоянно обновляемые параметры наблюдаемого объекта, можно с высокой степенью достоверности прогнозировать состояние наблюдаемого объекта, предотвращать аварии или рассчитывать экономические показатели последствий происшествий [3, 4].

Основные преимущества использования систем автоматизированного мониторинга:

										Лист
										36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР-02069964-43.03.01-12-20					

- контроль данных в реальном времени с удаленного места;
- непрерывный мониторинг объектов;
- доступное расположение сенсоров измерительной системы, не зависящее от ручного управления оператором;
- сбор данных, предварительный анализ информации и ее отправка в любое место через Интернет;
- экономия денежных средств, поскольку автоматические наблюдения позволяют отказаться от участия человека;
- исключение ошибок оператора, так как автоматические наблюдения более достоверны.

Современные технологии выращивания овощей, рассады, цветов и зеленных культур требуют постоянного поддержания определенных режимов микроклимата в теплицах.

Систем управления и мониторинга микроклиматом в защищенном грунте позволяет экономить 15% - 25% тепла при росте урожайности, улучшения условий труда персонала и повышении общей культуры производства.

Современная зимняя теплица как объект управления температурно-влажностным режимом характеризуется неудовлетворительной динамикой и нестабильностью параметров, вытекающими из особенностей технологии производства. В то же время агротехнические нормы предписывают высокую точность стабилизации температуры (+/-1 градус), своевременное её изменение в зависимости от уровня фотосинтетически активной облученности, фазы развития растений и времени суток. Все эти обстоятельства предъявляют высокие требования к функционированию и техническому совершенствованию оборудования автоматизации управления микроклиматом в теплицах.

Существует немало систем централизованного управления микроклиматом в промышленных теплицах, принадлежащих как отечественным разработчикам, так и зарубежным. В основе работы систем управления положен принцип PI-контроля, при котором система управления

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

всегда стремится достичь стационарного состояния при помощи воздействий на управляющие элементы и измерения выдерживаемых величин, но с учётом компенсации накопленных интегральных погрешностей (I-action).

2.3 Светильники и системы сбора данных используемых в системе мониторинга и обработки климатических параметров

Принципиально для облучения растений можно использовать любой источник, излучение которого находится в спектральном диапазоне 300—750 нм [16]. Однако эффективность воздействия различных ИИ на растения не одинакова. Кроме того, следует учитывать условия теплицы, влияющие на эксплуатационные свойства и надежность ИИ: влажность, температуру, вероятные отклонения напряжения от номинального значения, возможность попадания влаги и другие.

Для искусственного облучения растений применяют ИИ, обеспечивающие наиболее высокую фотосинтезную эффективность, например, ртутно-кварцевые лампы высокого давления ДРЛФ-400; специальный состав люминофора обеспечивает спектр излучения, способствующий прохождению физиологических процессов в растениях; применяются в тепличных облучателях ОТ-400 и ОТА520. Излучение приходится на диапазон 350—750 нм с преобладанием оранжево-красных и сине-фиолетовых лучей [7]. Используются ДРФ-1000-04, ДРФ-2000, ДРОТ и ксеноновые ДКсТЛ лампы [10].

Ксеноновые трубчатые лампы типа ДКсТЛ обеспечивают высокие облученности ФАР (за счет высокой мощности). Недостатком является средняя продолжительность горения менее 1000 ч, большие габариты и низкий КПД ФАР (~12%). ДКсТЛ мощностью 10 кВт используют в комплектных системах СОРТ-1-10 [10].

Близкий к равноэнергетическому в области ФАР спектр ламп ДКсТВ-6000

										Лист
										38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

эффективен для облучения томата.

Люминесцентные лампы низкого давления используют для дополнительного облучения рассады в теплицах. Рекомендуемая продолжительность ежесуточного облучения составляет 12—16 часов (зависит от выращиваемой культуры и климатического пояса). В фотосинтезных люминесцентных лампах путем подбора люминофорного покрытия повышено излучение в красной и синей областях спектра. Лампа ЛФ-40-1, имеющая однокомпонентное люминофорное покрытие и максимум излучения в красной области, предназначена для облучения рассады огурцов. Лампа ЛФ-40-2, имеющая двухкомпонентное люминофорное покрытие и максимум излучения в красной и синей областях, предназначена для облучения рассады томатов [7].

КПД ФАР у ламп ЛФ-40-1 и ЛФ-40-2 порядка 15% [43].

Металлогалогенные и натриевые лампы высокого давления имеют высокий КПД ФАР (25—35%), продолжительный срок службы. Основной недостаток НЛВД — малое (~8%) излучение в синей области спектра [23]. В МГЛ этот недостаток устраняется введением специальных добавок (скандий).

В натриевых лампах ДНаЗ/Reflux перераспределение излучения горелки осуществляется внутренним рефлекторным слоем, имеющим расчетный профиль. Оригинальная конструкция обеспечивает высокий ресурс отражающей поверхности.

Перспективным направлением развития технологии ИИ — светодиоды. Использование светодиодов для общего освещения, при небольшом фактическом объеме выпуска, все еще дорого [4] и не вносит значительного вклада в энергосбережение. Постепенный переход к световым приборам (СП) со светодиодами должен осуществляться на объектах, где освещение работает более 4—5 тысяч часов в год и где люди находятся непостоянно. К таким объектам можно отнести и сооружения защищенного грунта.

Возможность применения светодиодов в качестве ИИ для ОБУ обусловлена рядом их свойств:

										Лист
										39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

- долговечность (более 10 лет непрерывной работы);
- малые габариты (точечные или плоские СП);
- электробезопасность и взрывобезопасность;
- высокая устойчивость к внешним воздействиям (температуре, влажности, механическому воздействию);
- возможность варьирования спектра излучения;
- высокая степень управляемости (построение систем управления).

В таблице 2.3 представлены КПД источников излучения в области ФАР согласно трем литературным источникам.

Таблица 2.3 — КПД источников излучения в области ФАР (фрагмент)

Лампы	Мощность P, Вт	Клешнин, 1954	Тихомиров, 2000	Айзенберг, 2006
		Значения коэффициента η_f , %		
Накаливания	var	10-20	2–4; до 82	-
Люминесцентные	18	-	9–12%	19
	36	-		23
	50	17,2		-
	58	-		28
Ртутные высокого давления	400	10,83	-	124
Натриевые высокого давления	250	-	-	28
	400	-	24–26	33
	600	-	-	36
	1000	-	-	31

Для ИИ, используемых в таком энергоемком процессе, как облучение растений, необходим максимально высокий КПД ФАР. Для современных натриевых ламп высокого давления он составляет 32—33%, для светодиодов — 25—30% [46].

В направлении светодиодного освещения для растений уже работают

многие фирмы-производители.

Например, Philips (Амстердам, Нидерланды), LumiGrow (Новато, США), Атомсвет (Москва, Россия), Фокус (Фрязино, Россия) и другие предлагают множество готовых светодиодных решений для предприятий агропромышленного комплекса (АПК). Компания Philips предлагает услуги проектирования световых приборов со спектральным составом, ориентированным на конкретные производственные, исследовательские задачи и условия заказчика.

Производители светодиодов выделяют отдельное направление, которое условно можно назвать «Светодиоды для теплиц». Предлагаются синие (440—470 нм), красные (630—660 нм) и другие светодиоды, ленты, модули для формирования спектрального состава. Компания NationStar Optoelectronics (Китай) предлагает более дешевый аналог цветным — био-светодиоды на базе белого светодиода с добавлением красного и зеленого люминофора.

2.4 Обзор существующих разработанных систем

Производством подобных систем занимается ряд компаний.

Компания «Антрел автоматизация» предлагает свою систему, которая по описанию производителя обеспечивает:

- точное регулирование каждого параметра технологического процесса;
- экономия энергоносителей за счет использования только по запросу системы;
- отсутствие оператора, исключение влияние человеческого фактора;
- исключение аварийных ситуаций;
- вывод всех показателей на экран ПК оператора;
- контроль системы поддержания микроклимата с помощью смартфона или планшета (поддержка устройств на основе iOS, Android, MacOS, Windows XP/7/8);

						БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			41

- возможность интеграции системы в АСУ предприятия.

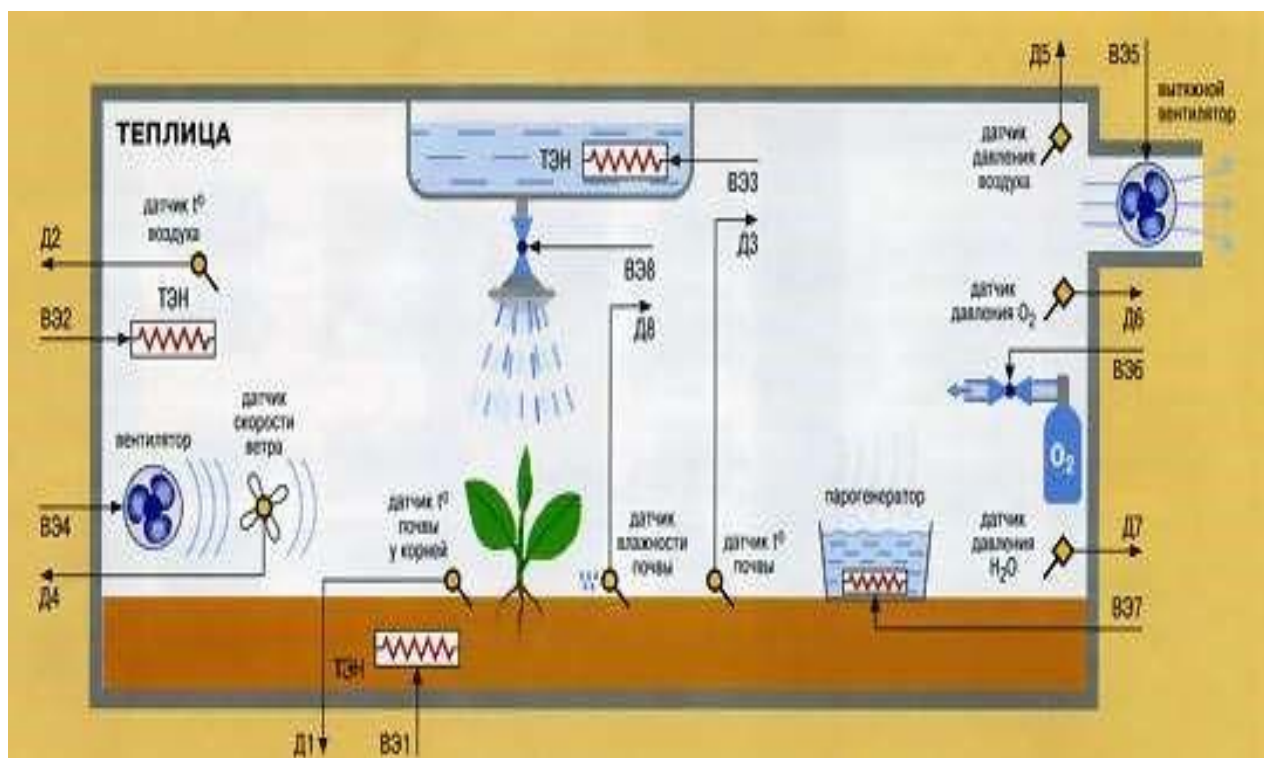


Рисунок 2.5 — Схема расположения датчиков

Как видно по рисунку 2.5 компания предлагает установку датчиков давления внутреннего воздуха, температуры внешнего и внутреннего воздуха, датчик температуры почвы, и почвы у корня растения, искусственный дождь с подогревателем, датчик уровня кислорода и система обогащения кислородом, и вентилятор со своим датчиком скорости ветра.

