



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационной технологии и робототехники
Направление подготовки – 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»
ООП/ОПОП Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Разработка автоматизированной системы выращивания земляники

УДК 681.51:631.544:634.75

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E92	Нгуен Хоанг Тиен		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ОАР ИШИТР – руководитель отделения на правах кафедры	Филипас Александр Александрович	к.т.н., доцент ВАК		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидова	-		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Поберезкина Екатерина Евгеньевна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Киселев Александр Викторович	к.т.н.		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
ОПК(У)-2	Владеет физико-математическим аппаратом, необходимым для описания мехатронных и робототехнических систем
ОПК(У)-3	Владеет современными информационными технологиями, готовностью применять современные средства автоматизированного проектирования и машинной графики при проектировании систем и их отдельных модулей, а также для подготовки конструкторско-

	технологической документации, соблюдать основные требования информационной безопасности
ОПК(У)-4	Готов собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-5	Способен использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники
ПК(У)-2	Способен разрабатывать программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования
ПК(У)-3	Способен разрабатывать экспериментальные макеты управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводить их экспериментальное исследование с применением современных информационных технологий
ПК(У)-4	Способен осуществлять анализ научно-технической информации, обобщать отечественный и зарубежный опыт в области средств автоматизации и управления, проводить патентный поиск
ПК(У)-5	Способен проводить эксперименты на действующих макетах, образцах мехатронных и робототехнических систем по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств
ПК(У)-6	Способен проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных пакетов с целью исследования математических моделей мехатронных и робототехнических систем
ПК(У)-7	Готов участвовать в составлении аналитических обзоров и научно-технических отчетов по результатам выполненной работы, в подготовке публикаций по результатам исследований и разработок

ПК(У)-8	Способен внедрять результаты исследований и разработок и организовывать защиту прав на объекты интеллектуальной собственности
ПК(У)-9	Способен участвовать в качестве исполнителя в научно-исследовательских разработках новых робототехнических и мехатронных систем
ПК(У)-10	Готов участвовать в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей
ПК(У)-11	Способен производить расчёты и проектирование отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматизации, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-12	Способен разрабатывать конструкторскую и проектную документацию механических, электрических и электронных узлов мехатронных и робототехнических систем в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями
ПК(У)-13	Готов участвовать в проведении предварительных испытаний составных частей опытного образца мехатронной или робототехнической системы по заданным программам и методикам и вести соответствующие журналы испытаний
Профессиональные компетенции университета	
ДПК (У)-1	Способен проводить проверку технического состояния оборудования, обоснование экономической эффективности внедрения проектируемых модулей и подсистем мехатронных и робототехнических устройств, настройку системы управления и обработки информации с использованием соответствующих инструментальных средств



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Киселев А. В.

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Е92	Нгуен Хоанг Тиен

Тема работы:

Разработки автоматизированной системы выращивания земляники	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	03.02.2023 №34–87/с

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	04.06.2023
--------------------------------------------	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</p>	<p>Объектом исследования являются методы регулирования параметров микроклимата теплицы при выращивании ананасной земляники. Объектом проектирования является автоматизированная система выращивания ананасной земляники, основанная на точном земледелии.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке (аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор характеристик ананасной земляники и климата Вьетнама. 2. Обзор и анализ существующих решений. 3. Исследования методов регулирования параметров микроклимата теплицы. 4. Разработка структурной и функциональной схемы системы выращивания. 5. Расчеты параметров теплицы и системы.

	6. Выбор средств реализации системы. 7. Разработка принципиальной схемы системы. 8. Проектирование 3Д-модель системы-теплицы. 9. Разработка алгоритмов работы системы.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Структурная схема системы. 2. Функциональная схема системы. 3. Принципиальная схема системы. 4. 3Д-модель системы-теплицы. 5. Блок-схемы алгоритмов режимов работы системы.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Татьяна Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, старший преподаватель ООД ШБИП

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.2023
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ОАР ИШИТР – руководитель отделения на правах кафедры	Филипас Александр Александрович	к.т.н., доцент ВАК		03.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е92	Нгуен Хоанг Тиен		03.02.2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Уровень образования – бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения – осенний/весенний семестр 2022/2023 учебного года

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8E92	Нгуен Хоанг Тиен

Тема работы:

Разработки автоматизированной системы выращивания земляники

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	04.06.2023
--------------------------------------------	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальной балл раздела (модуля)
27.05.2023 г.	<i>Основная часть ВКР</i>	60
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Социальная ответственность»</i>	20
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ОАР ИШИТР – руководитель отделения на правах кафедры	Филипас Александр Александрович	к.т.н., доцент ВАК		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Киселев Александр Викторович	к.т.н.		

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E92	Нгуен Хоанг Тиен		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 137 страниц, 18 рисунков, 7 таблиц, 103 источника литературы, 11 приложений.

Ключевые слова: земляника, выращивание, автоматизированная система, микроклимат, регулирование температуры, регулирование влажности.

Объектом исследования являются методы регулирования параметров микроклимата теплицы при выращивании ананасной земляники.

Объектом проектирования является автоматизированная система выращивания ананасной земляники, основанная на точном земледелии.

Цель работы – разработки автоматизированной системы выращивания земляники с возможностью регулирования параметров микроклимата под условия выращивания для применения в климате Вьетнама.

В результате работы были рассмотрены существующие методы регулирования параметров микроклимата и предложена новая конструкция теплицы для применения вместе с разработанной системой. Были проведены необходимые расчеты мощности для системы и выбор компоненты для реализации системы. Также были разработаны структурная, функциональная схемы, схемы соединения и алгоритмы работы двух главных компонентов. Были проведены моделирование процесса регулирования температуры и влажности воздуха в среде MATLAB Simulink. Была создана 3D-модель, для общего представления о концепции комплекса системы-теплицы.

В будущем планируется продолжение работы по данной тематике.

Для выполнения выпускной квалификационной работы использовались программные продукты Microsoft Office, draw.io, Mathcad, MATLAB, MATLAB Simulink, KiCad, Autodesk Inventor.

Содержание

Введение.....	12
Определения, обозначения, сокращения	14
1 Комплексный обзор материалов.....	15
1.1 Обзор земляники	15
1.1.1 Происхождение и хозяйственная ценность земляники	15
1.1.2 Биологические особенности земляники	15
1.2 Методы выращивания земляники с применением высоких технологий в управлении параметрами микроклимата.....	17
1.3 Обзор автоматизированных системы выращивания земляники	18
1.4 Потенциалы и проблемы выращивания земляники во Вьетнаме	21
2 Подходы к регулированию параметров микроклимате в теплице выращивания земляники	23
2.1 Факторы в проектировании системы выращивания земляники	23
2.2 Подходы к регулированию параметров микроклимата в теплице выращивания земляники	25
2.2.1 Освещение	25
2.2.2 Регулирование температуры, влажности воздуха и вентиляция	26
2.2.3 Обогащение CO ₂	26
3 Расчеты параметров автоматизированной системы	27
3.1 Предложение по конструкций теплицы.....	27
3.2 Расчеты параметров автоматизированной системы	29
3.2.1 Система дополнительного освещения	30
3.2.2 Система регулирования температуры и влажности воздуха.....	31
3.2.3 Система обогащения CO ₂	40

4	Разработка автоматизированной системы выращивания земляники	41
4.1	Разработка структурной схемы системы	41
4.2	Разработка алгоритмов работы системы	43
4.3	Выбор средства реализации системы.....	44
4.4	Разработка функциональной схемы и схемы соединения системы.....	53
5	Моделирование системы	54
5.1	Моделирование процесса регулирования температуры и влажности... ..	54
5.2	Проектирование 3Д-модели системы-теплицы	61
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... ..	63
6.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	63
6.1.1	Анализ конкурентных технических решений.....	63
6.1.2	SWOT-анализ.....	64
6.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	66
6.3	Планирование и формирование бюджета научных исследований	67
6.3.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	67
6.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ	67
6.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	67
6.3.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	67
6.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	70
	Вывод по разделу	72
7	Социальная ответственность	75

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
7.2 Производственная безопасность	79
7.3 Экологическая безопасность.....	83
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	84
Выводы по разделу.....	85
Заключение	87
Список использованных источников	88
Приложение А Технология регулирования температуры и влажности воздуха в теплице	101
Приложение Б Источники CO ₂	106
Приложение В Алгоритмы работы системы	108
Приложение Г Сравнение характеристик компонентов системы.....	111
Приложение Д Схема соединения компонентов системы.....	116
Приложение Е Моделирование процесса регулирования температуры и влажности.....	118
Приложение Ж SWOT-анализ	122
Приложение И Структура работ и трудоёмкость выполнения работ.....	127
Приложение К Календарный план-график проведения НИОКР	130
Приложение Л Затраты НТИ	132
Приложение М Возможные опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера	136

Введение

В условиях того, что мировая экономика находится в фазе восстановления после пандемии Covid-19 и находится под сильным влиянием нестабильности текущей мировой ситуации, экономика Вьетнама добилась определенных успехов, когда ее ВВП за первые три месяца 2023 года увеличился более чем на 3 % по сравнению с аналогичным периодом прошлого года [1]. Сельскохозяйственный сектор всегда был прочной основой и внес значительный вклад в этот успех. Однако в настоящее время сельскохозяйственный сектор Вьетнама во все большей степени страдает от неблагоприятных последствий изменения климата. Повышение средних температур, засухи, наводнения, вредители и болезни, вызванные изменением экологической обстановки, препятствуют развитию сельского хозяйства Вьетнама.

Ананасная земляника (далее - земляника) — одна из культур с высокой экономической ценностью, выращиваемая в некоторых горных районах Вьетнама, таких как Далат, Сапа и Мокчау, благодаря благоприятным погодным условиям. В частности, в Далате землянику выращивают с 40-х годов 20 века, принося людям стабильный доход и став символом города в глазах вьетнамских потребителей [2]. Однако, поскольку на выращивание земляники сильно влияет погода из-за чувствительности растений к температуре и влажности окружающей среды, изменение климата угрожает устойчивому развитию выращивания земляники в этих местах. В то время как качество земляники в стране не гарантируется из-за проблем с климатом, земляника хорошего качества, выращенная с использованием высоких технологий, импортируется из-за рубежа, появляется все больше и постепенно доминирует на рынке [3].

Таким образом, в рамках выпускной квалификационной работы бакалавра ставится цель разработки автоматизированной системы

выращивания земляники с возможностью регулирования параметров микроклимата под условия выращивания для применения в климате Вьетнама.

Для реализации поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- сделать обзор характеристики земляники;
- сделать обзор и проанализировать существующие решения;
- изучить потенциалы и проблемы выращивании земляники во Вьетнаме;
- исследовать методы регулирования параметров микроклимата теплицы;
- выполнить расчёты параметров теплицы и системы;
- разработать структурную схему системы;
- разработать алгоритмы работы системы;
- выбрать средства реализации системы;
- разработать функциональную схему и схему соединения системы;
- спроектировать 3Д-модель системы-теплицы;
- смоделировать работу разработанной системы.

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

compound annual growth rate (CAGR): Совокупный среднегодовой темп роста, который показывает, на сколько процентов за год прирастает изучаемый параметр;

nutrient film technique (NFT): Один из разных методов гидропоника, при котором происходит постоянной циркуляции тонкого слоя питательного раствора в системе гидропоники;

photosynthetic photon flux density (PPFD): Поток фотосинтетических фотонов (PPF) микромолей на квадратный метр в секунду;

coefficient of performance (COP): Отношение полезного обогрева или охлаждения к требуемой работе (энергии).

В данной работе применены следующие сокращения и советуемые им расшифровки:

ПЭНП – полиэтилен нижней плотности;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь

CFM – кубические футы в минуту;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

ПК – персональный компьютер;

ppm – parts-per-million (миллионная доля).

1 Комплексный обзор материалов

1.1 Обзор земляники

1.1.1 Происхождение и хозяйственная ценность земляники

Широко выращиваемая в настоящее время земляника ананасная (*Fragaria x ananassa*) является аллооктоплоидом ($2n=56$) и является селекционным шедевром, возникшим в Европе примерно в первой половине 18 века. Она является результатом естественного скрещивания растений *F. chiloensis*, привезенных из Чили, и близлежащих растений *F. Virginiana*, привезенных с атлантического побережья Америки. Гибриды, полученные в результате этого скрещивания, легли в основу всех современных сортов земляники [4].

В настоящее время земляника широко выращивается во многих странах мира и является культурой с высокой экономической ценностью. Согласно результатам исследований в работах [5,6], объем мирового рынка свежей земляники к 2019 году составил проксимально 17,7 миллиард долларов США и достиг почти 19 миллиард долларов США к 2021 году. Прогнозируют, что этот рынок продолжит расти и достигнет 24 миллиард долларов США к 2028 году с CAGR примерно равна 3,4 %.

Помимо свежей земляники, земляничный джем и другие продукты из земляники также имеют чрезвычайно высокую экономическую ценность. Кроме того, согласно источникам [7,8,9], после пандемии Covid-19 потребительские тенденции покупок претерпели изменения. Все больше внимания уделяется свежим фруктам и овощам, включая землянику, которые полезны для здоровья. В [7,8] показано, что во Вьетнаме интерес потребителей к отечественной продукции имеет тенденцию к увеличению после пандемии. Продукция местного производства с умеренными ценами и высоким качеством постепенно улучшает свои позиции в глазах потребителей, особенно в экономический период, понесший убытки из-за эпидемии.

1.1.2 Биологические особенности земляники

Биологические особенности земляники представляются в источнике [4].

Земляника – многолетнее травянистое растение, занимающее промежуточное положение между многолетними травяными и полукустарниковыми формами. Земляника представляет собой светолюбивое растение. Высота растения может достигать 40 см. Однако при выращивании высота растений обычно поддерживается на уровне 20–25 см.