Очевидно, что данная система не подходит для выращивания некоторых видов растений, ее явным недостатком является отсутствие системы обогащения углекислым газом, отсутствие системы искусственного подсвечивания, отсутствие системы контроля температуры листа, подогрев вода для искусственного дождя не контролируется датчиками, парогенератор теплового действия, а не ультразвукового, что ведет к высоким затратам на электроэнергию, так же нет варианта подключения в зимнее время года к системам центрального отопления. В целом по данной системе можно сделать вывод, что несмотря на достаточную ее автономность, по заверению производителя, она обеспечивает контроль и регулицию не всех критически

важных параметров для микроклимата. Плюсом данной системы можно отметить отсутствие оператора и дополнительного рабочего места для него. Минимальную стоимость данной системы производитель не сообщает.

Компания «АгроИталСервис технологии роста» предлагает систему, которая по производителя обеспечивает контроль и управление:

- температуры и влажность воздуха;
- температуры листа;
- температуры и влажность почвы;
- температуру плёнки;
- концентрация CO₂;
- датчик температуры и влажности окружающей среды.

Ядром системы является промышленный микрокомпьютер, стоимость системы начинается от 500 000 рублей. Данный комплекс помимо датчиков включает систему зашторивания, систему досвечивания, систему капельного полива (последняя нужна в случае выращивания в закрытом грунта, а не методом гидропоники). К явным минусам можно отнести его чрезмерную стоимость (в нее не заложен монтаж, а лишь «Сделай сам из коробки»). Как выяснилось точно такую же систему предлагает компания НПФ «Фито», что не позволяет установить точного производителя системы.

Производитель теплиц для больших тепличных хозяйств «НПО Схемотехника».

В каждом тепличном и рассадочном отделении установлены по два двигателя-редуктора для управления форточками и шесть вентиляторов для обеспечения циркуляции воздуха. CO₂ подается газогенераторами во всю теплицу, площадью 1 Га.

В каждой из половин теплицы измеряется температура грунта и температура воздуха. Влажность определяется расчетным способом на основании разности показаний сухого и влажного термометра. Концентрация двуокси углерода измеряется газоанализатором ГИАМ — 15 с нормированным

						БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			43

токовым выходом 0-5 мА. Каждый из форточных редукторов имеет датчик положения с нормированным токовым выходом 0-5 мА.

САУ МКТ имеет двухуровневую структуру. Верхний уровень (пост оператора) представлен персональным компьютером, а нижний - подсистемами управления теплицами площадью по 1 Га (шесть подсистем на блок 6 Га).

Каждая из подсистем имеет местный пульт управления со знакоцифровым индикатором (2 строки по 20 знаков), обеспечивающий контроль измеряемых параметров и настройку контуров регулирования.

Нижний уровень САУ МКТ работает автономно, осуществляя управление микроклиматом и формируя суточные архивы измеряемых параметров. Связь между подсистемами осуществляется с помощью информационной шины BITNET (интерфейс RS485, витая пара).

Метеоадаптер считывает данные из метеостанции типа «GRO WEATHER» в подсистемы нижнего уровня. Кроме этого метеоадаптер пересылает данные между подсистемами нижнего уровня. При подключении к информационной шине персонального компьютера функции управления процессом передачи данных передаются компьютеру.

Как видно из написанного выше данная система действительно позволяет контролировать и управлять всеми критически важными параметрами, однако нагнетание кислорода осуществляется путем газогенераторов, минимальная площадь теплицы — 1Га. Минимальная стоимость данного комплекса составляет несколько миллионов рублей.

Далее в таблице 2.4 приведен сравнительный анализ рассмотренных выше систем.

Из сравнительного анализа следует, что лидером является компания «АгроИталСервис технологии роста». Система этой кампании снимает наибольшее количество показателей с выращиваемых растений, что позволяет наиболее эффективно снимать и обрабатывать параметры теплицы. Но есть существенный минус отсутствиенекоторых важных датчиков.

						БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			44

Таблица 2.4 — Сравнительный анализ систем

	Антрел	АгроИталСервис	Схемотехника
Датчик давления внутреннего воздуха	+	–	–
Температура внешнего воздуха	+	+	+
Температура наружного воздуха	+	+	+
Температура почвы	+	+	+
Температура почвы у корня	+	+	+
Температура листа	–	+	+
Влажность внутреннего воздуха	–	+	+
Влажность наружного воздуха	–	+	+
Датчик уровня кислорода	+	–	–
Система обогащения кислородом	+	–	–
Датчик уровня углекислого газа	–	+	+
Система обогащения углекислым газом	–	+	+
Вытяжной вентилятор или открытие окна	+	+	+
«Искусственный дождь»	+	–	–
Температура пленки	–	+	–
Температура в контуре отопления	–	+	–

3 Разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров в тепличных хозяйствах

3.1 Математическая модель автоматического управления микроклимата в теплице

Самые современные и профессиональные системы характеризуются такими параметрами:

- обеспечивают в теплице контроль отопления, вентиляции, охлаждения, уровня CO₂, циркуляции воздуха, дополнительного освещения, обработки растений химикатами;

- управляют экранами и затенением, увлажнением воздуха, системой очистки крыши, горелками отопительных котлов, орошением, дезинфекцией дренажной воды и рециркуляцией воды в системе орошения, обеспечивает измерение погодных условий, температуры и влажности внутри теплицы. Сбор данных и построение графиков производится с помощью персонального компьютера;

- имеют высокую гибкость и масштабируемость. Могут использоваться в любых теплицах, в различных конфигурациях. Для каждого проекта составляется индивидуальный набор аппаратного и программного обеспечения;

- имеют высокую надёжность, в том числе обеспечиваемую системой резервного копирования данных;

- удобство монтажа и технического обслуживания;

- контроль всех параметров в теплице может осуществляться с одного операторского рабочего места, оснащённого персональным компьютером;

- возможность организации нескольких дублирующих рабочих мест, а также удалённого управления теплицей через радиоканал или сеть Интернет.

При расчёте необходимых корректировок программа учитывает огромное количество влияний других факторов. Так, например, в системе Priva Integro

										Лист
										46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

требуемое положение трёхходового смесительного крана нижнего контура отопления в отделении определяется расчётной температурой контура, на которую влияют:

- текущая температура труб контура;
- текущая температура воздуха в теплице;
- расчётная температура на данный момент, заданная по стратегии;
- накопленная интегральная погрешность по температуре в теплице за предыдущее время;
- заданные минимальная и максимальная температуры труб контура;
- температура вне теплицы;
- скорость ветра;
- величина солнечной освещённости;
- работает ли дополнительное освещение;
- текущее положение экранов над контуром;
- текущее положение форточек над контуром;
- температура труб других контуров в этой зоне.

Современная система контроля тепла должна обладать способностью предвидеть резкие скачки температуры, вызванные, например, резким появлением солнца из-за туч, чтобы быстро вносить корректировки в расчётные температуры труб.

Уравнения связи между входными и выходными переменными можно записать в различной форме. Наиболее универсальной из них является дифференциальные уравнения объекта [7].

Обширно применяется также равенство взаимосвязи среди входа и выходом вида интеграла свертки (интеграл Дюамеля):

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)w(t - \tau)d\tau = \int_0^t w(\tau)x(t - \tau)d\tau, \quad (3.1)$$

									Лист
									47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

где $w(\tau)$ —роль веса предмета, т. е. ответ предмета в входной знак в варианте в варианте дельта функции

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \neq 0 \\ \infty & \text{при } t = 0 \end{cases} ; \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \quad (3.2)$$

Отличительные уравнения и передаточная функция считаются более едиными формами взаимосвязи среди неустойчивыми состояния на входе и выходе линейной концепции. Однако в настоящих условиях зачастую наблюдаются только лишь сигналы управления и взаимодействия систем, согласно которым следует получить равенство связи.

Подобным способом, с помощью опыта возможно выявить график, устанавливающий частное решение в конкретном входном сигнале. Далее, аппроксимировав аналитическим формулированием полученные осуществления, возможно создать ДУ заданной текстуры и записать его в одной из форм, приведенных выше (т. е. получить модель объекта).

Огромное распространение приобрели методы идентификации детерминированных предметов посредством определения переходного свойства $h(t)$ по искривленной разгона при ступениобразном изменении управления на входе.

$$h(t) \approx \frac{y(t) - y_0}{u - u_0} \quad (3.3)$$

где $y(t)$ — переменная выходной величины предмета при подаче в него вход ступенчатого управления u (кривая разгона),

y_0 и u_0 — установившиеся значения выхода и входа объекта вплоть до выполнения опыта[7].

Если предмет управления не позволяет перемены выходной координаты, в таком случае в его вход, вместо ступенчатого воздействия, подают исключительный толчок или ее серию.

При проведении опыта согласно снятию кривой разгона, следует тщательно отгородить объект от бес упорядоченных возмущений, стараясь, как можно конкретнее повторить заданную форму конфигурации на входе, копировать проведение опытов по снятию кривой разгона с целью различных первоначальных значений y_0 и u_0 .

Проанализируем определение передаточной функции предмета по искривленной разгона расчетным способом. Достоинством такого метода является то, что итоги идентификации выходят в виде аналитической формулировки, хорошо поддающегося последующей механической переработке. Технология идентификации, в этом случае [8], состоит в аппроксимации переходных свойств аналитическим выражением вида

$$h(t) = k_o + \sum_{k=1}^n C_k e^{-p_k t}, \quad (3.4)$$

где $k_o = \frac{y(\infty) - y_0}{u - u_0}$ — коэффициент передачи объекта,

$y(\infty)$ — установившееся значение выходящей величины предмета, надлежащее частному решению его ДУ и характеризуемое вынужденным перемещение под воздействием входного сигнала, другие слагаемые характеризуют свободные передвижения и представляют единое решение однородного ДУ объекта,

C_k — постоянные интегрирования,

p_k — корни характеристического уравнения.

Допустим, для определенности, то что в составе (3.4) существует один

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

настоящий корень, два комплексно сопряженных и два кратных корня. Логарифмируя формулу (3.3) приобретаем:

$$z = \ln[h(t) - k_o] = \ln \left[\sum_{k=1}^5 C_k e^{p_k t} \right]. \quad (3.5)$$

Для стабильного предмета свободные движения с ходом времени стремятся к нулю, при этом период переходного движения станет определяться корнем, обладающим минимальную действительную долю (например, действительным корнем). В то время начиная с определенного момента времени слагаемыми в уравнении (2.5), имеющими крупные действительные части возможно пренебречь и приближенно сделать запись:

$$z = \ln[h(t) - k_o] \approx \ln C_1 + p_1 t. \quad (3.6)$$

Равенство (3.6) считается асимптотой (3.3) при $t \rightarrow \infty$.

Если сейчас в полулогарифмическом масштабе создать план уравнения (2.5), откладывая на оси абсцисс период на оси ординат $z = \ln[h(t) - k_o]$, то незнакомые коэффициенты $C_1 p_1$ свободно определить схематически, как показано на рисунке 3.1.

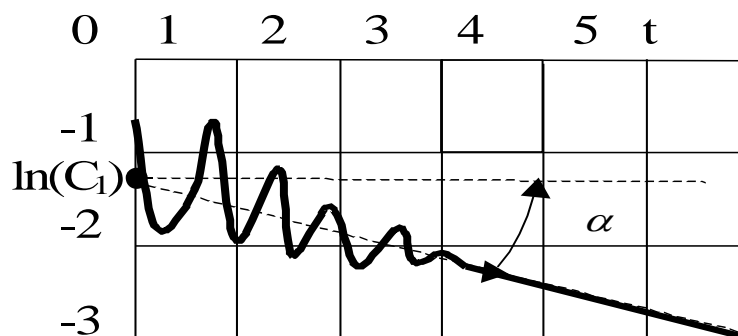


Рисунок 3.1 — Асимптота переходной характеристики

Ордината асимптоты при $t=0$ одинакова $\ln(C_1)$, а $p_1 = \tan(\alpha)$. Уже после чего из равенства (3.5) возможно исключить одно слагаемое надлежащее действительному корню, тогда:

$$z1 = \ln[h(t) - k_o - C_1 e^{p_1 t}] = \ln \left[\sum_{k=1}^4 C_k e^{p_k t} \right]. \quad (3.7)$$

Подобно, включая с некоторого этапа времени слагаемыми в составе (3.7), обладающими большие реальные части можно пренебречь и примерно записать:

$$h(t) - k_o - C_1 e^{p_1 t} \approx C_2 e^{-\lambda t} \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.8)$$

Логарифмируя, получим:

$$z1 = \ln[h(t) - k_o - C_1 e^{p_1 t}] \approx \ln(C_2) - \lambda t + \ln[|\sin(\omega t + \varphi)|]. \quad (3.9)$$

Уравнение прямой на графике (рисунок 3.2), проходящей через точки в которых $\sin(\omega t + \varphi) = 1$ имеет вид:

$$z1 \approx \ln(C_2) + \lambda t. \quad (3.10)$$

Незнакомые характеристики C_2 и λ находятся, как и в прошлом случае. Кольцевую частоту ω и изначальную фазу φ возможно определить из явного условия $\sin(\omega t + \varphi) = \pm 1$

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$\frac{\pi}{2} + (i-1)\pi = \omega t_i + \varphi, \quad (3.11)$$

где t_i — значения периода при которых ординаты переходной характеристики принимают экстремальные значения.

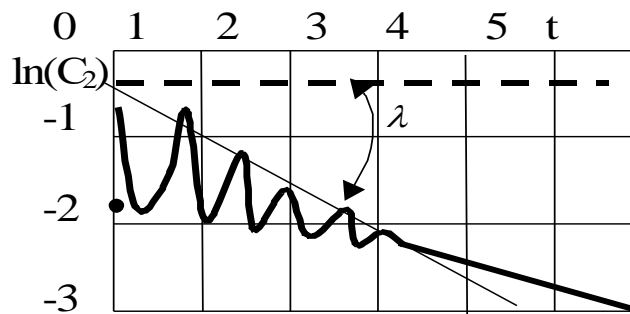


Рисунок 3.2 — Асимптота переходной характеристики, определяемая вторым слагаемым.

Минимизируя прямоугольник невязки формулы (3.11) по ω и φ приобретем систему алгебраических уравнений с целью их определения.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m t_i^2 f + \sum_{i=1}^m t_i b &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^m (2i-1)t_i \\ \sum_{i=1}^m t_i f + mb &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^m (2i-1) \end{aligned}, \quad (3.12)$$

где $f = \frac{\omega}{2\pi}$ — неизвестная частота,

$b = \frac{\varphi}{2\pi}$ — относительная фаза,

m — число экстремальных значений переходной характеристики.

Коэффициенты минувших слагаемых от корней, обладающих кратность —

2, в уравнении переходных свойств равенства (2.8) получают из выражения, подобного (3.12)

$$z^2 = \ln[h(t) - k_0 - C_1 e^{p_1 t} - C_2 e^{-\lambda t} \sin(\omega t + \varphi)] = \ln \left[\sum_{k=1}^2 C_k e^{p_k t} \right]. \quad (3.13)$$

Приближенно при больших t можно записать

$$z^2 \approx \ln(C_3) + \ln(t) + pt, \quad (3.14)$$

где $p=p_3=p_5$ — корень двойной кратности.

Асимптотой данного уравнения станет прямая, функция угла наклона которой станет равен p .

Если сейчас построить в счетных координатах функцию $z^2 - pt$, то тогда ее асимптотой станет $\ln(t) + \ln(C_3)$. Тангенс угла крена асимптоты дает кратность корня. Ордината асимптоты при $t=0$ равна $\ln(C_3)$.

Зная истоки выражение для переходных свойств несложно определить и передаточную функцию посредством преобразования Лапласа.

$$W(p) = pL[h(t)] = p \int_0^{\infty} h(t) e^{-pt} dt. \quad (3.15)$$

Неплохие итоги при использовании данного метода выходят в том случае, если истоки характеристического уравнения очень отстоят друг от друга.

Предпочтительно, чтобы любой последующий корень был в 2-3 раза меньше прошлого. Необходимо выделить, то что точность определения характеристик предмета с помощью временных данных низка. Свойство

									Лист
									53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

идентификации уменьшают случайные помехи, извращающие реакцию предмета и погрешность аппроксимации предмета линейной моделью. Все это не дает считать эти методы перспективными.

Была снята, опытным путем, кривая перемены температуры в теплице, представленной на рисунке 3.3, которая была аппроксимирована передаточной характеристикой 1-го порядка.

Текст программы приведен в приложении А. Результат расчета приведен на рисунке 3.4, передаточная функция температуры приведена на рисунке 3.5.

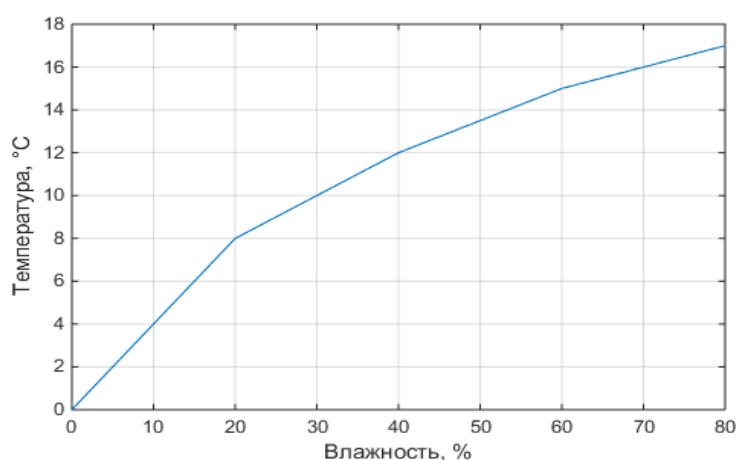
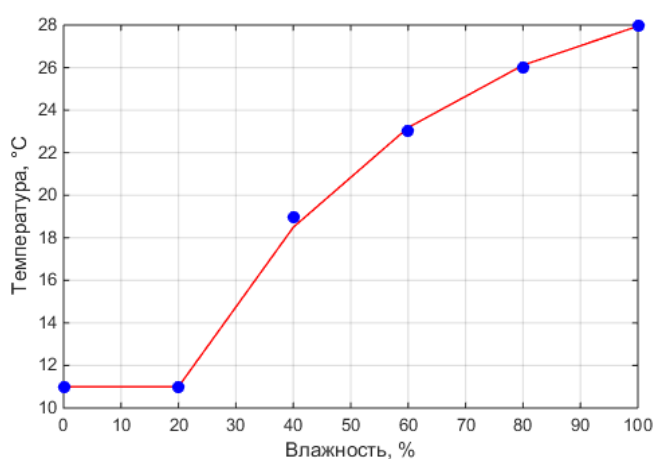


Рисунок 3.3 — Экспериментальная кривая изменения температуры в теплице



- расчетные значения ,
- экспериментальные значения .

Рисунок 3.4 — Аппроксимация кривой изменения температуры передаточной характеристикой 1-го порядка

Аналогичным методом была аппроксимирована экспериментальная кривая изменения влажности в теплице (рисунок 3.6) передаточной характеристикой 1-го порядка. Текст программы приведен в приложении А. Результат расчета приведен на рисунке 3.7, передаточная функция влажности приведена на рисунке 3.8.

Аппроксимируя экспериментальную кривую изменения температуры ошибка аппроксимации составляет 0,5 %.