В зависимости от сорта молодая укоренившаяся розетка обычно имеет 1 или 2–3 рожков в первый год, а с годами может развиться от 2–3 до 8–16 рожков. Чем больше сильные рожки образуется на растении, тем выше урожай. Корни образуются у основания рожков и формируют корневую систему в верхних слоях почвы. Основная масса корней находится на глубине 25–30 см. Это свидетельствует о высокой потребности во влаге и питательных веществах земляники. Более тщательный уход требуется за стареющими растениями.

Развитие растений, то есть рост корней, образование новых и отмирание старых листьев, происходит в течение всего вегетационного периода. Однако потребности в питательных веществах и влаге в этом периоде неодинаковы. Однако потребности в питательных веществах и влаге в этом процессе неодинаковы. В жаркую и сухую погоду цветение быстрое, а в прохладную погоду цветение замедляется. Когда цветки опылились и образовали плоды, время созревания также зависит от погоды: в жаркую сухую погоду, плоды созревают быстро, а в холодную дождливую погоду, процесс созревания может занять до 30 дней и более.

У земляники существуют ремонтантные сорта. Ремонтантность означает способность растений из-за короткого периода покоя к повторному или многократному цветению и плодоношению в течение одной вегетации. Ремонтантные сорта в связи с длительным периодом плодоношения очень требовательны к почве и влаге. Их следует выращивать при высокой агротехнике.

1.2 Методы выращивания земляники с применением высоких технологий в управлении параметрами микроклимата

В зависимости от точки зрения, современные методы выращивания земляники можно разделить на разные виды: гидропоника, аэропоника, вертикальное земледелие, органическое земледелие, земледелие с использованием новых методов сбора урожая и др. [10]. Земляника выращивается в теплицах или в закрытых помещениях с высокотехнологичными устройствами, способными регулировать параметры внутренней среды.

Основным преимуществом этого метода является возможность контролировать влияние факторов внешней среды на растения земляники, тем самым оптимизируя урожайность и качество полученной продукции.

Основным недостатком этого метода являются чрезвычайно высокие инвестиционные затраты: первоначальные затраты на инфраструктуру, затраты на эксплуатацию оборудования, затраты на техническое обслуживание, затраты на высококвалифицированных рабочих, и т. д. Вышеуказанные также приводят к проблеме масштабируемости производства.

Принципиальная технологическая схема современных систем управления микроклиматом теплицы обычно имеет вид, показанный на рисунке 1. В зависимости от масштаба и конкретных желаемых целей каждая система может иметь свои корректировки.

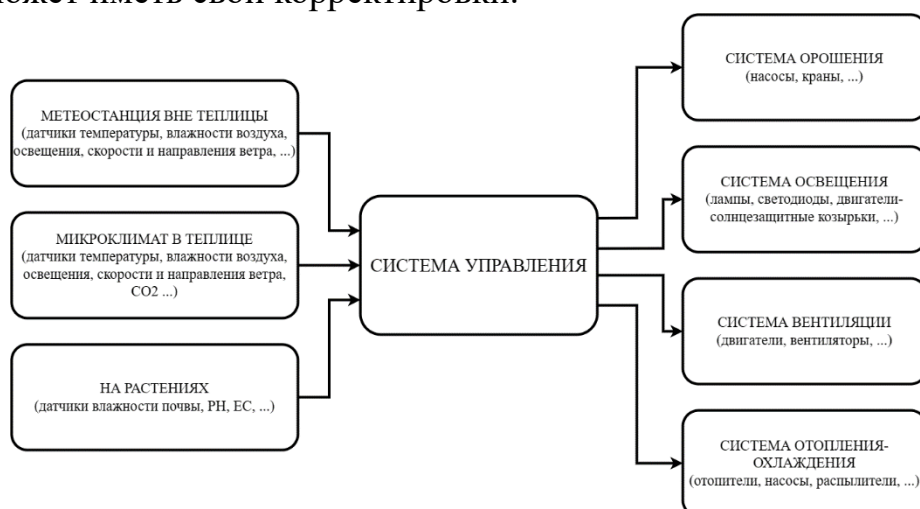


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема системы управления параметрами микроклимата теплицы

1.3 Обзор автоматизированных системы выращивания земляники

В настоящее время в развитых странах инвестируются и разрабатываются с большими затратами автоматизированные системы выращивания земляники в самых различных климатических условиях. Разницы между этими системами зависят от уровня инвестиций и желаемой инвестором функциональности.

В качестве примера можно привести автоматизированную систему выращивания iFarm Berries, которая была построена в Новосибирске, России. [11].



Рисунок 2 – Автоматизированная система выращивания земляники iFarm Berries в Новосибирске, России

Система включает в себя 550 м² посадочной площади, содержащей многоэтажные стеллажи. Земляники выращивают на штабелированных этаж, что увеличивает урожайность на единицу площади. Метод гидропоники капельной итерации используется в сочетании с большим количеством датчиков и устройств для контроля параметров окружающей среды, влияющих на рост земляники, таких как температура, влажность воздуха, свет,

содержание питательных веществ, и т. д. Тем самым реализуя цель производства высококачественной земляники в снежном климате Сибири.

Эта система также имеет некоторые недостатки, такие как очень высокие первоначальные инвестиционные затраты, сложность масштабирования, искусственный свет используется для полной замены естественного света, что приводит к высоким эксплуатационным расходам. При этом стоимость контроля и обслуживания системы также высока.

В качестве второго примера можно привести автоматизированную систему выращивания компании Wilkin & Sons Ltd. в Колчестере, Великобритания [12].



Рисунок 3 – Автоматизированная система выращивания земляники компании Wilkin & Sons Ltd. в Колчестере, Великобритания

Земляники выращивают на длинных желобах, подвешенных в теплице. Питательные вещества предоставляются растениям с помощью гидропоники NFT. Температура в теплице регулируется с помощью солнцезащитных козырьков и естественной циркуляции воздуха. Особенность системы заключается в том, что желоба, в которых выращивают земляники, могут

подниматься и опускаться благодаря системе двигателей и шкивов для оптимизации площади посадки.

Использование подвижной системы для длинных желобов в теплице требуют двигателя большой мощности. Это напрямую приводит к резкому увеличению первоначальных инвестиционных затрат, а также затрат на техническое обслуживание двигателя. Кроме того, использование подвески длинных желобов в воздухе с движением также несет в себе риск выхода из строя с большими повреждениями.

В целом, большинство стран, инвестирующих в развитие автоматических систем выращивания земляники, расположены в регионах с умеренным климатом (США, Япония, Корея, страны Европы, ...), поэтому их системы более ориентированы на решение проблемы о отрицательных температурах и снега зимой, а также проблемы неравномерного освещения в течение года.

Однако для такой тропической страны, как Вьетнам, этих проблем не возникает. Таким образом, чтобы иметь возможность применять разумно автоматизированную систему выращивания земляники во Вьетнаме, необходимы исследования в их конструкции и функциях.

1.4 Потенциалы и проблемы выращивания земляники во Вьетнаме

В отличие от стран, расположенных в регионах с умеренным климатом, среднее время солнечного сияния и продолжительность дня во Вьетнаме не слишком сильно меняются в течение года [13]. В дополнение, как показаны в источнике [14], общее количество часов солнечного сияния в году в некоторых районах Вьетнама выше среднего и составляет около 2000–2650 часов в год. Эти климатические особенности Вьетнама очень подходят для круглогодичного выращивания такого светолюбивого растения, как земляника.

На стороне потребительского рынка цена продажи свежей земляники во Вьетнаме даже выше, чем в других странах: 10–20 долларов США за килограмм отечественной земляники и 30–50 долларов США за килограмм импортной земляники. Кроме того, потребление земляники всегда высокое [15].

Однако проблема для Вьетнама заключается в том, что не так много областей с подходящей температурой для земляники. Тропический климат приносит много неудобств выращиванию клубники во Вьетнаме из-за высокой температуры и влажности. Преимущество высокой продолжительности солнечного сияния также сопряжено с недостатком, поскольку количество получаемой теплоты очень велико. Оптимальная температура для выращивания земляники – 25 °С днем и 12 °С ночью [16]. Чтобы преодолеть температурный предел, требуются инвестиции в системы контроля температуры с высокими инвестициями в теплицу. Эти две проблемы идут рука об руку и ограничивают потенциалы выращивания земляники во Вьетнаме.

В настоящее время выращивание земляники во Вьетнаме все еще ограничено по сравнению с миром. Большая часть площади выращивания клубники во Вьетнаме сосредоточена в городе Далат провинции Ламдонг, городе Сапа провинции Лаокай, районе Мокчау провинции Сонла. Общая площадь выращивания земляники во Вьетнаме составляет только около 250 га,

а большая часть которой используется для традиционного выращивания в открытом грунте [17,18]. На качество продукции и производительность большое влияние оказывают природные погодные условия. Поэтому отечественная земляника недооценена и урезана в цене по сравнению с импортной земляникой.

Упомянутые выше места расположены на высокогорье Вьетнама и имеют прохладный климат круглый год, что подходит для условий выращивания растений земляники. Однако в настоящее время эти преимущества уменьшаются из-за последствий изменения климата. Их соседние горные местности с климатическими условиями, не имеющими особых отличий кроме немного более высоких температур, обладают полным потенциалом для выращивания земляники. И тем не менее это ограничено возможностью контролировать температуру, подходящую для крупномасштабного земледелия.

Таким образом, можно сказать, что с инвестициями и применением соответствующих технологий выращивание клубники во Вьетнаме может полностью расширить масштабы и улучшить качество, чтобы конкурировать с импортными источниками.

2 Подходы к регулированию параметров микроклимата в теплице выращивания земляники

2.1 Факторы в проектировании системы выращивания земляники

Свет

Земляника – светолюбивое растение. Оптимальное время освещения для растений земляники составляет около 12–13 часов в сутки [19]. Согласно исследованию в источнике [20], скорость фотосинтеза растений клубники достигает насыщения при PPFD 400–600 мкмоль/(м²·с). Кроме того, для растений земляники утро до 11 часов утра является важным временем для стимуляции фотосинтеза [21].

Как тропическая страна, Вьетнам имеет среднюю продолжительность дня около 11–12 часов в году с небольшой разницей со средним количеством часов солнечного сияния в некоторых регионах до 2000–2650 часов в год [13,14]. Продолжительность естественного освещения во Вьетнаме достаточна для хорошего роста растений земляники. Однако вместе с количеством солнечного света возникает огромный источник тепла, который необходимо устранить. Так как эта проблема сопровождается высокой средней температурой воздуха во Вьетнаме, необходимо рассмотреть вариант затенения солнечного света для уменьшения количества получаемого тепла и компенсации за счет искусственного освещения.

Температура и влажности воздуха

В отличие от других стран умеренного пояса, выращивающих землянику, во Вьетнаме нет проблем с заморозками и минусовыми температурами, но существуют проблемы с более высокими среднегодовыми температурами. Согласно статистике из источника [22], с 2017 г. по 2021 г. среднемесячная температура большинства провинций Вьетнама находится в пределах 20–30 °С. В некоторых местах средняя температура превышает 30 °С в летних месяцах.

Согласно работам [23, 24], температура оказывает существенное влияние как на качество, так и на урожайность земляники. Повышение

температуры может снизить урожай на несколько-десятки процентов. При разработке системы стоит способность поддержания температуры на уровне 22–25 °С днем и 10–12 °С ночью.

Согласно результатам исследований в [25], для земляники низкая относительная влажность (45–55 %) снижает массу плодов и урожайность. В условиях высокой относительной влажности (90 %) растений земляники дают более крупные плоды, но их количество уменьшается из-за нарушения опыления. Относительная влажность 65–75 % считается оптимальной для растений земляники. Согласно статистике [22], средняя влажность воздуха в провинциях Вьетнама по годам варьируется в пределах 75–85 %.

Ветер

Для микроклимата теплиц ветер является важным фактором, влияющим на регулирование других факторов, таких как температура и влажность. Кроме того, для земляники ветер является основным фактором, помогающим растению опыляться. Поэтому система вентиляции необходима для системы выращивания земляники.

Насекомые, помогающие опылению

Хотя в культуре растения земляники могут полностью опыляться только ветром, работа [26] показала, что пчелоопыляемые плоды земляники тяжелее, краснее, имеют более длительный срок хранения, более длительный срок хранения и более желательное соотношение сахара и кислоты, чем самоопыляемые или ветроопыляемые плоды. Поэтому стоит подумать о проектировании системы таким образом, чтобы опылители, такие как пчелы, имели доступ к растениям.

Концентрация углекислого газа (далее – CO₂)

Концентрация углекислого газа является одним из наиболее важных факторов в сельском хозяйстве. Применение метода обогащения CO₂ повышает урожайность земляники с 16 % до 40 % [27]. Концентрация CO₂ при обогащении должна поддерживаться на уровне 800 ppm [28].

2.2 Подходы к регулированию параметров микроклимата в теплице выращивания земляники

Исходя из факторов, упомянутых в предыдущем разделе, разрабатываемая система должна включать следующие компоненты: освещение, регулирование температуры, регулирование влажности, вентиляция, подача CO₂ и т. д.

2.2.1 Освещение

Дополнительное освещение уже давно используется для повышения урожайности тепличных культур. Раньше в освещении применялось множество различных типов лампочек, таких как люминесцентные лампы, лампы накаливания, галогенные лампы и т. д. Однако в последние годы, благодаря своим большим преимуществам, светодиодные лампы стали популярными и применяются в большинстве высокотехнологичных систем выращивания. Можно отметить преимущества светодиодных светильников в сельскохозяйственном освещении [29]:

- имеет возможность управления спектральным выходом системы освещения;
- излучает мало тепла и может быть настроен на интенсивное освещение вплотную к дереву;
- имеет длительный срок эксплуатации;
- имеет возможность включения и выключения сразу без времени прогрева;
- имеет потенциальную экономию затрат в долгосрочной перспективе;
- не содержит ртути.

Наряду с недавними технологическими разработками, самый большой недостаток светодиодных светильников, заключающийся в высокой начальной стоимости, также постепенно устраняется.

При применении светодиодов для освещения в выращивании земляники исследование в работе [30] показало, что использование только синих

светодиодов для освещения дает высокую продуктивность и незначительную разницу по сравнению со смешанным использованием синих и красных светодиодов. Поэтому при проектировании системы освещения, в случае необходимости экономии средств и использования только одного цветного светодиода, оптимальным выбором является синий светодиод.

2.2.2 Регулирование температуры, влажности воздуха и вентиляция

Для микроклимата внутри теплиц такие функции, как регулирование температуры, влажности воздуха и вентиляции, обычно выполняет одна или несколько систем в комплексе. Эти параметры микроклимата взаимосвязаны между собой.

На сегодняшний день для охлаждения теплиц применяются следующие технологии: механические системы охлаждения с использованием вентиляторов, тепловых насосов и теплообменных машин; естественная вентиляция; охлаждение испарением; смешанная система охлаждения; солнечное охлаждение; система подземных тепловых насосов [31]. На основании результатов исследований в источниках [32,33,34,35,36,37,38,39] можно дать обзор некоторых технологий, представленный в приложении А.

Из обзора видно, что охлаждение испарением является наиболее популярным и очень эффективно. Однако, жаркий и влажный климат Вьетнама является препятствием для применения этого метода. Предлагается использовать метод прямого охлаждения поступающего воздуха до точки росы для регулирования температуры и влажности. Конкретное устройства охлаждения выбивается в главе 3.

2.2.3 Обогащение CO₂

Для обогащения концентрации CO₂ внутри теплицы можно использовать источники CO₂, представлены в приложении Б [40].

В целом, среди упомянутых выше методов использование сухого льда для обогащения CO₂ кажется наиболее доступным и недорогим методом для применения к разрабатываемой системе.

3 Расчеты параметров автоматизированной системы

3.1 Предложение по конструкции теплицы

Теплицы уже давно используются в целях климат-контроля для круглогодичного выращивания. Для стран с умеренным климатом теплицы очень эффективны для снижения вредного воздействия холода на сельскохозяйственные культуры из-за их способности удерживать тепло. Однако для такой страны с тропическим климатом, как Вьетнам, основным преимуществом теплицы является ее способность снижать вредное воздействие на окружающую среду ультрафиолетовых лучей, дождя, ветра, бури, града, смога и эрозии почвы. Способность теплицы удерживать тепло в этом случае оказывает негативное влияние, поскольку средняя температура воздуха во Вьетнаме почти всегда выше предпочтительного для растений уровня.

Способность теплицы удерживать тепло не связана с «парниковым эффектом» [41]. Наиболее часто используемым материалом для покрытия теплиц является пластик, наиболее распространенным из которых является полиэтилен, который считается прозрачным для инфракрасного излучения. Принцип работы теплицы заключается в ограничении конвекции воздуха. В течение дня солнечная радиация нагревает все, как внутри, так и снаружи теплицы. Земля за пределами теплицы нагревает воздух внизу, затем благодаря конвекции этот слой воздуха поднимается и диффундирует в более холодный воздух наверху. Внутри теплицы воздух также нагревается, но поскольку конвекционная способность ограничена конструкцией теплицы, температура воздуха внутри теплицы выше, чем снаружи [42].

Земля в большинстве случаев является основным агентом, поглощающим большую часть солнечного излучения и преобразующим его в тепло. Затем тепло передается воздуху путем теплопередачи. Поэтому с целью ограничения повышения температуры внутри теплицы предлагается новая конструкция теплицы. Эта теплица предназначена для использования

совместно с гидропонной системой, расположенной на высоте 1–1,2 м над уровнем земли. Теплица состоит из купола, который охватывает растения вдоль водопроводных труб гидропонной системы. Принятие такой конструкции помогает ограничить повышение температуры из-за поглощения излучения землей. Кроме того, тот факт, что купол теплицы окружает лишь небольшую площадь прямо под растениями, делает применение системы контроля температуры, влажности воздуха очень эффективным за счет минимизации температурной стратификации, которая долгое время была проблемой для традиционных теплиц и влияет на рост растений [43]. При применении обогащения CO_2 локальная система также более эффективна и имеет меньше отходов [44].

В дополнение, использование множество теплиц небольшого размера позволяет размещать их в разных масштабах и на разных участках без необходимости иметь много плоской земли. Это подходит для использования в гористой местности во Вьетнаме.

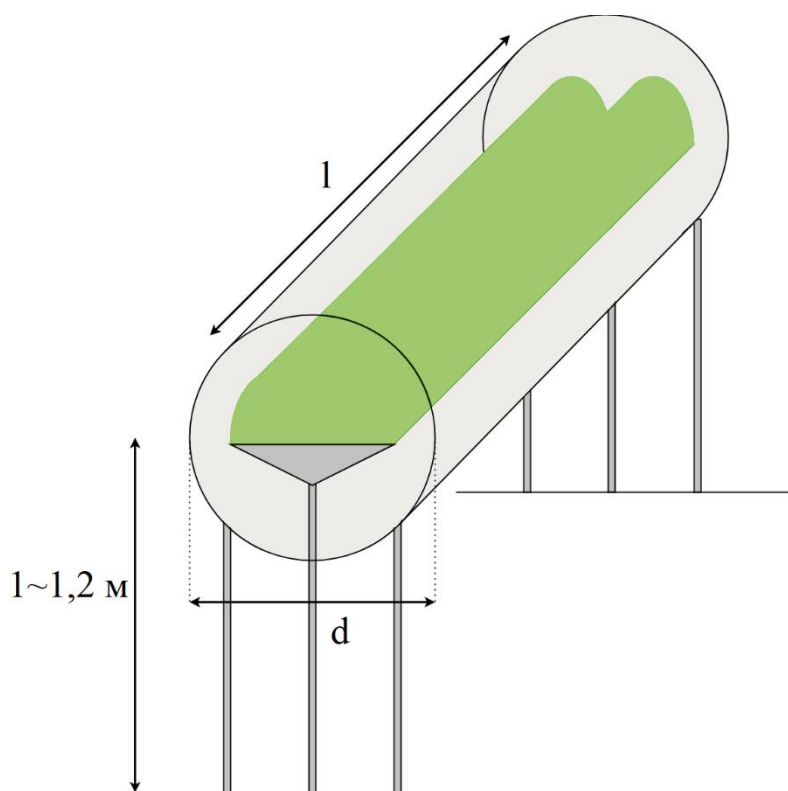


Рисунок 4 – Простая иллюстрация теплицы

3.2 Расчеты параметров автоматизированной системы

Автоматизированная система выращивания с теплицей, которая окружает посевы, предназначена для использования в различных масштабах. Поэтому нижеследующие расчеты производятся для базового тепличного блока стандартных размеров. Полученные результаты можно использовать для различных масштабов фермерского хозяйства с помощью нескольких простых расчетов.

Исходные данные:

Теплица окружает 2 ряда клубники на гидропонных водопроводных трубах. Площадь листовой дуги растения земляники при эмпирическом сборе составляет около 30 см в диаметре. Высота куста клубники около 25 см. Чтобы размер теплицы был небольшим, а конструкция фермы простой, поперечное сечение теплицы, перпендикулярное ряду растений клубники, было использовано в виде круга, т. е. теплица имеет форму цилиндра.

Размеры теплицы:

- диаметр цилиндра/ширина плоскости пола: $d=0,8$ м;
- длина теплицы: $l = 1$ м;
- площадь поля: $A_f = d \cdot l = 0,8$ м²;
- общая площадь теплицы: $A_c = \pi \cdot d \cdot l + 2 \cdot \pi \cdot d^2/4 \approx 3,5$ м²;
- объем теплицы: $V = \pi \cdot d^2/4 \cdot l \approx 0,5$ м³;
- материал покрытия: ПЭНП;
- толщина материала: $x = 150$ мкм = $1,5 \cdot 10^{-4}$ м.

Погодные условия вне теплицы:

- температура воздуха: $T_{вне} = 35$ °С = 308 К;
- относительная влажности воздуха: $RH_{вне} = 50$ %;
- обычная концентрация CO₂: $n_{обыч} = 400$ ppm;
- плотность энергии солнечного излучения: $I = 1000$ Вт/м².

Желаемые погодные условия внутри теплицы:

- температура воздуха: $T_{внут} = 23$ °С = 296 К;

- относительная влажности воздуха: $RH_{\text{внут}} = 70 \%$;
- обогащенная концентрация CO_2 : $n_{\text{обог}} = 800 \text{ ppm}$;
- плотность потока фотосинтетических фотонов: $500 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

3.2.1 Система дополнительного освещения

Чтобы оптимизировать интенсивность фотосинтеза растения, дополнительное освещение можно начинать в 5 часов утра. В это время солнечный свет крайне слаб, поэтому система освещения должна обеспечивать все требуемые PPFD.

Для монохроматического синего светодиода с длиной волны 450 нм требуется 4500 люкс для достижения уровня PPFD $500 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [45].

Предлагается использовать для каждого ряда земляники ряд светодиодных светильников, подвешенных на расстоянии 35 см от основания растения, т. е. примерно в 10 см от листьев. Точка, где листья могут быть дальше всего от света, находится в расстоянии $r_{\text{max}} = 18 \text{ см}$. Предположим, что светодиод имеет угол проекции 2π ср.

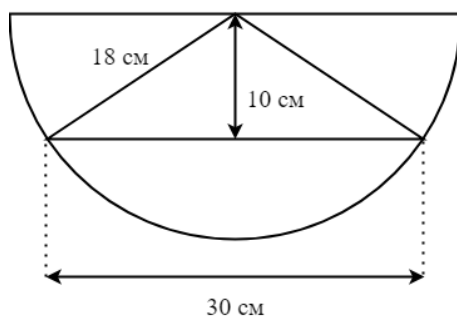


Рисунок 5 – Угол освещения светильника

Уровень PPFD $500 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ должен быть достигнут в самой удаленной от источника света листе. Площадь освещаемой поверхности, м^2 :

$$S_{\text{осв}} = 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{max}}^2 + \pi \cdot r_{\text{max}} \cdot l = 2 \cdot \pi \cdot 0,18^2 + \pi \cdot 0,18 \cdot 1 \approx 0,77 \quad (1)$$

Требуемая яркость используемого источника света, лм:

$$L_{\text{ист}} = 4500 \cdot S_{\text{осв}} = 4500 \cdot 0,77 \approx 3465 \quad (2)$$

Для светодиодов световая отдача обычно составляет: $\eta_{\text{LED}}=90 \text{ лм}/\text{Вт}$ [46].

Требуемая мощность системы дополнительного освещения для теплицы, включая 2 ряда клубники, Вт:

$$P_{\text{осв}} = \frac{L_{\text{ист}}}{\eta_{\text{LED}}} \cdot 2 = \frac{3465}{90} \cdot 2 \approx 77 \quad (3)$$

3.2.2 Система регулирования температуры и влажности воздуха

3.2.2.1 Первоначальные расчеты мощности

Модель стационарного энергетического баланса теплицы:

$$Q'_{\text{SR}} + Q'_C + Q'_{\text{TR}} - Q'_{\text{ET}} - Q'_V = 0, \quad (4)$$

где Q'_{SR} – количество теплоты, полученной от солнечного излучения за секунду, Вт;

Q'_C – количество теплоты, полученной от теплопередачи за секунду, Вт;

Q'_{TR} – количество теплоты, полученной от теплового излучения за секунду, Вт;

Q'_{ET} – количество теплоты, отведённой из-за эвапотранспирации за секунду, Вт;

Q'_V – количество теплоты, отведённой вентиляцией системы регулирования температуры и влажности воздуха, Вт.

В следующих расчетах количества теплоты, полученной от излучения, инфракрасное излучение солнца, а также тепловое излучение, основным компонентом которого является инфракрасное излучение, не учитываются для покрытия. Причина этого в том, что используемый в качестве тепличного покрытия материал ПЭНП практически прозрачен для инфракрасного излучения, так как поглощение происходит только при определенных длинах волн, не в диапазоне солнечного излучения [47,48,49]. А листья растений мало поглощают в ближнем инфракрасном диапазоне с помощью содержания воды. Большая часть излучения в этой области отражается или пропускается [50,51,52].