Рисунок 3.5 — Передаточная функция температуры

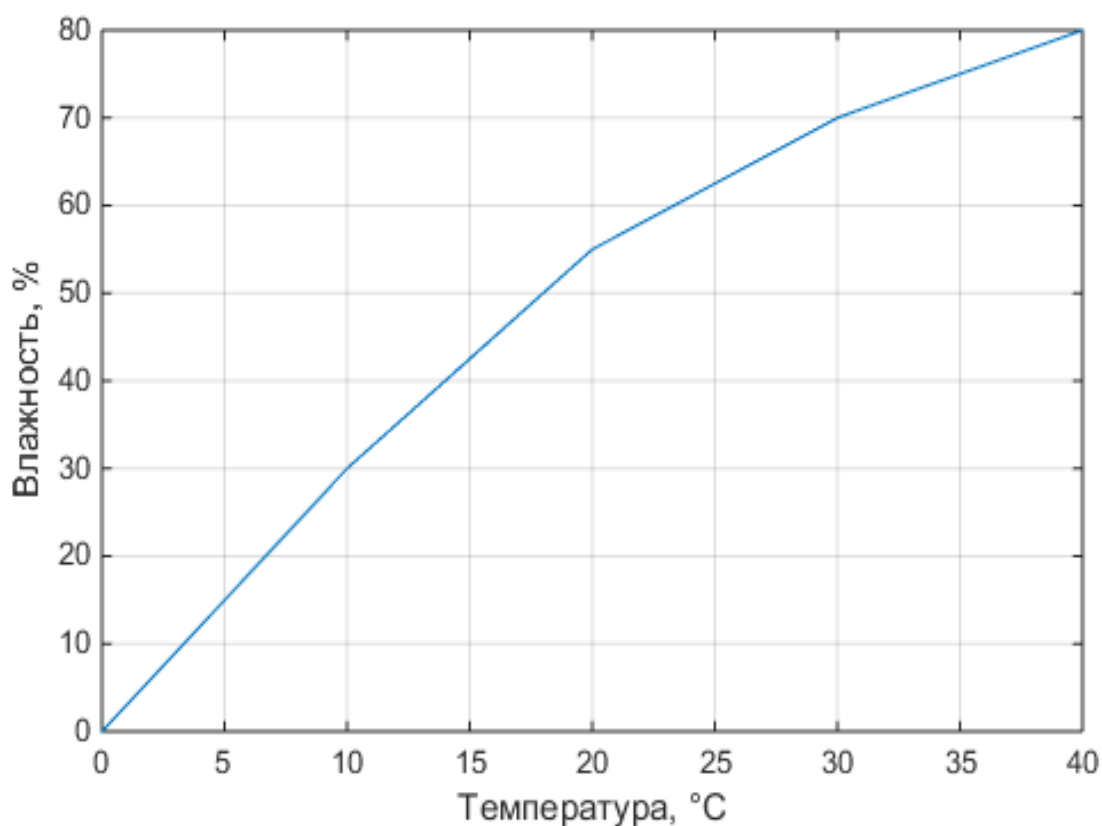


Рисунок 3.6 — Экспериментальная кривая изменения влажности в теплице

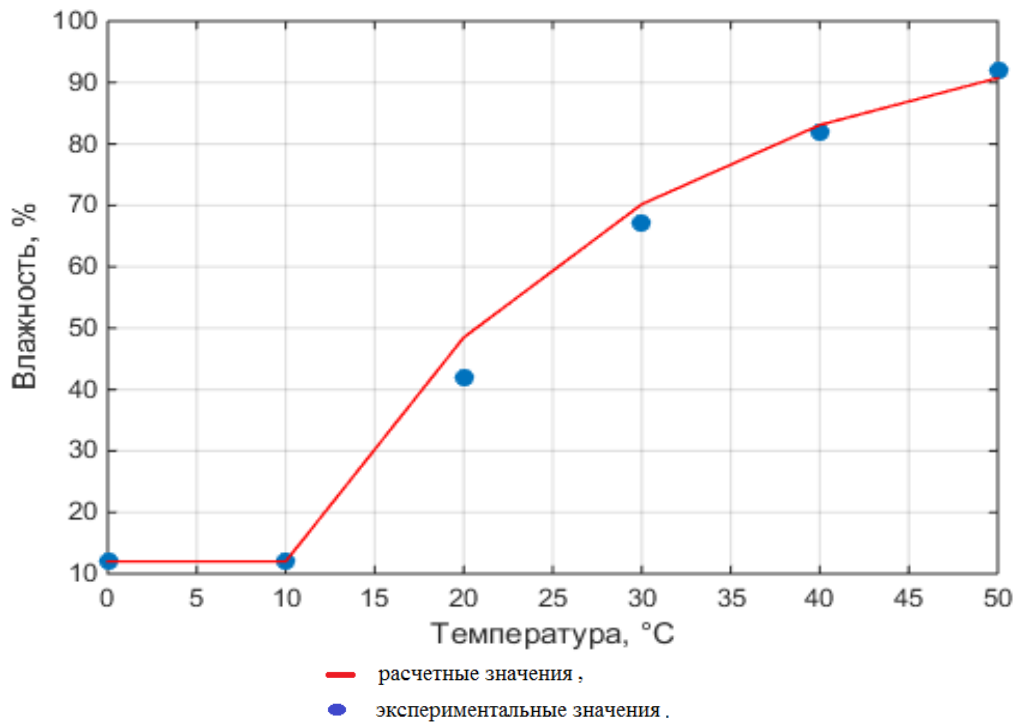


Рисунок 3.7 — Аппроксимация кривой изменения влажности передаточной характеристикой 1-го порядка

Аппроксимируя экспериментальную кривую изменения влажности ошибка аппроксимации составляет 1,2 %.

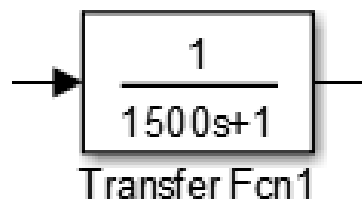


Рисунок 3.8 — Передаточная функция влажности

3.2 Разработка прикладного программного обеспечения

Вначале необходимо разработать общий алгоритм программы, после чего написать подпрограммы для каждой задачи, согласно описанным выше алгоритмам.

Общий алгоритм заключается в том, что при запуске микроконтроллера

устанавливаются климатические параметры по умолчанию, которые соответствуют благоприятной летней погоде в средней полосе России?после чего запускается алгоритм «меню», где пользователю предлагается: запустить или остановить программу, выбрать программу из ранее заданных, задать или отредактировать программу.

При выборе первого пункта, программа переходит в бесконечный цикл. Где на каждой итерации цикла выполняются следующие действия: опрос датчиков, вычисление средних значений климатических параметров, сравнение значений климатических параметров с заданным пользователем значением, если наблюдается отклонение от значений, заданных пользователем, то выставляются соответствующие флаги, после чего начинают работать исполнительные механизмы, чьи флаги были выставлены.

Блок-схема общего алгоритма приведена на рисунке 3.1.

Рассмотрим некоторые особенности управления устройствами ввода и вывода, датчиками и исполнительными механизмами при реализации программы на языке C.

Для управления LCD дисплеем существует встроенная библиотека `lcd.h`, которую мы будем использовать, и которая содержит все необходимые функции.

Что бы её использовать надо с помощью ассемблерной вставки сообщить CodeVisionAVR, куда подключен дисплей:

```
#asm
.equ __lcd_port=0x05; PORTB
#endasm
```

Далее необходимо разработать алгоритм опроса матричной клавиатуры, так как не существует встроенных библиотек. Для этого была разработана собственная функция `unsigned char opros()`, которая осуществляет опрос матричной клавиатуры. Строки клавиатуры являются линиями сканирования, а столбцы — линией возврата. Алгоритм функции, заключается в том, что на

Используя эту функцию в цикле, дает возможность опросить все задействованные каналы АЦП.

Управление шаговыми двигателями осуществляется довольно просто, так как они используют при подключении либо старшие, либо младшие разряды порта, то зададим два массива `shl[8]={0x01,0x03,0x02,0x06,0x04,0x0C,0x08,0x09}`, `shh[8]={0x10,0x30,0x20,0x60,0x40,0xC0,0x80,0x90}`, для младших и старших разрядов соответственно.

Последовательно подавая команды из этих массивов на выход порта можно управлять вращением двигателя:

```
for(i=0;i<8;i++)  
{PORTC = shl[i];  
delay_ms(x);  
PORTC = ~shl[i];}
```

Для того, чтобы двигатель вращался в обратную сторону достаточно заменить `shl[i]` на `shl[8-i]`.

В данном разделе был разработан основной алгоритм, а также реализованы частные решения типовых алгоритмов по управлению системой управления микроклиматом в тепличных комплексах. Были рассмотрены особенности реализации программы на языке программирования C. Что позволило нам скомпилировать программный код (который приведён в приложении), который мы можем использовать при моделировании работы системы в Proteus, прежде чем приступить к макетированию.

3.3 Разработка схемотехники и моделирование в среде Proteus

Proteus — среда для проектирования и отладки электронных устройств, в т.ч. выполненных на основе микроконтроллеров различных семейств. Предоставляет возможности ввода схемы в графическом редакторе, моделирования её работы и разработки печатной платы, включая трехмерную

										Лист
										60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

визуализацию её сборки. Уникальной чертой среды Proteus является возможность эффективного моделирования работы разнообразных микроконтроллеров (PIC, 8051, AVR, HC11, ARM7/LPC2000 и др.) и отладки микропрограммного обеспечения.

Среда PROTEUS имеет огромную библиотеку электронных компонентов, а недостающие — можно сделать самостоятельно. Предусмотрена поддержка SPICE—моделей, которые часто предоставляются производителями электронных компонентов.

В комплект профессиональной версии входят инструменты USBCONN для подключения моделируемой схемы к реальному USB порту компьютера и COMPIМ для подключения к COM-порту ПК.

Среда PROTEUS совместима с популярными средами разработки микропрограммного обеспечения, в т.ч.:

CodeVisionAVR (только МК AVR)

IAR (любые МК)

ICC (МКAVR, msp430, ARM7)

WinAVR (МКAVR)

Keil (МК 8051 и ARM)

HiTECH (МК 8051 и PIC)

В PROTEUS VSM входят как простейшие аналоговые устройства, так и сложные системы на микроконтроллерах.

Достоинства:

- огромная библиотека моделей элементов, пополнять которую может сам пользователь;

- широкий выбор инструментов и функций, среди которых вольтметр, амперметр, осциллограф, всевозможные генераторы, способность отлаживать программное обеспечение микроконтроллеров.

Proteus VSM состоит из двух самостоятельных программ:

- ISIS (Intelligent Schematic Input System) — графический редактор

										Лист
										61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР-02069964-43.03.01-12-20					

принципиальных схем со встроенным менеджером библиотек;

- ARES — графический редактор печатных плат со встроенным менеджером библиотек и трассировщиком.

Основной программой является ISIS, в ней предусмотрена связь с ARES для передачи данных проекта, необходимых при создании печатной платы.

Самое большое пространство отведено под окно редактирования EDIT WINDOW, в котором происходят все основные процессы создания, редактирования и отладки схемы устройства.

Слева вверху находится маленькое окно предварительного просмотра Overview Window. Щелкая левой кнопкой мыши по окну, можно перемещаться по окну предварительного просмотра, если схема имеет большие размеры.

Перемещать окно редактирования по схеме можно другим способом: удерживая нажатой кнопку SHIFT, двигать курсор мыши, не нажимая ее кнопок.

Приближать и отдалять схему в окне можно соответственно кнопками F6 и F7 или же колесом мыши. F5 центрирует схему в окне, а нажатие F8 подгоняет размер схемы под окно редактирования.

Под окном предварительного просмотра находится Object Selector — список выбранных в данный момент компонентов, символов и других элементов. Выделенный в списке объект отображается в окне предварительного просмотра.

Все возможные функции и инструменты Proteus VSM доступны через меню и пиктограммы, находящиеся под меню и слева от основного окна, а также через клавиши F1-F12.

Внизу основного окна расположены слева направо: кнопки вращения и разворота объекта вокруг своей оси, панель управления интерактивной симуляцией (выглядит как панель магнитофона): ПУСК — ПОШАГОВЫЙ РЕЖИМ — ПАУЗА — СТОП и строка статуса, отображающая ошибки, подсказки, текущее состояние процесса симуляции и т.д. Справа отображаются

										Лист
										62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

в миллидьюмах (th) координаты курсора.

Манипулирование объектами осуществляется после их выделения при выключенном процессе симуляции проекта. Для выделения объекта нужно щелкнуть по нему правой кнопкой мыши. Для выделения группы объектов можно либо, удерживая клавишу Ctrl, последовательно щелкать правой кнопкой по всем объектам, либо, удерживая правую кнопку, протащить область выделения по необходимым объектам. Выделять объекты надо очень осторожно, т.к. повторный щелчок правой кнопкой мыши по выделенному объекту удалит его. Удаление выделенных объектов происходит при нажатии кнопки DELETE. Отменить последние и все предыдущие действия по порядку можно с помощью кнопок отмены UNDO, REDO. Кнопки отмены действуют как назад, так и вперед.

Выделенные объекты можно перемещать по схеме, ухватив их левой кнопкой мыши и передвинув в нужное место, отпустить кнопку.

Процесс симуляции проекта осуществляется нажатием кнопки ПУСК, расположенной внизу основного окна панели управления.

Все элементы находятся в библиотеке компонентов. Чтобы попасть в библиотеку, нужно перейти в режим COMPONENT, нажав на соответствующую пиктограмму. Теперь, либо щелкнув по пиктограмме P (Pick Devices — выбор приборов), либо дважды щелкнув левой кнопкой в поле выбора компонентов Object Selector, попадем в библиотеку.

Компоненты можно выбирать по категориям Category, подкатегориям — Subcategory, по производителю Manufacturer (используется очень редко) или же искать, по ключевым словам, в окне «маска», например, ATMega16.

Прежде чем приступать к макетированию, необходимо отладить программу. Для этого удобно использовать компьютерное моделирование системы в Proteus.

Общий вид в ISIS представлен на рисунке 3.9. Из него можно увидеть, что не все элементы подключаются напрямую к микроконтроллеру. А также, что не

										Лист
										63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-43.03.01-12-20

все элементы реализованы в исходном виде.

Датчик DS18B20 (рисунок 3.11)—это цифровой измеритель температуры, с разрешением преобразования 9 — 12 разрядов и функцией тревожного сигнала контроля за температурой. Параметры контроля могут быть заданы пользователем и сохранены в энергонезависимой памяти датчика.