Солнечное излучение при достижении земли состоит из 42 % видимого света, 50 % инфракрасного излучения и 8 % ультрафиолетового излучения [53]. Коэффициент поглощения ПЭНП ультрафиолетовой составляющей солнечного излучения составляет примерно 100 см^{-1} [54]. Коэффициент поглощения ПЭНП для видимого света составляет всего около 1/5

коэффициента поглощения ультрафиолетового излучения [55], т. е. 20 см^{-1} . Поглощение листьями падающего света, включая только ультрафиолетовый и видимый свет, составляет около 90 % [50]. Для излучения ближнего инфракрасного диапазона около 10 % поглощается листьями [56], 50 % отражается и 40 % пропускаются [51,52,57].

$$Q'_{SR} = R_{\text{крыша}} + R_{\text{раст}} = 137 + 277 = 414 \quad (5)$$

где $R_{\text{крыша}}$ – количество теплоты, которую крыша получает от солнечного излучения за секунду, Вт;

$R_{\text{раст}}$ – количество теплоты, которую растения получают от солнечного излучения за секунду, Вт.

$$\begin{aligned} R_{\text{крыша}} &= A_f \cdot I \cdot (\beta_{UV} + \beta_{VIS}) \cdot \alpha_{PE} \quad (6) \\ &= 0,8 \cdot 1000 \cdot (0,08 + 0,42) \cdot 0,342 \approx 137 \end{aligned}$$

где α_{PE} – поглощение покрытием излучения ультрафиолетового и видимого света.

$$\begin{aligned} \alpha_{PE} &= \frac{\beta_{UV}}{\beta_{UV} + \beta_{VIS}} \cdot (1 - e^{-\alpha_{UV} \cdot x}) + \frac{\beta_{VIS}}{\beta_{UV} + \beta_{VIS}} \cdot (1 - e^{-\alpha_{VIS} \cdot x}) \quad (7) \\ &= \frac{8\%}{8\% + 42\%} \cdot (1 - e^{-10000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}) + \frac{42\%}{8\% + 42\%} \cdot (1 - e^{-2000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}) \approx 0,342 \end{aligned}$$

где β_{UV} – ультрафиолетовая составляющая в солнечном излучении. $\beta_{UV} = 8 \%$;

α_{UV} – коэффициент поглощения ПЭНП ультрафиолетовой составляющей солнечного излучения. $\alpha_{UV} = 100 \text{ см}^{-1} = 10000 \text{ м}^{-1}$;

β_{VIS} – составляющая видимого света в солнечном излучения. $\beta_{VIS} = 42 \%$;

α_{VIS} – коэффициент поглощения ПЭНП для видимого света. $\alpha_{VIS} = 20 \text{ см}^{-1} = 2000 \text{ м}^{-1}$.

$$\begin{aligned} R_{\text{раст}} &= (A_f \cdot I \cdot (\beta_{UV} + \beta_{VIS}) - R_{\text{крыша}}) \cdot \alpha_{ps} + A_f \cdot I \cdot \beta_{IR} \cdot a_{wc} \quad (8) \\ &= (0,8 \cdot 1000 \cdot (0,08 + 0,42) - 137) \cdot 0,9 + 0,8 \cdot 1000 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \approx 277 \end{aligned}$$

где α_{ps} – поглощение листьями ультрафиолетового и видимого света. $\alpha_{ps} = 0,9$;

β_{IR} – инфракрасная составляющая в солнечном излучении. $\beta_{IR} = 0,5$;

α_{wc} – поглощение листьями излучения ближней инфракрасного диапазона. $\alpha_{wc} = 10 \% = 0,1$.

$$Q'_C = A_c \cdot U \cdot (T_{вне} - T_{внут}) = 3,5 \cdot 9,955 \cdot (308 - 296) \approx 420 \quad (9)$$

где U – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{x}{k_{ПЭ}} + \frac{1}{h_i}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{0,33} + \frac{1}{20}} \approx 9,995 \quad (10)$$

где h_o , h_i – коэффициент конвекции воздуха вне и внутри теплицы, Вт/(м²·К). $h_o = h_i = 20$ [58];

$k_{ПЭ}$ – коэффициент теплопроводимости полиэтилена, Вт/(м·К). $k_{ПЭ} = 0,33$ [58].

Для расчета количества теплоты, полученной от теплового излучения, предположим, что верхняя половина теплицы получает излучения от неба, а нижняя половина теплицы получает излучения от земли. Температура земли в солнечных днях считается на 10 градусов выше температуры воздуха, температура неба рассчитывается по следующей формуле [59]:

$$T_{небо} = \sqrt[4]{\epsilon_{небо}} \cdot T_{вне} = \sqrt[4]{0,85} \cdot 308 \approx 296 \quad (11)$$

где $\epsilon_{небо}$ – излучательная способность неба, о. е. $\epsilon_{небо} \approx 0,85$ [59].

$$Q'_{TR} = \left(A_f \cdot \epsilon_{лист} + \frac{A_c}{2} \cdot \epsilon_{ПЭ} \right) \cdot \sigma \cdot (T_{земля}^4 + T_{небо}^4 - 2 \cdot T_{внутри}^4) \quad (12)$$

$$= \left(0,8 \cdot 0,95 + \frac{3,5}{2} \cdot 0,1 \right) \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (318^4 + 296^4 - 2 \cdot 296^4) \approx 135$$

где $\epsilon_{лист}$, $\epsilon_{ПЭ}$ – излучательная способность листьев и полиэтилена, о. е. $\epsilon_{лист} \approx 0,95$ [60]; $\epsilon_{ПЭ} = 0,1$ [61];

σ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К⁴). $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$;

$T_{земля}$ – температура поверхности земли, К. $T_{земля} = T_{вне} + 10 = 318$.

$$Q'_{ET} = A_f \cdot ET \cdot \Lambda_{H_2O} = 0,8 \cdot 3,52 \cdot 10^{-5} \cdot 2450 \cdot 10^3 \approx 69 \quad (13)$$

где ET – скорость эвапотранспирации растения, кг/(м²·с). Для земляники $ET = 3,52 \cdot 10^{-5}$ [62];

Λ_{H_2O} – скрытая теплота парообразования/конденсации воды, Дж/кг. $\Lambda_{H_2O} = 2450 \cdot 10^3$ [58].

Из (4), (5), (9), (12), (13) получим:

$$Q'_V = Q'_{SR} + Q'_C - Q'_{ET} - Q'_{TR} = 414 + 420 + 135 - 69 = 900 \quad (14)$$

Значение Q'_V является только теплотой, которую необходимо устранить для поддержания температуры внутри теплицы в желаемом значении $T_{\text{внут}} = 23$ °С с помощью вентиляции. Для поддержания относительной влажности воздуха в желаемом уровне $RH_{\text{внут}} = 70$ % необходимо удалять водяной пар из воздуха, поступающего в теплицу при вентиляции. Водяной пар удаляют конденсацией, снижая температуру воздуха, поступающего в теплицу, до соответствующей точки росы.

Точка росы, соответствующая состоянию воздуха внутри теплицы:

$$T_{\text{ТР}} \approx T_{\text{внут}} - \frac{100\% - RH_{\text{внут}}}{5\%} = 296 - \frac{100 - 70}{5} = 290 \quad (15)$$

Мощность охлаждения вентиляции можно переписать в виде:

$$Q'_V = \frac{\psi}{3600} \cdot V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{\text{внутри}} - T_{\text{ТР}}) \quad (16)$$

где ψ – скорость обновления воздуха, час⁻¹;

ρ – плотность воздуха, кг/м³. $\rho = 1,192$ [58];

c_p – удельная изобарная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К). $c_p = 1000$ [58].

$$\psi = \frac{Q'_V \cdot 3600}{V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{\text{внут}} - T_{\text{ТР}})} = \frac{900 \cdot 3600}{0,5 \cdot 1,192 \cdot 1000 \cdot (296 - 290)} \approx 906 \quad (17)$$

Поток воздуха, м³/с:

$$F = \psi \cdot V = 906 \cdot 0,5 = 453 \frac{\text{м}^3}{\text{час}} \approx 0,126 \quad (18)$$

Требуемая энергия за секунду для удаления водяного пара от поступающего воздуха, Вт:

$$\begin{aligned} Q'_{\text{осуш}} &= F \cdot \Lambda_{H_2O} \cdot (AH_{\text{вне}} - AH_{\text{внут}}) \\ &= 0,126 \cdot 2450 \cdot 10^3 \cdot (19,8 - 14,4) \cdot 10^{-3} \approx 1667 \end{aligned} \quad (19)$$

где $AH_{\text{вне}}$, $AH_{\text{внут}}$ – абсолютная влажности воздуха вне и внутри теплицы, кг/м³.

Абсолютная влажности воздуха при температуре T вычисляется по формуле [63]:

$$AH(T) = \frac{RH \cdot P_s(T)}{461,5 \cdot T} \quad (20)$$

где $P_s(T)$ – давление насыщенного пара воды при температура T , Па.

$P_s(T)$ можно вычисляться с помощью уравнения Тетенса [64]:

$$P_s(T) = 0,61078 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot T}{T+237,3}} \cdot 1000 \quad (21)$$

Применив две высшие функции для температур $T_{\text{вне}}$ и $T_{\text{внут}}$, получили $AH_{\text{вне}} = 19,8 \cdot 10^{-3}$, $AH_{\text{внут}} = 14,4 \cdot 10^{-3}$.

Требуемая энергия за секунду для охлаждения поступающего воздуха до точки росы, Вт:

$$\begin{aligned} Q'_{\text{охлаж}} &= F \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{\text{вне}} - T_{\text{ТР}}) \\ &= 0,126 \cdot 1,192 \cdot 1000 \cdot (308 - 290) \approx 2703 \end{aligned} \quad (22)$$

Полная требуемая мощность для охлаждения и осушения поступающего воздуха, Вт:

$$Q'_{\text{полн}} = Q'_{\text{осуш}} + Q'_{\text{охлаж}} = 1667 + 2703 = 4370 \quad (23)$$

От полученного результат полной требуемой мощности можно установить, что затрат энергии для поддержания температуры и влажности слишком большой.

Просматривая на проанализированные выше факторы, можно увидеть, что количество получаемой теплоты слишком велико, как от теплопередачи, так и от излучения, включая солнечного и теплового. Ограничивая это количество теплоты, можно значительно снизить мощность, необходимую для поддержания температуры и влажности в теплице.

Чтобы ограничить это количество получаемой теплоты, необходимо тщательно утеплить окружающую среду внутри теплицы и снаружи.

3.2.2.2 Расчеты мощности системы при применении изоляции для теплицы

Чтобы сделать теплицу простой в установке и дешевой, одним из самых простых и эффективных способов изоляции является использование двух слоев покрытия теплицы. Воздух имеет очень низкий коэффициент

теплопроводности. При использовании двух слоев полиэтилена, разделенных воздушным пространством между ними, способность теплопередачи между внутренней и внешней частью теплицы будет значительно снижена. Эффективность метода двух слойного покрытия для теплицы изучалась в работах [65,66,67].

Помимо теплоизоляции, очень важно блокировать проникновение излучения извне в теплицу. Самый простой и экономичный метод – использовать алюминиевую фольгу для покрытия поверхности теплицы. В работе [68] указывают что, алюминиевая фольга имеет коэффициент отражения 95 % для диапазона длин волн 250–2500 нм, что эквивалентно спектру солнечного излучения. В работе [69] был сделан вывод, что отражательная способность алюминиевой фольги увеличивается с увеличением длины волны падающего излучения. Таким образом, можно считать, что алюминиевая фольга полностью отражает тепловое излучение внешней среды с большими длинами волн.

Модель стационарного энергетического баланса теплицы при применении полностью изоляции:

$$Q'_{\text{осв.}} + Q'_{\text{SR.и}} + Q'_{\text{C.и}} - Q'_{\text{ET.и}} + Q'_{\text{TR.и}} - Q'_{\text{V.и}} = 0 \quad (24)$$

где $Q'_{\text{осв}}$ – количество теплоты от системы освещения за секунду, Вт.
 $Q'_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot 0,65 \approx 50$ [70].

Количество теплоты, полученной от солнечного излучения за секунду:

$$\begin{aligned} Q'_{\text{SR.и}} &= (A_f \cdot I - R_{\text{внеш.}} - R_{\text{внут.}}) \cdot (1 - k_{\text{отр.}}) \\ &= (800 - 137 - 90) \cdot (1 - 0,95) \approx 29 \end{aligned} \quad (25)$$

где $R_{\text{внеш}}$ – количество теплоты, которую внешний слой покрытия получают от солнечного излучения за секунду, Вт;

$R_{\text{внут}}$ – количество теплоты, которую внутренний слой покрытия получает от солнечного излучения за секунду, Вт.

$k_{\text{отр}}$ – коэффициент отражения алюминиевой фольги, о. е. $k_{\text{отр}} = 0,95$ [68].

$$R_{\text{внеш}} = A_f \cdot I \cdot (\beta_{UV} + \beta_{VIS}) \cdot a_{PE} \quad (26)$$

$$= 0,8 \cdot 1000 \cdot (0,08 + 0,42) \cdot 0,342 \approx 137$$

$$R_{\text{внут}} = (A_f \cdot I \cdot (\beta_{UV} + \beta_{VIS}) - R_{\text{внеш.}}) \cdot a_{PE} \quad (27)$$

$$= (0,8 \cdot 1000 \cdot (0,08 + 0,42) - 137) \cdot 0,342 \approx 90$$

$$R_{\text{раст.и}} = (A_f \cdot I - R_{\text{внеш.}} - R_{\text{внутр.}}) \cdot (\beta_{UV} + \beta_{VIS}) \cdot a \quad (28)$$

$$= (0,8 \cdot 1000 - 137 - 114) \cdot (0,08 + 0,42) \cdot 0,9 \approx 247$$

Предположим, что внутри теплицы находится среда с однородной температурой и что теплица обменивается тепловым излучением с окружающей средой только через слой алюминиевой фольги.

Количество теплоты, отведённой из-за теплового излучения:

$$Q'_{TR.и} = \frac{A_c}{2} \cdot \epsilon_{Al} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{земля}}^4 + T_{\text{небо}}^4 - 2 \cdot T_{\text{внут}}^4) \quad (29)$$

$$= \frac{3,5}{2} \cdot 0,03 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (318^4 + 296^4 - 2 \cdot 296^4) \approx 8$$

где ϵ_{Al} – излучательная способность алюминиевой фольги, о.е. $\epsilon_{Al} = 0,03$ [71].