Диапазон измерения температуры составляет от -55 до +125 °С. Для диапазона от -10 до +85 °С погрешность не превышает 0,5 °С.

У каждой микросхемы DS18B20 есть уникальный серийный код длиной 64 разряда, который позволяет нескольким датчикам подключаться на одну общую линию связи. через один порт микроконтроллера можно обмениваться данными с несколькими датчиками, распределенными на значительном расстоянии. Режим крайне удобен для использования в системах экологического контроля, мониторинга температуры в зданиях, узлах оборудования.

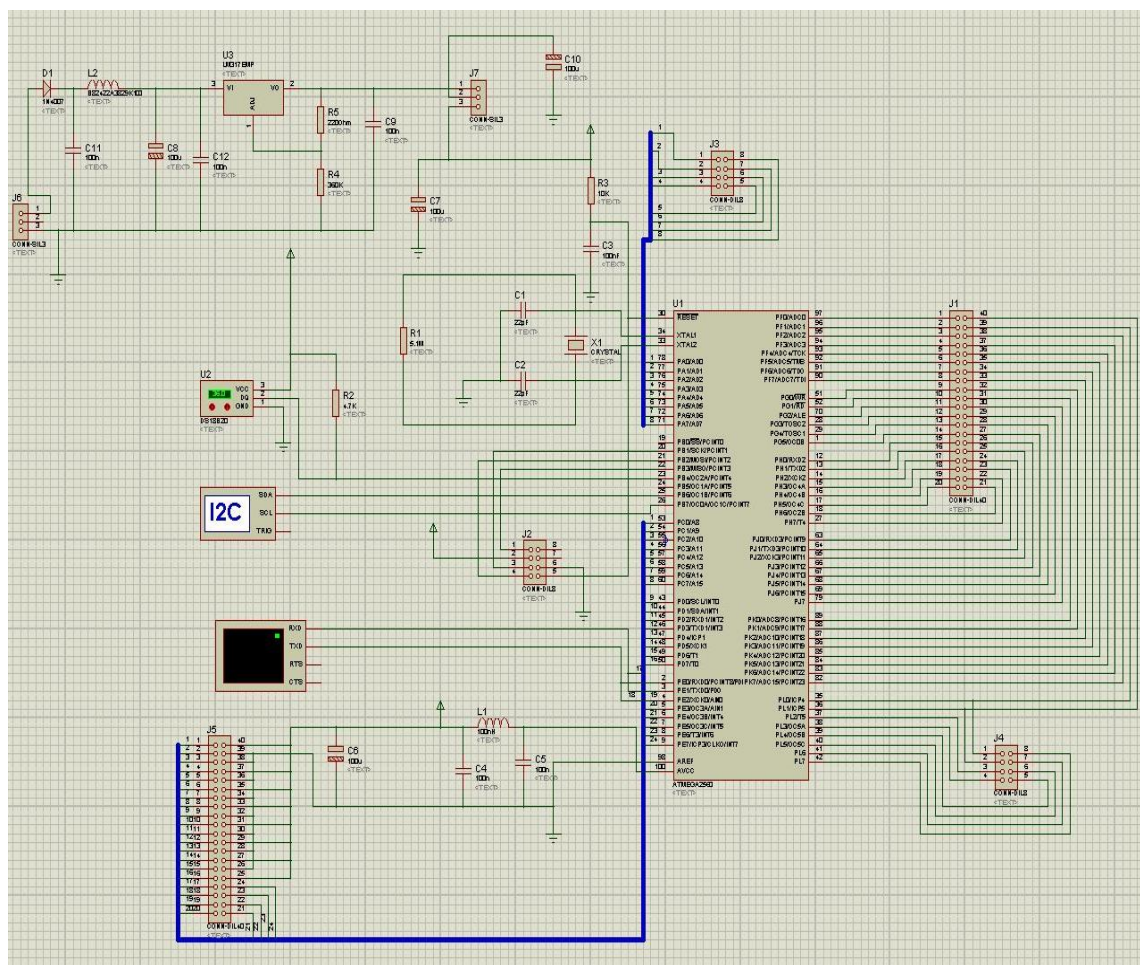


Рисунок 3.9 — Макет устройства, разработка печатной платы в ISIS

В схеме, помимо стандартного интерфейса RS-232, предусмотрена возможность подключиться напрямую к выводам TX и RX испытуемого микроконтроллера, блока GPS или другого устройства, имеющего интерфейс UART и необходимую нам скорость работы.

Микроконтроллер представлен RISC процессором, разработанным AVR и функционирующим на частоте 16 МГц, которая максимальна из всей линейки продуктов ATMe1 (рисунок 3.12).

Процессор характеризуется, как вычислитель одного по времени отклика, на выполнение любой команды, вне зависимости от ее сложности. Разрядность шины адресов и внутренних регистров — 8 бит.

Наибольшие плюсы ATMeга2560 сравнительно с моделями контроллеров других производителей — это универсальность, отработанная система разработки кода процессора Arduino IDE, документированность возможностей, наличие множества модулей расширения.

Датчик углекислого газа —MH-Z16 —считается промышленным датчиком, может измерять до 5% CO₂. Этот датчик представлен на рисунке 3.13.

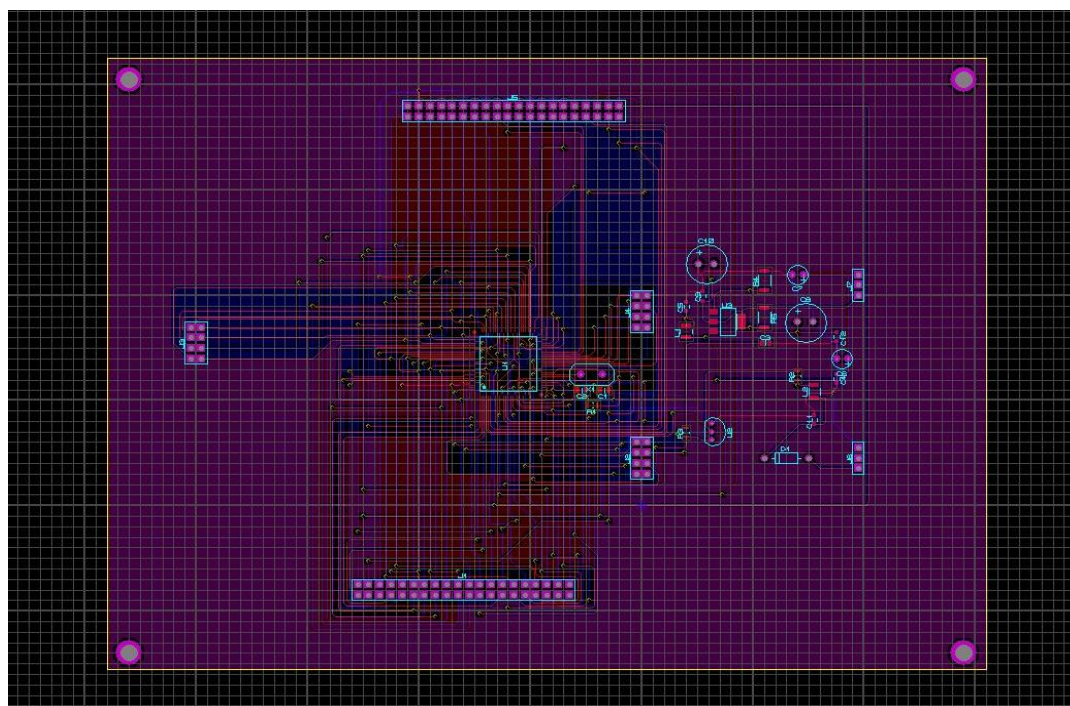


Рисунок 3.10 — Вид в ARES

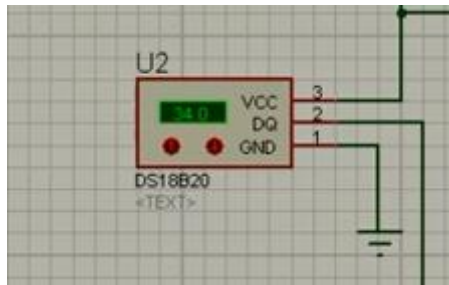


Рисунок 3.11 — Датчик DS18B20

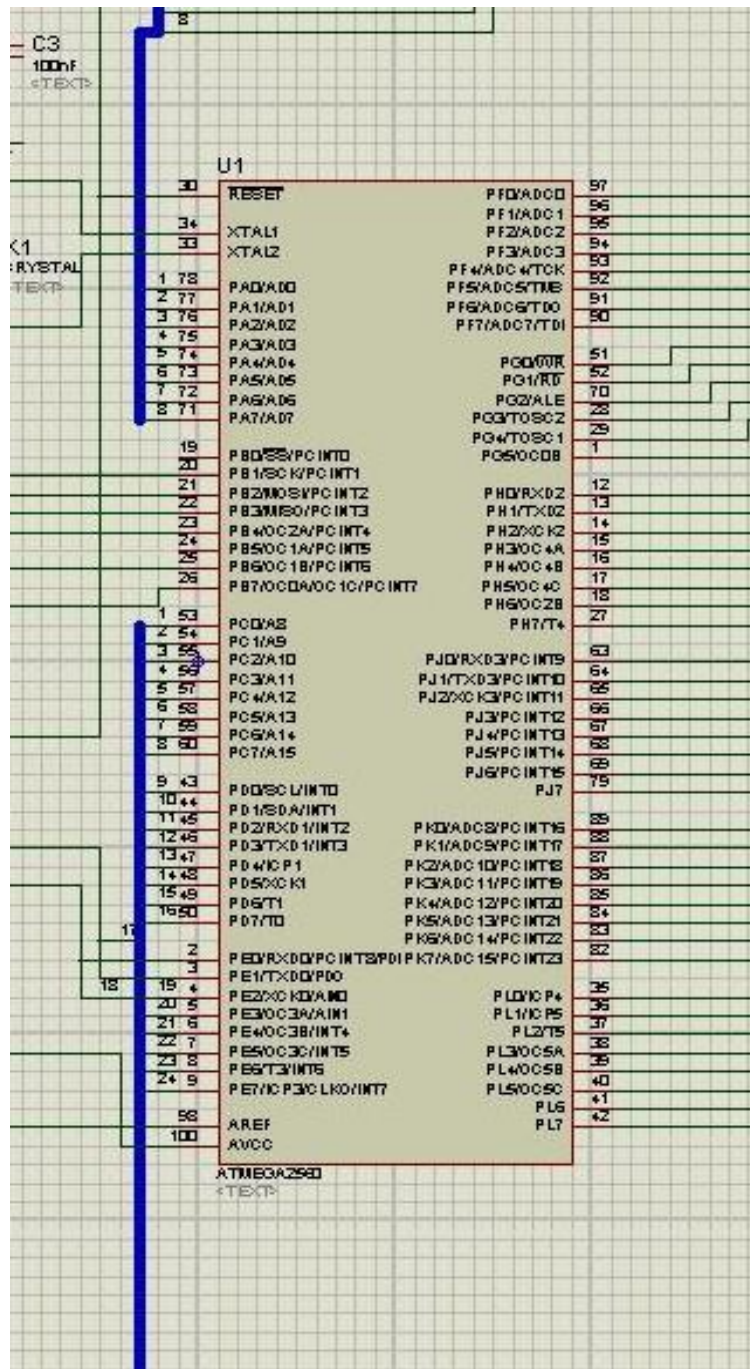


Рисунок 3.12 — Микроконтроллер Atmega2560

В любой схеме стабилизатора компенсационного типа требуется опорное напряжение, с которым сравнивается величина выходного напряжения. Стабильность выходного напряжения стабилизатора не может быть выше стабильности его источника опорного напряжения. Источники опорного напряжения (ИОН) широко применяются также в качестве эталонной меры в аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователях, а также в разного рода пороговых устройствах.