Количество теплоты, полученной от конвекции за секунду:

$$Q'_C = A_{c.и} \cdot U_{и} \cdot (T_{\text{вне}} - T_{\text{внут}}) = 3,94 \cdot 0,476 \cdot (308 - 296) \approx 23 \quad (30)$$

где $U_{и}$ – коэффициент теплопередачи при изоляции, Вт/(м²·К);

$A_{c.и}$ – общая площадь покрытие теплицы при изоляции, м².

$$U_{и} = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{x}{k_{ПЭ}} + \frac{x_{\text{изо}}}{k_{\text{воздух}}} + \frac{x}{k_{ПЭ}} + \frac{x_{Al}}{k_{Al}} + \frac{1}{h_i}} \quad (31)$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{0,33} + \frac{0,01}{0,025} + \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{0,33} + \frac{0,0002}{237} + \frac{1}{20}} \approx 0,476$$

где $k_{\text{воздух}}$ – коэффициент теплопроводимости воздуха, Вт/(м·К). $k_{ПЭ} = 0,025$ [58];

$x_{\text{изо}}$ – толщина слоя воздуха для изоляции, м. Принят $x_{\text{изо}} = 0,05$;

k_{Al} – коэффициент теплопроводимости алюминия, Вт/(м·К). $k_{Al} = 237$ [72];

x_{Al} – типичная толщина алюминиевой фольги, м. $x_{Al} = 0,0002$.

$$A_{c.и} = (l + x_{\text{изо}}) \cdot \pi \cdot (d + x_{\text{изо}}) + 2 \cdot \pi \cdot \frac{(d + x_{\text{изо}})^2}{4} \quad (32)$$

$$= 1,01 \cdot \pi \cdot 0,81 + 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,81^2}{4} \approx 3,94$$

Количество теплоты, отведённой из-за эвапотранспирации:

$$Q'_{ET.и} = Q'_{ET} = 69 \quad (33)$$

Из (24), (25), (29), (30), (33) получим:

$$\begin{aligned} Q'_{V.и} &= Q'_{осв} + Q'_{SR.и} + Q'_{TR.и} + Q'_{C.и} - Q'_{ET.и} \\ &= 50 + 29 + 8 + 23 - 69 = 41 \end{aligned} \quad (34)$$

Требуемый поток воздуха, м³/с:

$$F_{и} = \frac{Q'_{V.и}}{\rho \cdot c_p \cdot (T_{внут} - T_{ТР})} = \frac{41}{1,192 \cdot 1000 \cdot (296 - 290)} \approx 5,7 \cdot 10^{-3} \quad (35)$$

Требуемая энергия за секунду для удаления водяного пара от поступающего воздуха, Вт:

$$\begin{aligned} Q'_{осуш.и} &= F_{и} \cdot \Lambda_{H_2O} \cdot (AH_{вне} - AH_{внут}) \\ &= 5,7 \cdot 10^{-3} \cdot 2450 \cdot 10^3 \cdot (19,8 - 14,4) \cdot 10^{-3} \approx 75 \end{aligned} \quad (36)$$

Требуемая энергия за секунду для охлаждения воздуха до точки росы, Вт:

$$\begin{aligned} Q'_{охлаж.и} &= F_{и} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{вне} - T_{ТР}) \\ &= 5,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,192 \cdot 1000 \cdot (308 - 290) \approx 122 \end{aligned} \quad (37)$$

Полная требуемая мощность для охлаждения, осушения и нагрева поступающего воздуха, Вт:

$$Q'_{рег.и} = Q'_{осуш.и} + Q'_{охлаж.и} = 75 + 122 = 197 \quad (38)$$

Полное покрытие теплицы алюминиевой фольгой привело к тому, что светодиоды стали единственным источником света и должны были работать непрерывно в течение дня. Тогда полная требуемая мощность, Вт:

$$Q'_{полн.и} = Q'_{рег.и} + P_{осв.} = 197 + 77 = 274 \quad (39)$$

Полная требуемая мощность снижена в 15,9 раз по сравнению с системой без изоляции.

Сравнение полных требуемых мощностей для системы регулирования температуры и влажности в двух случаях при интервале температуры воздуха

вне теплицы от 25 °С до 35 °С и неизменяемой абсолютной влажности показано в рисунке 6.

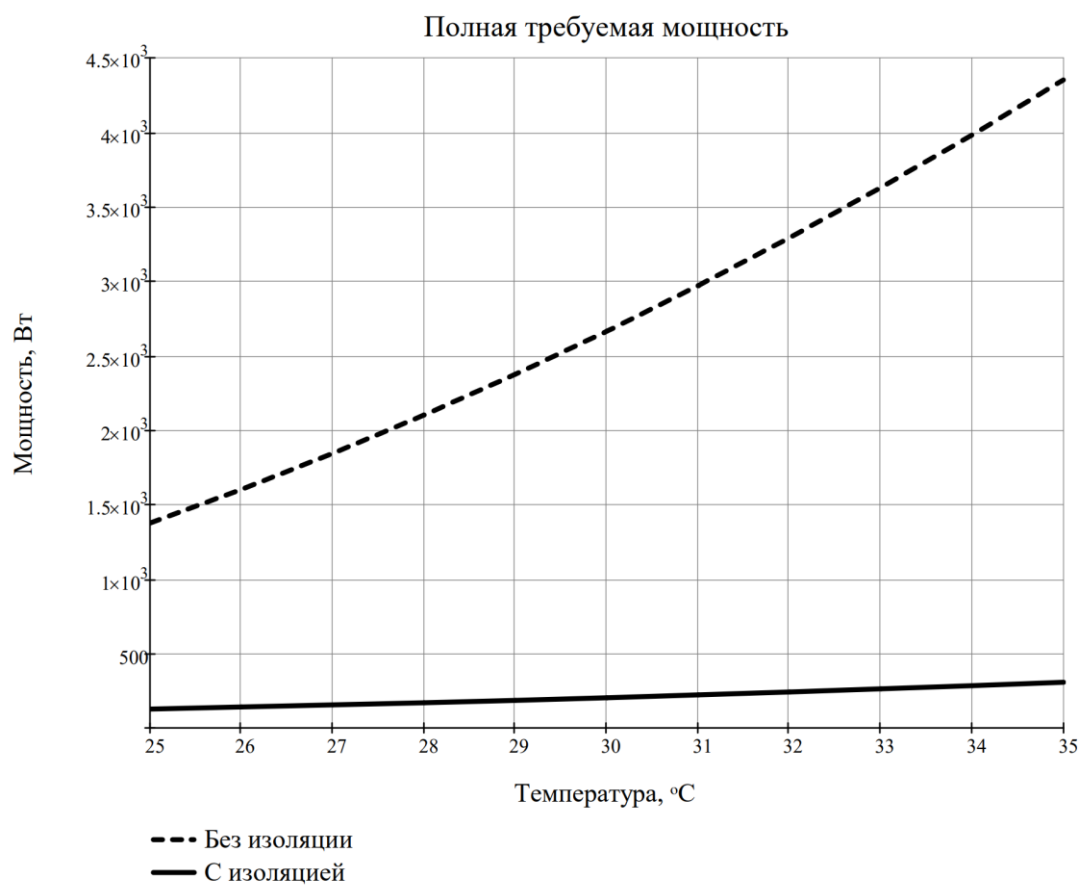


Рисунок 6 – Полная требуемая мощности при интервале температуры воздуха вне теплицы от 25°С до 35°С и неизменяемой абсолютной влажности

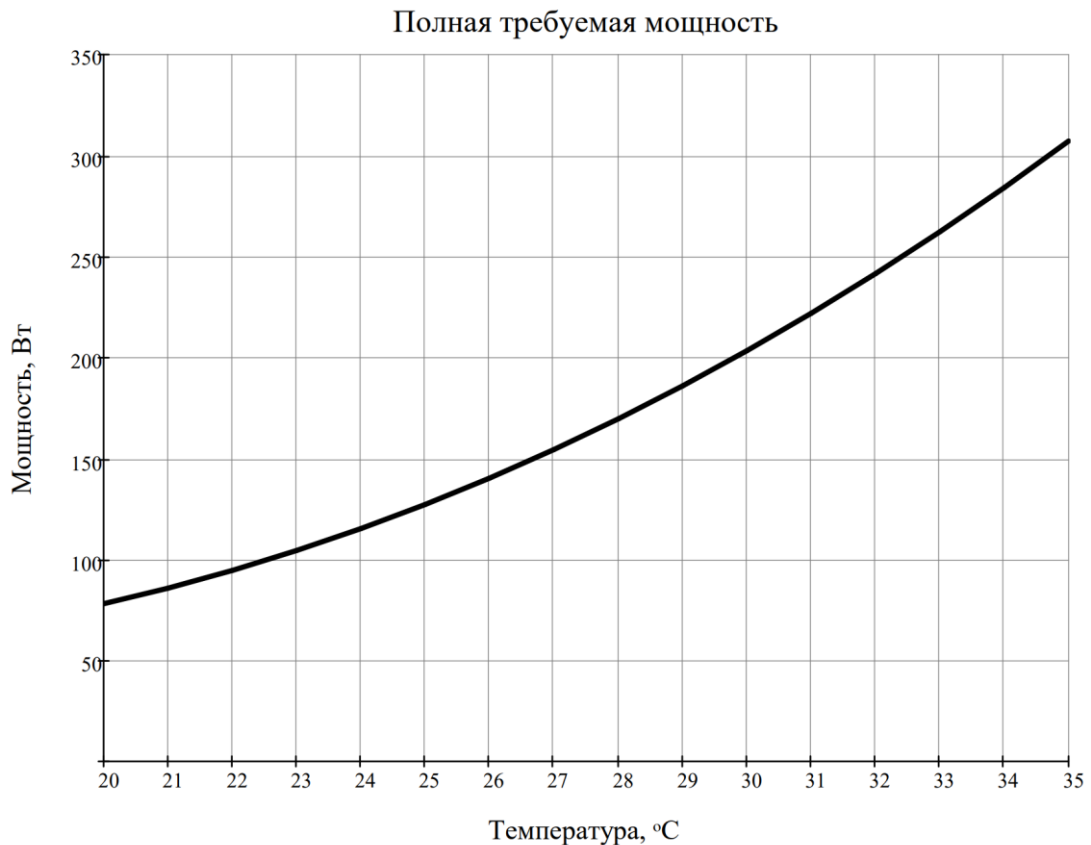


Рисунок 7 – Полная требуемая мощности системы с изоляционной теплицей при интервале температуры воздуха вне теплицы от 25°C до 35°C и неизменяемой абсолютной влажности

3.2.3 Система обогащения CO₂

Расход массы CO₂ необходимо обеспечить при обогащении, кг/с:

$$w_{CO_2} = F_{и} \cdot (n_{обог.} - n_{обыч.}) \cdot \rho_{CO_2} \quad (40)$$

$$= 5,7 \cdot 10^{-3} \cdot (800 - 400) \cdot 10^{-6} \cdot 1,796 \approx 4,09 \cdot 10^{-6}$$

где ρ_{CO_2} – плотность углекислотного газа, кг/м³. $\rho_{CO_2} = 1,796$ [58].

Поток углекислотного газа, м³/с:

$$F_{CO_2} = \frac{w_{CO_2}}{\rho_{CO_2}} = \frac{4,09 \cdot 10^{-6}}{1,796} \approx 2,28 \cdot 10^{-6} \quad (41)$$

CO₂ можно предоставлять в теплицу капельным методом, аналогичным капельному орошению, с помощью вентилятора для повышения давления и трубы с маленькими вентиляционными отверстиями. Однако углекислотный газ сжимаемый, поэтому закон Бернулли нельзя применить для расчета скорости на выходе.

4 Разработка автоматизированной системы выращивания земляники

4.1 Разработка структурной схемы системы

Одна из целей при разработке системы заключалась в том, чтобы ее можно было развертывать в различных масштабах с множеством отдельных теплиц. Поэтому необходим общий компьютер-сервер для всей системы, чтобы можно было эффективно отслеживать и управлять работой устройств.

К общему серверу подключаются контроллеры-клиенты для каждой теплицы. Эти клиенты отвечают за получение управляющей информации от сервера, получение информации о среде теплицы от датчиков, выполнение вычислений и подачу управляющих сигналов на исполнительные устройства. Эти клиенты также могут отправлять информацию о среде теплицы на сервер для хранения и подачи предупреждающих сигналов по мере необходимости.

К клиентам в каждой теплице подключены устройства нижнего уровня структуры системы. Этот уровень включает в себя исполнительные устройства, такие как вентиляторы, лампы, модули охлаждения и датчики, такие как датчики температуры и влажности, датчики цвета и датчики концентрации CO₂. Устройства этого уровня непосредственно взаимодействуют с объектом управления, которым является среда теплицы.

Таким образом, при разработке структурная схема системы разделена на 3 уровня:

- высокий уровень: компьютер-сервер;
- средний уровень: контроллеры-клиенты для каждой теплицы;
- нижний уровень: исполнительные устройства и датчики.

Структурная схема автоматизированной системы представлена на рисунке 9. На рисунке используются следующие обозначения:

T – температура;

RH – относительная влажности воздуха;

PPFD – плотность фотосинтетических фотонов;

RGB, RGBC – значение каналов цветов: R – красный, G – зеленый, B – синий, C – прозрачный;

CO₂ – концентрация CO₂;

U – напряжения.

Построчные индексы:

ж – желаемые значения параметров;

т – значения параметров внутри теплицы;

б – значения параметра в баке, хранящем CO₂.

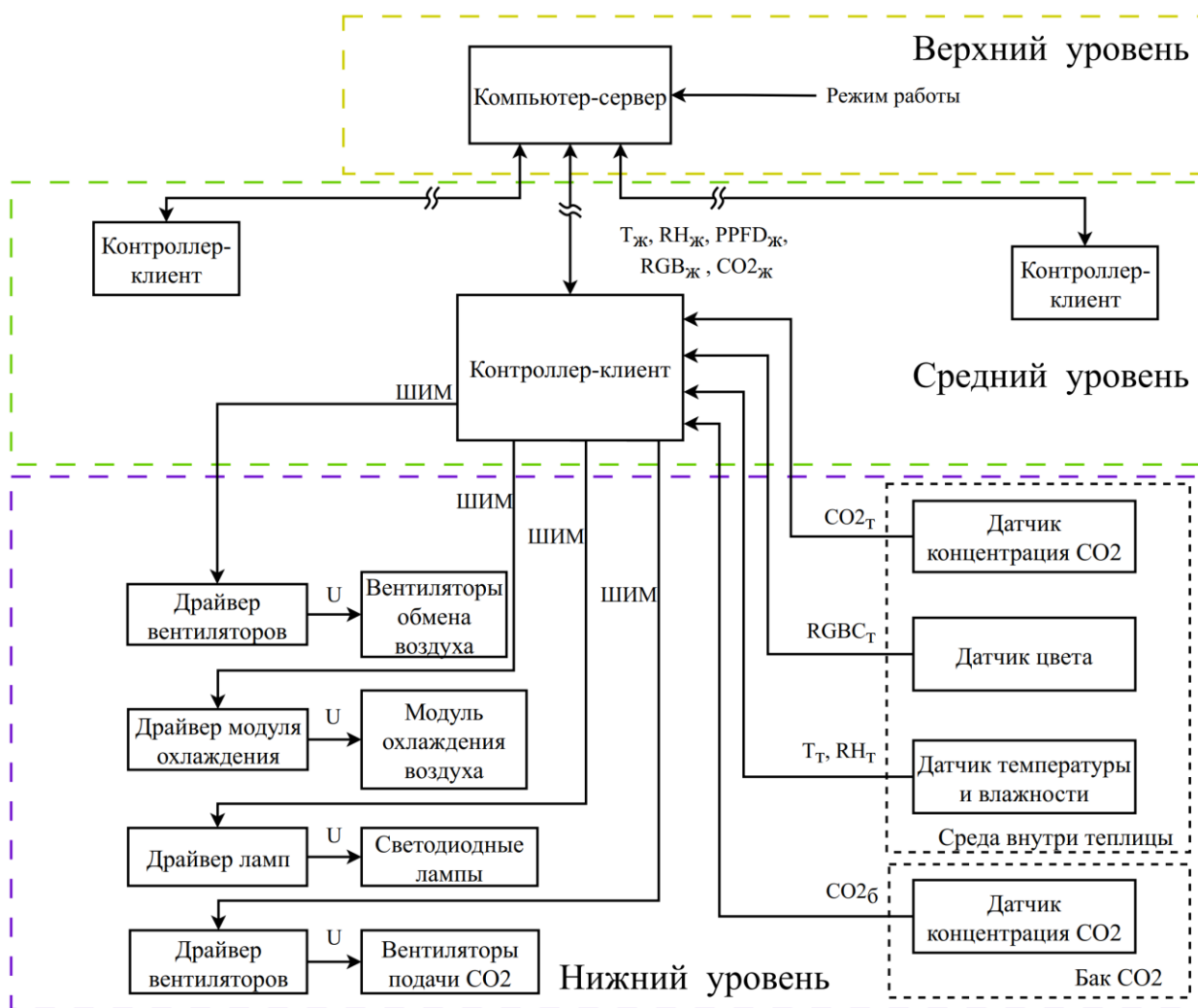


Рисунок 8 – Структурная схема системы выращивания земляники

4.2 Разработка алгоритмов работы системы

Для разработки программного обеспечения необходимо определить функции системы. Программное обеспечение разрабатывается отдельно для сервера и подключенных к нему клиентов, поэтому необходимо определить их собственные функции. Согласно структурной схеме сервер должен выполнять следующие функции:

- работа с операторами по настройке параметров и режимов работы;
- отправка информации о режиме работы подключенным клиентам;
- получение данных и предупреждающих сигналов от клиентов;
- сохранения полученных данных для будущего использования.

Клиент должен выполнять следующие функции:

- получение информации о режиме работы от сервера;
- получать информацию о состоянии теплицы от датчиков;
- выполнения вычислений и подача управляющих сигналов на исполнительные устройства;
- отправка данных о теплице и предупреждающих сигналов серверу.

Алгоритмы работы сервера и клиента представлены в приложении В.

4.3 Выбор средства реализации системы

Компоненты системы выбираются в соответствии с расчетами, выполненными в предыдущем разделе.

Сервер

На основе разработанного алгоритма и структурной схемы сервер должен иметь возможность подключаться к большому количеству клиентов одновременно. В то же время сервер должен иметь возможность подключения к монитору для отображения отслеживаемой информации и отображения интерфейса для установки пользователем параметров системы и режимов работы. Сервер также должен иметь возможность подключения к Интернету, чтобы иметь возможность хранить данные в облаке или отправлять уведомления на телефоны удаленных пользователей при необходимости. Вышеуказанные требования могут быть выполнены просто при использовании подходящего компьютера с Windows или MAC.

Однако для такой простой системы управления, в которую не интегрированы сложные решения по обработке данных, потребность сервера в вычислительной мощности не слишком высока. Кроме того, поскольку это система, используемая в сельском хозяйстве, а сервер расположен на ферме, более целесообразно использовать компактную, легко защищаемую и изолированную платформу, такую как одноплатный компьютер, чем установить обычный компьютер с корпусом.

В настоящее время на рынке Вьетнама популярно доступны Raspberry Pi 4 Model B [73] и Asus Tinker Board R2.0 [74]. Сравнение приведены в приложении Г.

Из сравнения видно, что оба компьютера имеют схожие возможности подключения и подходят для использования в системе. Согласно оценке в [74], производительность двух компьютеров почти одинакова. Поэтому для системы используется компьютер Asus Tinker Board R2.0 благодаря его более низкой цене.

Клиент

В отличие от сервера, клиент подключается и работает с датчиками и исполнительными устройствами и не требует взаимодействия с оператором. Основываясь на поддержке библиотек, разнообразии оборудования и доступности, можно сделать вывод, что платформа Arduino является правильным выбором для использования в качестве клиента.

Количество устройств и датчиков, подключаемых к клиенту велико и еще увеличивается с масштабом теплицы. А среди плат Arduino Mega 2560 имеет большое количество ввод-выводных пинов, превосходящее остальные, что делает ее подходящей для использования в качестве клиента.

Основные характеристики Arduino Mega 2560 [75]:

- микроконтроллер: ATmega2560;
- рабочее напряжение: 5 В;
- рекомендованное входное напряжение: 7–12 В;
- предельное входное напряжение: 6–20 В;
- цифровые пинов ввода/вывода: 54 (включая 15 ШИМ);
- постоянный ток по пину: 20 мА;
- рабочая частота: 16 МГц.
- цена: 1725 руб.

Для того чтобы сервер и клиент могли взаимодействовать друг с другом, можно использовать множество способов, таких как USB, I2C, UART и т. д. Однако при крупномасштабном применении автоматизированной системы выращивания клубники расстояние между сервером и локальными рабочими клиентами в теплицах очень большое, от нескольких десятков метров до сотен метров. Вышеуказанные интерфейсы соединения не используются для таких больших расстояний, поэтому для того, чтобы сервер и клиент могли общаться друг с другом, необходимо использовать другой интерфейс. Для подключения удаленных контроллеров обычно используется RS-422 [76] и RS-485 [77].

Из сравнении в приложении Г видно, что RS485 имеет явное преимущество по количеству подключаемых устройств и может использоваться для растущей системы.

Так как на Asus Tinker Board R2.0 и Arduino Mega 2560 нет порта подключения протокола RS485, необходимо использовать модуль преобразователя. Конвертирующий модуль RS485-TTL на MAX485 способен преобразовывать сигналы TTL шины UART в RS485.

Характеристики модуля RS485-TTL на MAX485 [78]:

- рабочее напряжение: 5 В;
- максимальная частота передачи данных: 2,5 Мбит/с;
- рабочая температура: 0 °С до 70 °С;
- цена: 200 руб.

Светодиодные лампы

Для освещения растений можно использовать разные типы светодиодных светильников различной конструкции с разным цветовым спектром, таких как светодиодные трубчатые светильники, светодиодные лампы, светодиодные панели, светодиодные ленты.

Светодиодные трубки, лампы и панели обычно продаются компаниями на коммерческой основе конечным пользователям для прямого использования с питанием 220 В переменного тока. Эти лампы часто имеют определенный световой спектр, имеют светорассеиватели и достаточно дороги. Для разработки автоматизированной системы использование RGB-светодиодных лент дает гораздо больше преимуществ благодаря возможности изменять спектр и интенсивность освещения с помощью микроконтроллера.

Исходя из сравнении в приложении Г видно, что светодиодная лента с чипами нового типа SMD2835 имеет лучший КПД, чем остальные. Для достижения требуемого светового потока 7000 люмен, как рассчитано, требуется 5 м светодиодной ленты с чипами SMD2835, которая питается 15 Вт.

Цена 5 м светодиодной ленты: 266 руб. [79].

Драйвер светодиодных ламп

Светодиодная лента может управляться с помощью ШИМ. Однако светодиодная лента питается от источника постоянного тока 12 В, управляющие ШИМ должны быть выполнены через транзисторы.

Полная мощность 5 м светодиодной ленты: $15 \cdot 5 = 75$ Вт.

Сила тока потребления светодиодной ленты: $75/12 = 6,25$ А.

Для управления светодиодной лентой необходимо использовать транзисторы с управлением логическим уровнем, подходящие для силы тока 6,25А и напряжения 12В. Выбираем транзистор 100N03А.

Характеристики 100N03А [80]:

- полярность: n-канал;
- максимальное напряжение сток-исток: 30 В;
- максимальный ток сток-исток: 90 А;
- максимальное напряжение затвор-исток: 20 В;
- максимальная рассеиваемая мощность: 105 Вт;
- пороговое напряжение: 1,0–2,5 В;
- цена: 21 руб.

Модуль охлаждение воздуха

Модуль воздушного охлаждения отвечает за охлаждение тепличного воздуха, поступающего из внешней среды, до точки росы заданной температуры теплицы для удаления избыточного водяного пара во влажном наружном воздухе. Приток воздуха из внешней среды и мощность охлаждения должны контролироваться одновременно для поддержания заданной температуры внутри теплицы.

Системы кондиционирования воздуха, как правило, имеют большие объемы воздухообмена и требуют установки в закрытых помещениях, что делает их чрезвычайно сложными для правильного развертывания в системе с небольшими отдельными теплицами, как предлагается.

В этом случае можно использовать элемент Пельтье для обеспечения необходимой охлаждающей способности. Хотя элемент Пельтье имеет меньшую эффективность, чем обычные охлаждающие устройства, такие как кондиционеры и HVAC, использование элемента Пельтье имеет свои преимущества, такие как возможность легкой установки требуемой мощности для любого масштаба, компактный размер, и возможность настроить систему вентиляции для получения желаемого потока воздухообмена при установке системы.

Поскольку во время работы элементов Пельтье необходимо охлаждать горячие стороны, использование нескольких маломощных элементов делает охлаждение более эффективным благодаря большей площади. Сравнение характеристики моделей элементов Пельтье приведено в приложении Г.

Чтобы сбалансировать тепловыделение и инвестиционные затраты на элементы Пельтье, для использования в системе рассматриваются 2 модели 12705-SR и 12706-SR средней мощности. Судя по сравнению, модель 12705-SR имеет более высокую производительность, поэтому ей отдается предпочтение.

Чтобы обеспечить максимальную мощность охлаждения 233 Вт, рассчитанную в разделе 3, необходимо использовать 4 модуля 12705-SR с полной максимальной мощностью охлаждения: $70 \cdot 4 = 280$ Вт.

Драйвер модулей Пельтье

Элемент Пельтье обычно управляется двумя основными способами: включение/выключение с помощью реле или H-моста; регулировка напряжения питания с помощью ШИМ.

Однако, поскольку элемент Пельтье страдает от потерь из-за тепла, выделяемого по закону Джоуля-Ленца, т. е. потери пропорциональны квадрату силы тока, методы управления включения/выключения или только ШИМ оказываются не очень эффективны.

Для повышения эффективности элемента Пельтье часто используются ЦАП для генерации непрерывного управляющего сигнала. Более простой альтернативой является использование схемы RC-фильтра нижних частот для сглаживания ШИМ, генерируемого Arduino. По сравнению с использованием ЦАП этот метод проще, но имеет тот недостаток, что эффективность может варьироваться, поскольку частота ШИМ, генерируемая Arduino, может быть изменена. Кроме того, использование схемы RC-фильтра создаст задержку в передаче сигнала.

Для ШИМ 980Гц у Arduino, можно использовать резистор $R=1000$ Ом и конденсатор $C = 10\text{мкФ}$ чтобы получить частоту среза $f_{\text{ср}} = 1/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C) \approx 16$ Гц.

Регулирование напряжения питания элементов Пельтье выполняется с помощью транзисторов. Используемый транзистор должен иметь нагрузочную способность 280 Вт, чтобы иметь возможность управлять 4 элементами Пельтье TEC1 12705-SR. Выбираем транзистор IRFB3004PBF.

Характеристики IRFB3004PBF [81]:

- полярность: n-канал;
- максимальное напряжение сток-исток: 40 В;
- максимальный ток сток-исток: 195А;
- максимальное напряжение затвор-исток: 20 В;
- максимальная рассеиваемая мощность: 380 Вт;
- пороговое напряжение: 2–4 В.
- цена: 490 руб.