Основное назначение ИОН — создавать образцовое напряжение, которое могло бы быть использовано электронными устройствами преобразования информации в качестве меры, эталона.

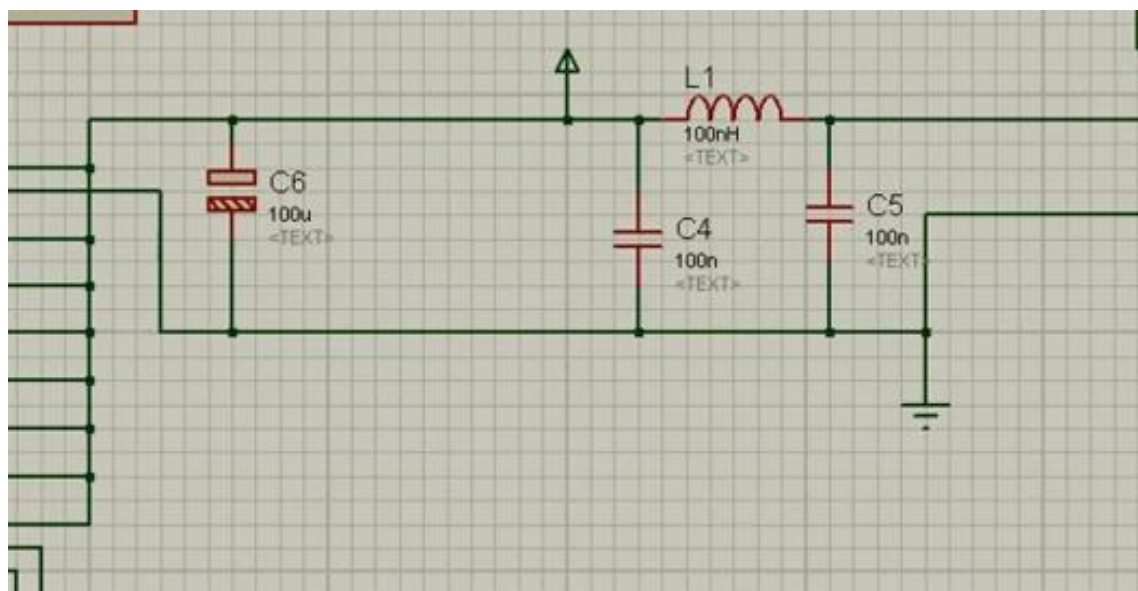


Рисунок 3.15 — Источник опорного напряжения

Изображенная схема выполнена в виде регулируемого стабилизатора, и дает возможность создания напряжения на выходе от 1 до 30В. Следовательно, можно применять этот прибор для питания различных устройств для питания 1,5 В, а также для подключения устройств на 3 вольта. В нашем случае устройство применяется для плеера, напряжение на выходе настроено на 3 В.

Для измерения температуры и углекислого газа применим микросхему изображенной на рисунке 3.17— это линейный стабилизатор напряжения с малым падением напряжения.

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

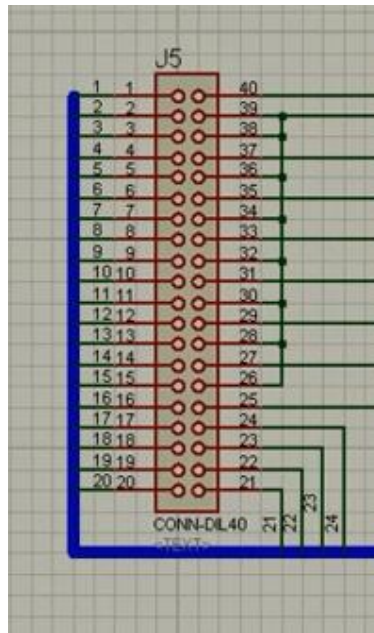


Рисунок 3.16 — Разъем внешнего подключения

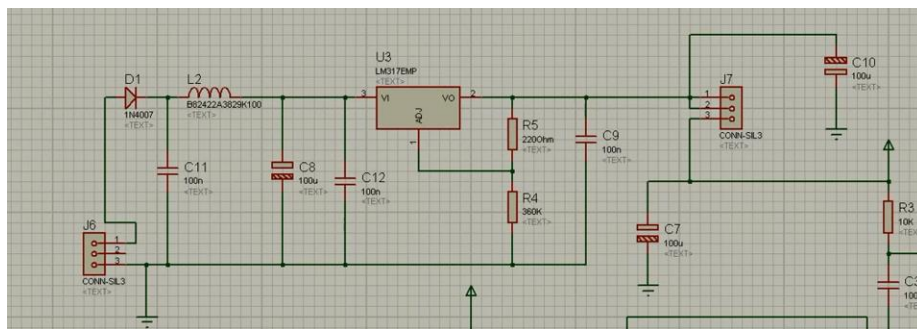


Рисунок 3.17 — Стабилизатор напряжения

3.4 Разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров

3.4.1 Среда проектирования устройства мониторинга и обработки

После разработки схемы устройства, программа PROTEUS дает возможность исследовать её в трехмерном виде, чтобы можно было должным образом предварительно просмотреть, как она будет выглядеть в реальности и возможно сделать заключительные изменения в проекте перед макетированием., Вызовом механизма 3D визуализации в меню «Выход» в ARES.

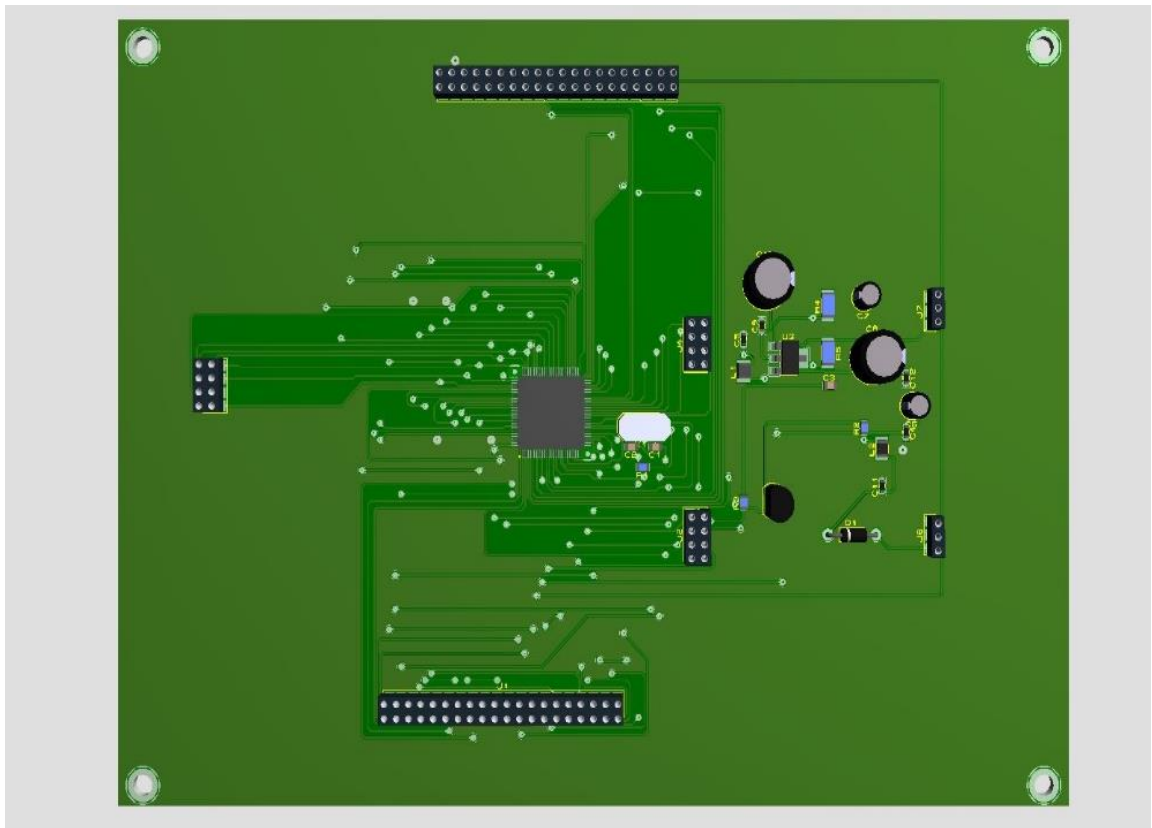


Рисунок 3.18 — Визуализация устройства вид спереди

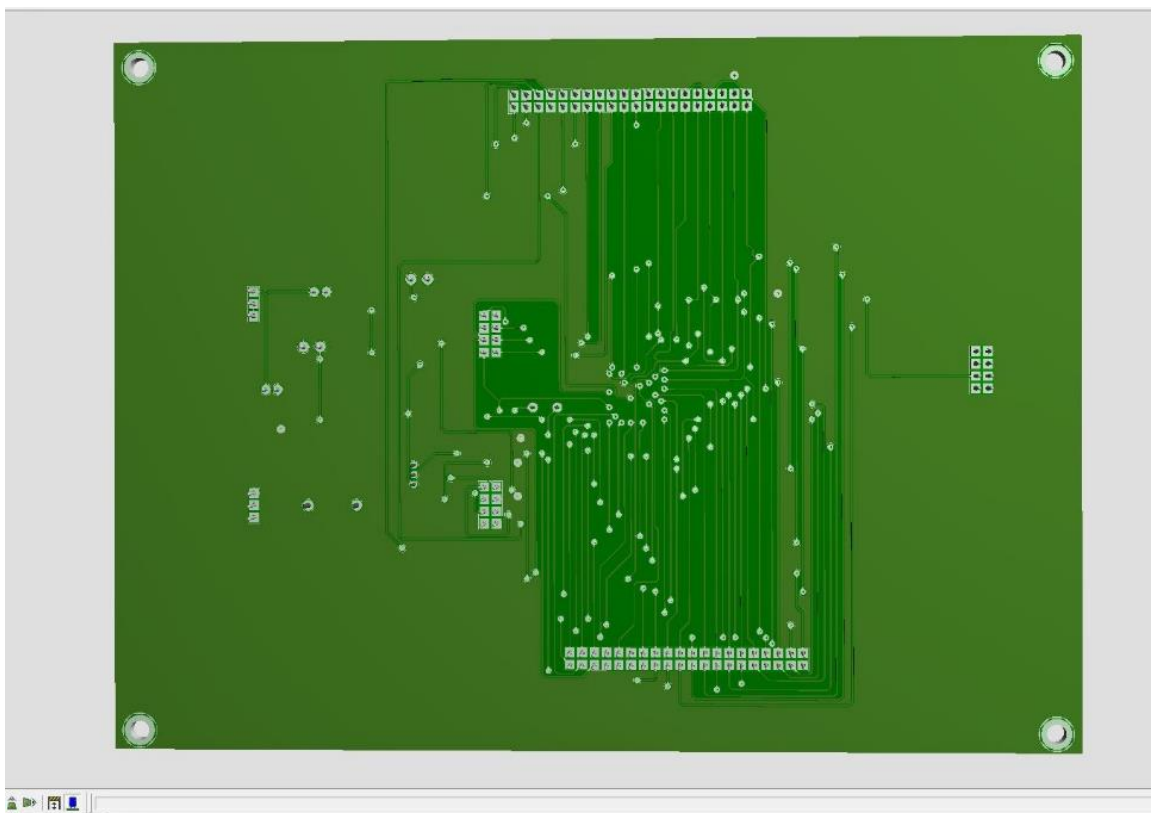


Рисунок 3.19 — Визуализация устройства вид сзади

3.4.2 Разработка системы автоматического сбора данных управления досвечиванием

Одним из важных аспектов тепличных хозяйств является освещенность. В связи с этим фактом был разработан светильник для данной автоматизированной системы (рисунок 3.20). Чертеж устройства светильника находится в Приложении Б.