Радиаторы для элементов Пельтье

На основе мощности охлаждения найденного элемента TEC1 12705-SR необходимо использовать рассеиватели с мощностью более 70 Вт для охлажденной стороны, а для горячей стороны – более 150 Вт. Поскольку размеры элементов Пельтье и процессора аналогичны, а процессорные рассеиватели очень популярны на рынке по многим параметрам, их можно использовать в проекте для отвода тепла на элементы Пельтье.

Согласно заявленным требованиям по рассеиванию тепла, радиаторы JONSBO CR-1200 и ID-Cooling CPU SE-214-XT можно использовать для холодной и горячей стороны соответственно.

Характеристики JONSBO CR-1200 [82]:

- размеры: 128 x 67 x 93 mm;
- максимальная мощность рассеивания: 95 Вт;
- вес: 310 гр;
- количество алюминиевых пластин: 38;
- цена: 1017 руб.

Характеристики ID-Cooling CPU SE-214-XT [83]:

- размеры: 124×72×150 mm;
- мощность рассеивания: 180 Вт;
- вес: 850 гр;
- количество алюминиевых пластин: 47;
- цена: 1491 руб.

Для повышения эффективности элемента Пельтье вентиляторы охлаждающих горячую сторону модулей всегда работают при номинальном напряжении 12 В и управляются только включением/выключением реле.

Вентиляторы

В качестве вентиляторы для простоты в реализации системы можно использовать вентиляторы охлаждения корпуса компьютеров, которые имеет специализированный пин для управляющего сигнала ШИМ регулировки скорости вращения. Нужные количество, размеры и мощность вентиляторов зависят от того, как развернуты вентиляционные каналы теплицы.

Требуемое значение потока воздуха:

$$6,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 14,2 \text{ CFM} \quad (42)$$

Это значение потока может быть достигнуто с большинством современных вентиляторов охлаждения корпуса компьютера.

Согласно таблице данных в приложении Г, вентилятор Aerocool Force 12 PWM более подходит к системе для обмена воздуха. Его маленький воздушный поток, близкий к расчётному требуемому значению, делает регулировку эффективнее.

Для подачи ID-COOLING XF Series более подходит к системе благодаря его большому воздушному потоку, который может создает больше давления.

Сдвиговой регистр 74НС595 используется для одновременного управления несколькими вентиляторами в системе вентиляции.

Характеристики 74НС595 [84]:

- разрядность параллельного входа: 8 бит;
- время установки: 20 нс
- максимальная частота: 100 МГц
- напряжение питания: 5 В
- ток потребления: 40 мА
- цена: 10 руб.

Соединения между датчиками и клиентом

В зависимости от размера теплицы используемые датчики могут располагаться довольно далеко от контроллера-клиента. Поэтому на соединительных линиях датчиков придется использовать модули расширения чтобы достичь необходимые расстояния передачи данных. Для простоты в реализации системы датчики должны использовать один и тот же интерфейс подключения.

I2C — это интерфейс, используемый большим количеством различных датчиков. Кроме того, этот интерфейс также поддерживает подключение множества различных устройств к одной и той же паре сигнальной линии и может быть легко расширен с помощью модуля. Поэтому для датчиков использование интерфейса подключения I2C является обязательным критерием для использования в системе.

Характеристики модуля I2C Long Cable Extender P82B715 [85]:

- MultiDrop раздача сигналов шины I2C;
- двойной, двунаправленный, единичный буфер усиления по напряжению без необходимости внешнего управления направлением;
- диапазон напряжения питания: 3–12 В;
- тактовая частота не менее 100 кГц и 400 кГц, если позволяют другие системные задержки;
- цена: 1460 руб.

Датчик цвета

Датчик цвета должен иметь возможность измерять 4 цветовых канала RGBС, которые будут использоваться для расчета яркости и PPFD.

Из таблицы в приложении Г видно, что датчик TCS34725 соответствует требованию по интерфейсу подключения для использования в системе.

Датчик температуры и влажности воздуха

В настоящее время на рынке представлено множество различных типов датчиков температуры и влажности воздуха, таких как АМТ1001, Si7021, DHT22, HTU21, АНТ20, HDC1080 [86,87,88,89,90,91]. Сравнение приведены в приложении Г.

Из вышеперечисленных датчиков датчик HDC1080 соответствует требованиям к рабочему напряжению и протоколу подключения и имеет наилучшие характеристики для использования в системе.

Датчик концентрации CO₂

CO₂ внутри теплицы не постоянно обогащается, а обогащается время от времени, что соответствует времени фотосинтеза растений. Следовательно, датчик концентрации CO₂ должен иметь достаточно быстрое время отклика и короткое время нагрева, чтобы его можно было использовать в системе.

На основе таблицы в приложении Г датчик ENS160 соответствует требованиям протокола подключения и имеет хорошую производительность по сравнению с другими вариантами.

4.4 Разработка функциональной схемы и схемы соединения системы

Согласно элементам системы, выбранным в разделе 4.3 можно составить функциональную схему на основании разработанной структурной схемы. В качестве компьютера-сервера используется одноплатный компьютер Asus Tinker Board R2.0, к которому по интерфейсу RS-485 подключены контроллеры-клиенты Arduino Mega 2560. Линии связи по интерфейсу RS-485 получились с помощью инвертирующего модуля конвертирующего модуля RS485-TTL на MAX485. Управляющие сигналы вентиляторами передаются параллельно с помощью микросхемы 74HC595. Регулировка напряжения питания элементов Пельтье и светодиодной ленты выполняются транзисторами IRFB3004PBF и 100N03A. Контроллер управляет вентиляторами непосредственно по ШИМ. Все датчики подключаются к контроллеру по интерфейсу I2C с модулями расширения I2C Long Cable Extender P82B715. Исходя из описанного выше была получена функциональная схема, показана на рисунке 9. Схема соединения приведена в приложении Д.

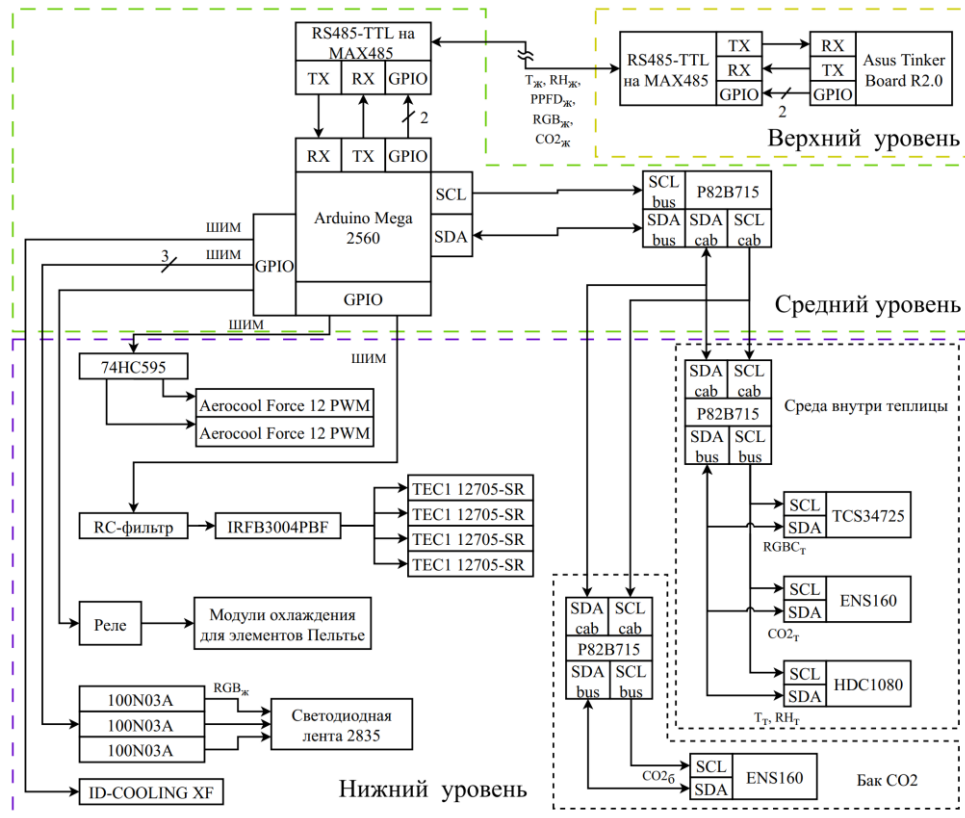


Рисунок 9 – Функциональная схема системы

5 Моделирование системы

5.1 Моделирование процесса регулирования температуры и влажности

Создание математических моделей

Математическая модель процесса изменения температуры внутри теплицы была создана на основе модели стационарного энергетического баланса в разделе 3.2.2. При небольшом интервале времени dt , когда температура внутри теплицы равна $T_{\text{теп}}$:

$$V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{dT_{\text{теп}}}{dt} = Q'_{\text{осв.}} + Q'_{\text{SR.и}} + Q'_{\text{С.и}} - Q'_{\text{ET.и}} + Q'_{\text{TR.и}} - Q'_{\text{V.и}} \quad (43)$$

Для упрощения модели будем считать количество теплоты, полученной от системы освещения, солнечного излучения и эвапотранспирации постоянным и равным $Q'_k = Q'_{\text{осв.}} + Q'_{\text{SR}} - Q'_{\text{ET}}$. Тогда

$$\begin{aligned} V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{dT_{\text{теп}}}{dt} = & Q'_k + \frac{A_c}{2} \cdot \epsilon_{\text{Al}} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{земля}}^4 + T_{\text{небо}}^4 - 2 \cdot T_{\text{теп}}^4) \\ & + F_{\text{и}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{\text{пост}} - T_{\text{теп}}) + A_{\text{с.и}} \cdot U_{\text{и}} \cdot (T_{\text{вне}} - T_{\text{теп}}) \end{aligned} \quad (44)$$

Согласно найденной математической модели изменение температуры внутренней среды теплицы зависит от температуры внешней среды $T_{\text{вне}}$, температуры поступающего воздуха $T_{\text{пост}}$ и поток поступающего воздуха $F_{\text{и}}$. Постоянная времени модели не фиксирована и зависит от $F_{\text{и}}$.

Изменения влажности воздуха определяется по абсолютной влажности поступающего и выходящего воздуха. При небольшом интервале времени dt , когда абсолютная влажность воздуха внутренней среды теплицы имеет значения $AH_{\text{теп}}$, ее изменения описывается следующим образом:

$$\begin{aligned} dAH_{\text{теп}} &= (AH_{\text{вход}} - AH_{\text{теп}}) \cdot F_{\text{и}} \cdot dt \\ \Rightarrow \frac{dAH_{\text{теп}}}{dt} &= (AH_{\text{вход}} - AH_{\text{теп}}) \cdot F_{\text{и}} \end{aligned} \quad (45)$$

Относительная влажность определяется отношением абсолютной влажности и абсолютной влажности насыщенного водяного пара $AH_{\text{нас}}$ при данной температуре T .

$$AH_{\text{нас}} = \frac{0,61078 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot (T-273)}{(T-273)+237,3}\right) \cdot 1000}{461,5 \cdot T} \quad (46)$$

Обратные связи температуры и влажности внутренней среды теплицы измеряются датчиком HDC1080, который имеет постоянную времени 15 с. Передаточная функция датчика имеет вид: $1/(15 \cdot s + 1)$.

Поступающий воздух охлаждается с помощью элементов Пельтье и блоков рассеиватели. Процесс охлаждения воздуха внутри туннеля описывается математической моделью, аналогичной модели процесса изменения температуры внутренней среды теплицы.

$$V_{\text{тун}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} = h \cdot A_{\text{расс}} \cdot (T_{\text{ТЕС}} - T) + A_{\text{с.тун}} \cdot U \cdot (T_{\text{вне}} - T) + F_{\text{и}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{\text{вне}} - T) + F_{\text{и}} \cdot \Lambda_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (AH_{\text{вне}} - AH_{\text{тун}}) \quad (47)$$

где $V_{\text{тун}}$ – объем туннеля охлаждения;

$A_{\text{расс}}$ – общая площадь рассеиватели;

h – коэффициент конвективной теплопередачи между воздухом и рассеиватели в туннеле;

$A_{\text{с.тун}}$ – общая площадь поверхности вокруг туннели;

U – общий коэффициент теплопередачи между внутренним и внешним воздухом туннеля;

$AH_{\text{вне}}$ – абсолютная влажности внешнего воздуха;

$AH_{\text{тун}}$ – абсолютная влажности воздуха внутри туннеля.

Коэффициент конвективной теплопередачи между воздухом и рассеиватели в туннеле вычисляется с помощью числа Нуссельта (Nu), числа Рейнольдса (Re) и числа Прандтля (Pr).

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} \quad (48)$$

где μ – динамическая вязкость воздуха. $\mu = 18,37 \cdot 10^{-6}$ Па·с;

k – коэффициент теплопроводности воздуха. $k = 26,24 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м·К).

$$Re = \frac{\rho \cdot F_{\text{и}} \cdot D_{\text{г}}}{\mu \cdot A_{\text{сеч}}} \quad (49)$$

где $D_{\text{г}}$ - гидравлический диаметр туннеля;

$A_{\text{сеч}}$ – площадь сечения туннеля.

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} = 0,664 \cdot Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

где L – характерный размер рассеивателя.

Выделение теплоты при конденсации $F_{\text{и}} \cdot \Lambda_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (\text{АН}_{\text{вне}} - \text{АН}_{\text{тун}})$ происходит только тогда, когда температура воздуха внутри туннели ниже температуры точки росы, то есть абсолютная влажность насыщенного водяного пара внутри туннеля меньше абсолютной влажности поступающего воздуха ($\text{АН}_{\text{вне}} > \text{АН}_{\text{тун}}$).