Данная модель осветительного прибора имеет функцию правления мощностью (рисунки 3.21, 3.22)

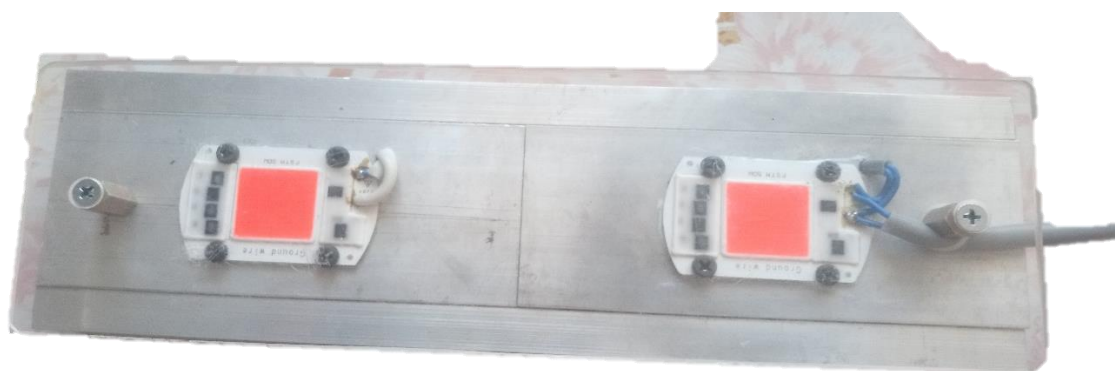


Рисунок 3.20 — Осветительный прибор



Рисунок 3.21 — Осветительный прибор при включении на минимальную мощность



Рисунок 3.22 — Осветительный прибор при увеличении мощности

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие автоматизированных систем мониторинга и обработки климатических параметров, а также их управление в тепличных хозяйствах не стоит на месте. Современные системы имеют, с каждым годом, все больше дополнительных возможностей.

Основной задачей данной работы являлась разработка системы мониторинга и обработки климатических параметров, что было успешно выполнено. Разработанная система служит для снятия показателей микроклимата теплицы, в процессе выращивания растений. Мониторинг необходим для более эффективного процесса досвечивания.

В ходе выполнения бакалаврской работы решены все задачи и достигнута цель дипломного проекта:

Изучение теоретических основ выращивания растений в тепличных хозяйствах раскрывает основы роста (фотосинтеза) растений. Благодаря этим знаниям есть возможность определить необходимые показатели для контроля и мониторинга микроклимата.

Изучение требований и современных автоматизированных систем управления климатическими параметрами можно сделать вывод о высокой стоимости данных установок, а также о необходимости более универсальных аналогов систем мониторинга и обработки климатических параметров.

					БР–02069964–43.03.01–12–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Абдрахманов В. Х. Информационно-измерительная система дистанционного контроля параметров микроклимата / В. Х. Абдрахманов, К. В. Важдаев, Р. Б. Салихов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – №3

2 Аверчева О. В. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками / О. В. Аверчева, Ю. А. Беркович, А. Н. Ерохин, Т. В. Жигалова, С. И. Погосян, С. О. Смолянина // Физиология растений. – 2009. – Т. 56. – № 1. – С. 17–26.

3 Айзенберг Ю. Б. О стратегии и тактике развития светотехнической промышленности РФ и задаче снижения вдвое энергопотребления на электрическое освещение при улучшении условий жизни людей / Ю. Б. Айзенберг // Светотехника. – 2013. – № 5–6. – С. 62–69.

4 Акинфеева Н. Б. Об использовании эффективных величин при решении сельскохозяйственных и эколого-биосферных проблем / Н. Б. Акинфеева, В. А. Мудрик, М. Н. Поджарский, И. И. Свентицкий // Светотехника. – 1979. – № 5. – С. 17–20.

5 Астафурова Т., Лукаш В., Гончаров А., Юрченко В. Фитотрон для светодиодной досветки растений в теплицах и на дому / Т. Астафурова, В. Лукаш, А. Гончаров, В. Юрченко // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 3. – С. 36–38.

6 Валяев Д. Б. Техничко-экономическое обоснование применения светодиодных светильников в теплицах / Д. Б. Валяев, В. В. Малышев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2013. – № 3 (1). – С. 55–57.

7 Витер А. Ф. Обработка почвы как фактор регулирования почвенного плодородия: монография / А. Ф. Витер, В. И. Турусов, В. М. Гармашов, С. А. Гаврилова. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 173 с.

8 Водяников В. Т. Экономика сельского хозяйства : учебник /

					БР–02069964–43.03.01–12–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

В. Т. Водяников, Е. Г. Лысенко, Е. В. Худякова, А. И. Лысюк ; под редакцией В. Т. Водяникова. – 2-е изд., доп. – СПб. : Лань, 2015. – 544 с.

9 Гиш Р. А. Модернизация и совершенствование управления параметрами микроклимата - основа теплиц v поколения / Р. А. Гиш, Е. Н. Карпенко // Научный журнал КубГАУ - Scientific Journal of KubSAU. – 2016. – №123.

10 ГОСТ 23198-94 Лампы электрические. Методы измерения спектральных и цветовых характеристик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200013550>

11 ГОСТ 25024.7-90 Индикаторы знаковосинтезирующие. Методы измерения спектральных характеристик и координат цветности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200017186>

12 ГОСТ 8.195-89 Государственная система обеспечения единства измерений. Светодиоды. Методы измерения фотометрических характеристик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200101091>

13 ГОСТ Р8. – 2010 Светодиоды. Методы измерения фотометрических характеристик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/77/474/79163.php>

14 Григорай Е. Е. Световой режим и продуктивность тепличной культуры огурца при использовании дополнительных источников освещения в междурядьях / Е. Е. Григорай, И. В. Далькэ, Г. Н. Табаленкова, Т. К. Головки // Гавриш. – 2012. № 3. – С. 10–13.

15 Грудинин В. С. Адаптивное итерационное управление температурой в теплице / В. С. Грудинин, В. С. Хорошавин, А. В. Зотов, С. В. Грудинин // Вестник МГУ. – 2019. – №3.

16 Долгих П. П. Энергосберегающие облучательные установки для сооружений защищенного грунта / П. П. Долгих, В. Р. Завей-Борода, Я. А. Кунгс, В. Д. Никитин, Н. В. Цугленок. – Красноярск: Издательство Красноярского государственного аграрного университета, 2006. – 108 с.

17 Иванов С. А. Модель системы управления комбинированным

						БР–02069964–43.03.01–12–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			75

отоплением теплицы в условиях закрытого грунта на базе микроконтроллера raspberry Pi / С. А. Иванов, И. Ю. Квятковская, А. Ф. Дорохов, Н. Д. Шишкин // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – №2.

18 Катков А. Ю. Проблемы построения систем управления микроклиматом теплиц / А. Ю. Катков, И. В. Ползунов, Д. Л. Петрянин // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2014. – №17.

19 Ключев А. С. Автоматизация настройки систем управления / А. С. Ключев, В. Я. Ротач, В. Ф. Кузицин. – М. : Альянс, 2015. – 272 с.

20 Козырева И. Н. Возделывание светолюбивых культур в условиях искусственного освещения различными источниками света / И. Н. Козырева, В. О. Садченко // Высокие технологии в современной науке и технике. – Томск : Изд-во ТПУ, 2014 . – С. 232– 235.

21 Козырева И. Н. Графоаналитическая интерпретация параметров и характеристик источников излучения для растениеводства / И. Н. Козырева, В. Д. Никитин, Н. В. Цугленок // Вестник КрасГАУ. – 2013. – №. 12. – С. 236–241.

22 Козырева И. Н. Использование корреляции между фотометрическими и фотосинтезными величинами для оценки эффективности облучательных установок / И. Н. Козырева, В. Д. Никитин, Я. А. Кунгс // Сибирский энергетический форум (в рамках XXI специализированной выставки «Электротехника. Энергетика. Автоматизация. Светотехника»): сборник материалов. – 2013. – С. 73–77.

23 Козырева И. Н. Оценка плотности фотосинтетического потока фотонов / И. Н. Козырева, В. И. Корепанов // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сборник научных трудов XI Международной научно-технической конференции в рамках II Всероссийского светотехнического форума с международным участием. – Саранск: Афанасьев В.С. – 2013. – С. 38–42.

					БР–02069964–43.03.01–12–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

33 Молчанов А. Г. Энергосберегающее оптическое облучение промышленных теплиц: монография / А. Г. Молчанов, В. В. Самойленко; Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь : АГРУС, 2013. – 120 с.

34 Нечаев В. И. Организация производства и предпринимательство в АПК : учебник / В. И. Нечаев, П. Ф. Парамонов, Ю. И. Бершицкий ; под общей редакцией П. Ф. Парамонова. – 3-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2018. – 472 с.

35 Никитин В. Д. Экономический анализ установок наружного освещения / В. Д. Никитин, А. А. Матющенко, Ю. С. Шаламова // Известия Томского политехнического университета. – 2007 – Т. 310 – № 1. – С. 234–239.

36 Обыночный А. Н. Оценка превратимости главного энергетического входа в аграрное производство / А. Н. Обыночный, Л. Ю. Юферев, И. И. Свентицкий // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 9 – С. 51–53.

37 Параскевов А. В. Предпосылки и особенности разработки автоматизированной системы управления «Микроклимат» / А. В. Параскевов, С. С. Лебедев // Научный журнал КубГАУ – Scientific Journal of KubSAU. – 2015. – №112.

38 Прикупец Л. Б. 40 лет тепличному светильнику в России // Теплицы России. – 2012. – № 4. – С. 55–56.

39 Прикупец Л. Б. Светодиодные облучатели и перспективы их применения в теплицах / Л. Б. Прикупец // Теплицы России. – 2010. – № 1. – С. 52–55.

40 Пыжов В. К. Системы кондиционирования, вентиляции и отопления : учебник / В. К. Пыжов, Н. Н. Смирнов ; ИГЭУ. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 528 с.

41 Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения: учебник / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 336 с.

					БР–02069964–43.03.01–12–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

42 Соколов А. В. Индикатор мощности ФАР для освещения растений / А. В. Соколов // Инновации в сельском хозяйстве. – 2013. – № 3 (1). – С. 9–12.

43 Суворин А. В. Монтаж и эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения : учебное пособие / А. В. Суворин. – Красноярск : СФУ, 2018. – 400 с.

44 Сулацков В. Г. Роль фотосинтетически эффективных величин и единиц в создании ламп для растениеводства / В. Г. Сулацков // Светотехника. – 1979. – № 9. – С. 19–20.

45 Тихомиров А. А. Спектральный состав света и продуктивность растений / А. А. Тихомиров, Т. М. Лисовский, Ф. Я. Сидько. – Новосибирск : Наука (Сибирское отд.), 1991, – 168 с.

46 Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова– М. : НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2015. – 377 с.

47 Шиков С.А. Вопросы об эффективности светодиодов в тепличных хозяйствах / С.А. Шиков, С.Н. Ивлиев, Е.Г.Алексеев, Е. М. Мигачева // XLVII Огарёвские чтения Материалы научной конференции. В 3-х частях. Составитель А. В. Столяров. Ответственный за выпуск П.В. Сенин. – 2019. – С. 98-102.

48 Шиков С. А. Математическое моделирование процессов фотосинтеза в объектах облучения / С.А.Шиков, С.Н. Ивлиев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2019. – Т. 21. – № 3 (89). – С. 83-88.

49 Шиков С. А. Исследование эффективности автоматизации тепличных хозяйств / С.А.Шиков, А.В.Волков, С.Н.Ивлиев, Е.М.Мигачёва // Материалы XXIII научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва Материалы конференции. В 3-х частях. Составитель А.В. Столяров. Ответственный за выпуск П.В. Сенин. – 2019. – С. 84-88.

50 Шиков С. А. Разработка автоматизированной системы мониторинга и

						БР–02069964–43.03.01–12–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			79

управления досвечиванием растений в закрытом грунте / С.А. Шиков, Е. М. Мигачева // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения – 2019») Материалы XI Международной научно-технической конференции с элементами научной школы и конкурсом научно-исследовательских работ для студентов, аспирантов и молодых ученых. под ред. Е. А. Печерской. – 2019. – С. 220-225.

					БР–02069964–43.03.01–12–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Код программного обеспечения

```
#include<NDIRZ16.h>
#include<SoftwareSerial.h>
#include<OneWire.h>
#include<SD.h>

//Arduino UNO Pin D2 (Software Serial Rx) <====> Adaptor's Green Wire (Tx)
//Arduino UNO Pin D3 (Software Serial Tx) <====> Adaptor's Yellow Wire
(Rx)
SoftwareSerial mySerial(12,13);
NDIRZ16 mySensor = NDIRZ16(&mySerial); //(углекислыйгаз)

OneWire ds(10); // on pin 10 (a 4.7K resistor is necessary) (температура)

File myfile; //флэшка

int TSL230_Pin = 4; //TSL230 output
int TSL230_s0 = 7; //TSL230 sensitivity setting 1
int TSL230_s1 = 5; //TSL230 sensitivity setting 2
int TSL230_samples = 6; //higher = slower but more stable and accurate
(освещённость-частота)

voidsetup()
{
Serial.begin(9600);
```

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист 81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
mySerial.begin(9600);
  setupTSL230();
  Serial.println("Wait 5 seconds for the sensor to startup");
delay(5000);

// объявить стандартный CS вывод как выход
// pinMode(53, OUTPUT);

// if (!SD.begin(4)) {
//   Serial.println("initialization of the SD card failed!");
//   return;
// }
// Serial.println("initialization of the SDcard is done.");

};

void loop() {
if (mySensor.measure()) {

float lightLevel = readTSL230(TSL230_samples);
byte i;
byte present = 0;
byte type_s;
byte data[12];
byte addr[8];
float celsius, fahrenheit;
```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
if ( !ds.search(addr)) {
// Serial.println("No more addresses.");
// Serial.println();
ds.reset_search();
  delay(250);
  return;
}

// Serial.print("ROM =");
for( i = 0; i < 8; i++) {
// Serial.write(' ');
// Serial.print(addr[i], HEX);
}

if (OneWire::crc8(addr, 7) != addr[7]) {
  Serial.println("CRC is not valid!");
  return;
}
// Serial.println();

// the first ROM byte indicates which chip
switch (addr[0]) {
  case 0x10:
    // Serial.println(" Chip = DS18S20"); // or old DS1820
    type_s = 1;
    break;
  case 0x28:
```

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
// Serial.println(" Chip = DS18B20");
type_s = 0;
    break;
    case 0x22:
// Serial.println(" Chip = DS1822");
    type_s = 0;
    break;
default:
    Serial.println("Device is not a DS18x20 family device.");
    return;
}

ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44);    // start conversion, with parasite power on at the end

delay(1000);    // maybe 750ms is enough, maybe not
// we might do a ds.depower() here, but the reset will take care of it.

present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE);    // Read Scratchpad

//Serial.print(" Data = ");
//Serial.print(present, HEX);
// Serial.print(" ");
for ( i = 0; i < 9; i++) {    // we need 9 bytes
```

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
data[i] = ds.read();
// Serial.print(data[i], HEX);
  // Serial.print(" ");
}
// Serial.print(" CRC=");
// Serial.print(OneWire::crc8(data, 8), HEX);
// Serial.println();

// Convert the data to actual temperature
// because the result is a 16 bit signed integer, it should
// be stored to an "int16_t" type, which is always 16 bits
// even when compiled on a 32 bit processor.
int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
if (type_s) {
  raw = raw << 3; // 9 bit resolution default
  if (data[7] == 0x10) {
    // "count remain" gives full 12 bit resolution
    raw = (raw & 0xFFF0) + 12 - data[6];
  }
} else {
  byte cfg = (data[4] & 0x60);
  // at lower res, the low bits are undefined, so let's zero them
  if (cfg == 0x00) raw = raw & ~7; // 9 bit resolution, 93.75 ms
  else if (cfg == 0x20) raw = raw & ~3; // 10 bit res, 187.5 ms
  else if (cfg == 0x40) raw = raw & ~1; // 11 bit res, 375 ms
  //// default is 12 bit resolution, 750 ms conversion time
}
```

					БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
celsius = (float)raw / 16.0;
fahrenheit = celsius * 1.8 + 32.0;
Serial.print("Temperature = ");
Serial.print(celsius);
Serial.print(" Celsius, ");
Serial.print(fahrenheit);
Serial.println(" Fahrenheit");
Serial.print("CO2 Concentration is ");
Serial.print(mySensor.ppm);
Serial.println("ppm");
Serial.print("Frequency of light ");
Serial.println(lightLevel);
Serial.println(" ");

File myfile = SD.open("Sensors.txt", FILE_WRITE);
if (myfile)
{
myfile.print("Temperature = ");
myfile.print(celsius);
myfile.print(" Celsius, ");
myfile.print(fahrenheit);
myfile.println(" Fahrenheit");
myfile.print("CO2 Concentration is ");
myfile.print(mySensor.ppm);
myfile.println("ppm");
myfile.print("Frequency of light ");
myfile.println(lightLevel);
```

						БР-02069964-43.03.01-12-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			86

Окончание ПРИЛОЖЕНИЯ А

```
myfile.println(" ");  
myfile.close(); // закрыть файл  
}  
}  
delay(2000);  
}
```

```
void setupTSL230(){  
pinMode(TSL230_s0, OUTPUT);  
pinMode(TSL230_s1, OUTPUT);  
//configure sensitivity – Can set to  
//S1 LOW | S0 HIGH: low  
//S1 HIGH | S0 LOW: med  
//S1 HIGH | S0 HIGH: high
```

```
digitalWrite(TSL230_s1, LOW);  
digitalWrite(TSL230_s0, HIGH);  
}
```

```
float readTSL230(int samples){  
//sample light, return reading in frequency  
//higher number means brighter  
float start = micros();  
int readings = 0;
```

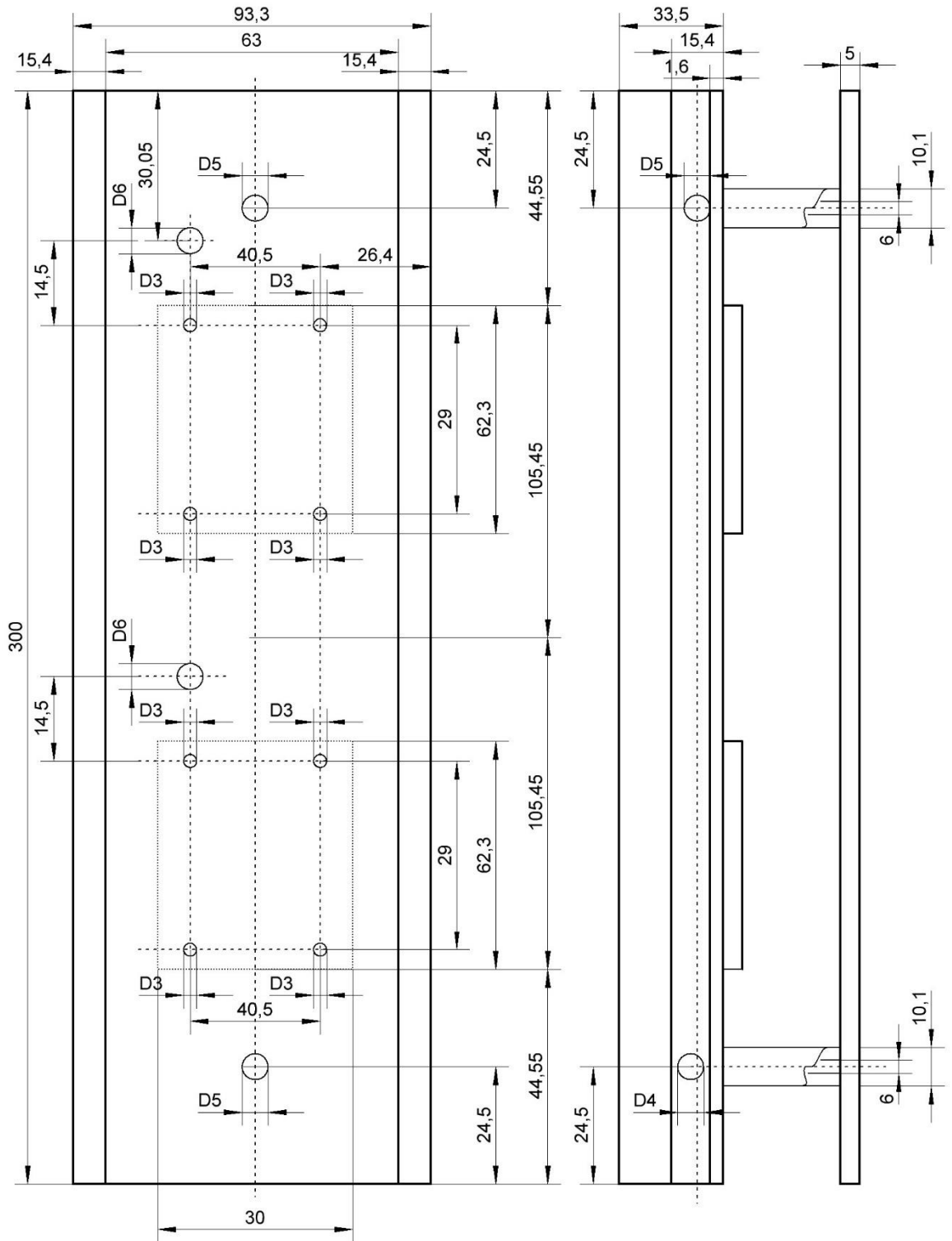
```
while(readings < samples){ pulseIn(TSL230_Pin, HIGH); readings ++; } float  
length = micros() - start; float freq = (1000000 / (length / samples)) * 10; return freq;  
}
```

					БР–02069964–43.03.01–12–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Чертеж светильника для автоматизированной системы



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-02069964-43.03.01-12-20

Лист

88