Работа элементов Пельтье описывается передаточной функцией апериодической 1-го порядка с постоянной времени 60с. Входным сигналом является напряжение, а выходным – разницы температуры между горячей и охлажденной сторонами (ΔT). Коэффициент передачи $k_{\text{TEC}} = 63/15,5$, который соответствует $\Delta T_{\text{max}} = 63$ К при максимальном напряжении 15,5 В по технической характеристике. Таким образом:

$$W_{\text{TEC}}(s) = \frac{63/15,5}{60s+1} \quad (51)$$

Вентилятор моделируется передаточной функцией вида апериодическая 1-го порядка с постоянной времени 0,2 с. Входным сигналом является напряжение, а выходным – поток воздуха. Коэффициент передачи равен $k_{\text{вент}} = 0,0133/12$, что соответственно максимальному потоку 28,2 CFM = 0,0133 м³/с при напряжении 12 В по технической характеристике. Таким образом:

$$W_{\text{вент}}(s) = \frac{0,0133/12}{0,2s+1} \quad (52)$$

На основе полученных функций, схема моделирования работы системы регулирования температуры и влажности теплицы была создана в MATLAB Simulink. Моделирование было проведено со следующими предложениями:

- температура воздуха внутри туннеле однородна;
- температура всей площади рассеивателя равна температуре охлажденной стороны элемента Пельтье;

- абсолютная влажности внешней среды не изменяется и равняется значению при относительной влажности 50 % и температуре 35 °С, т. е. $AH_{вне} = 19,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$;

- максимальная мощность охлаждения элементов Пельтье равна 280 Вт;

- температура горячей стороны элементов Пельтье увеличивается на 5 К с каждым подаваемым вольт, но не более чем 20 К выше исходной температуры благодаря рассеивателей, подключенных на горячих сторонах.

- значение размерных переменных принято в соответствии с техническим характеристикам компонентов.

Составление схем моделирование

Список переменных, использованных в моделированиях, и схемы подсистем приведены в приложении Е.

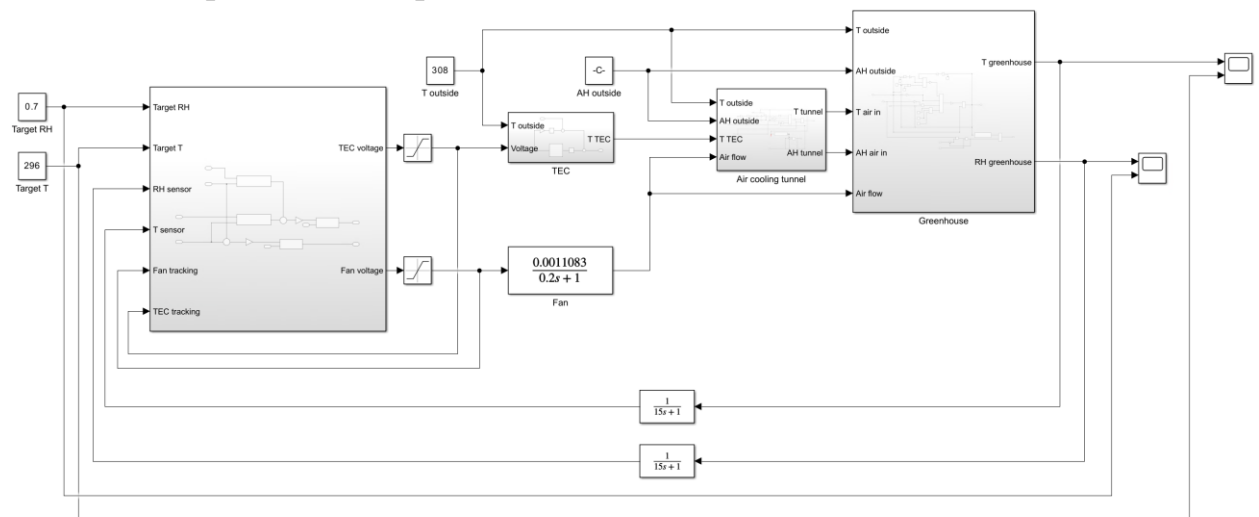


Рисунок 10 – Общая схема моделирования регулирования температуры и влажности в MATLAB Simulink

Результаты моделирования

Результаты моделирования при условии постоянной температуры воздуха внешней среды $T_{\text{вне}} = 308 \text{ K}$ представлены на рисунках 11 и 12.

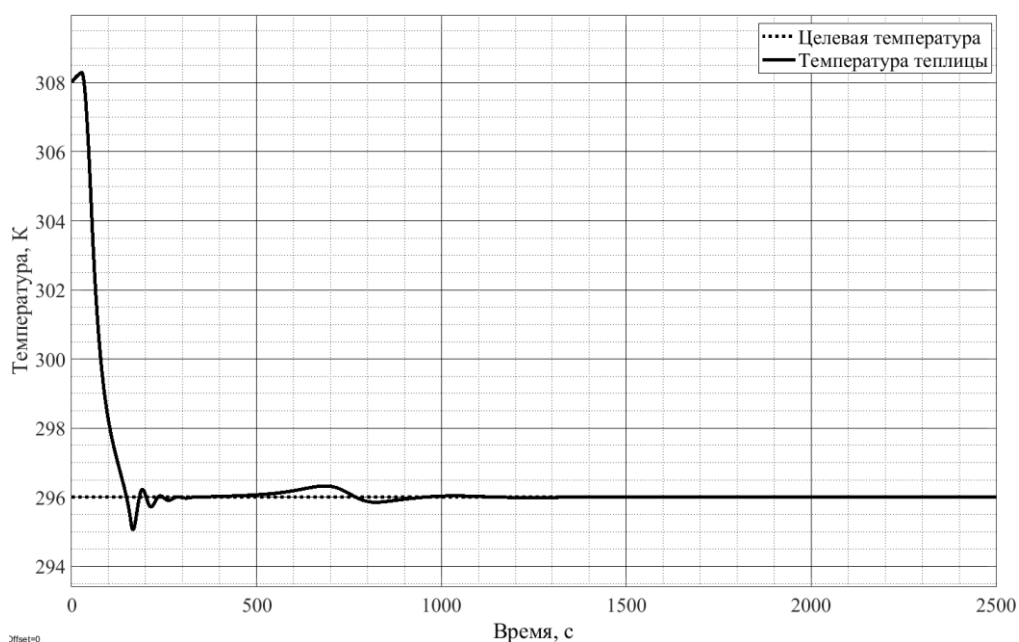


Рисунок 11 – Регулирование температуры при постоянной температуре внешнего воздуха 308 К

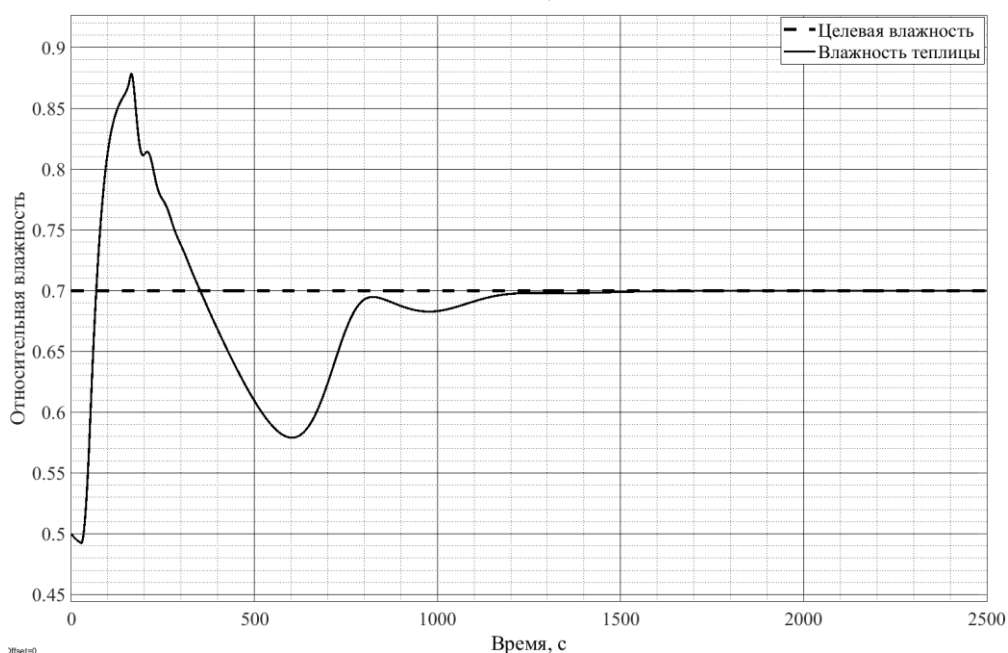


Рисунок 12 – Регулирование влажности при постоянной температуре внешнего воздуха 308 К

Результаты моделирования при изменении температуры воздуха внешней среды приведены на рисунках 13 и 14. Температуры воздуха меняется от 298К до 308К с шагом 2К каждый час (3600с).

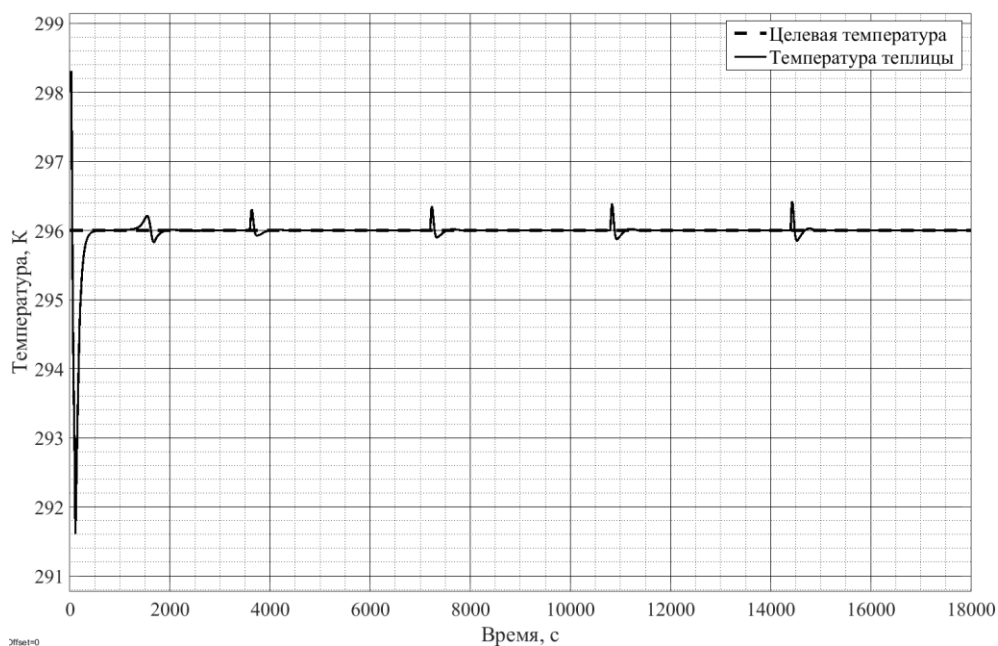


Рисунок 13 – Регулирование температуры при измененной температуре внешнего воздуха от 298 К до 308 К

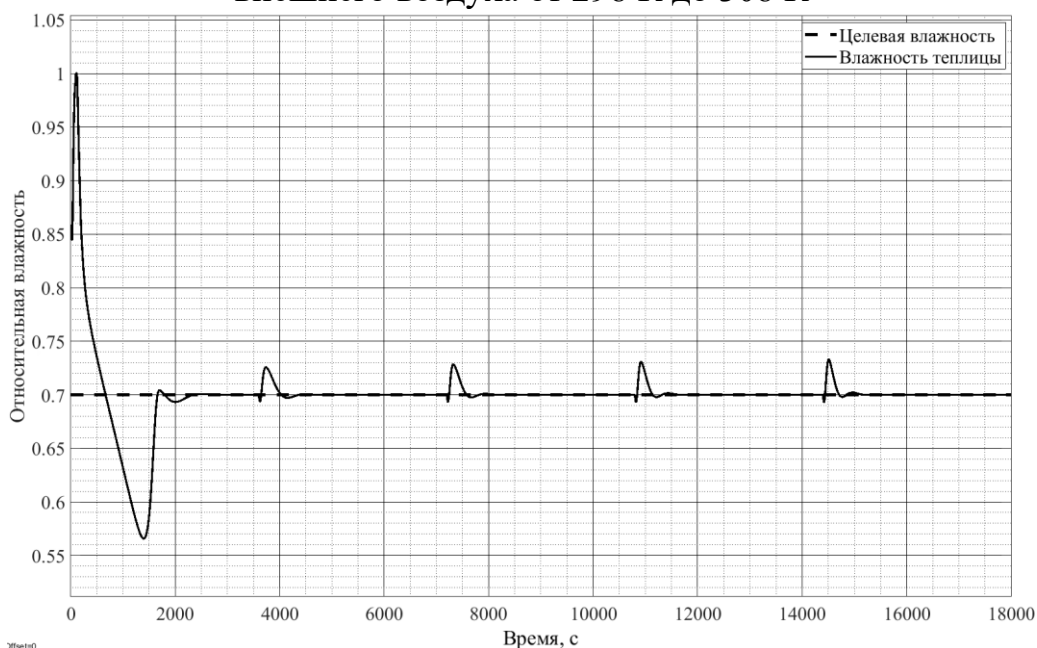


Рисунок 14 – Регулирование влажности при измененной температуре внешнего воздуха от 298 К до 308 К

На основе графиков, полученных при моделировании, было установлено, что созданная система способна охлаждать и поддерживать температуру и относительную влажность внутри теплицы на подходящем для земляники уровне, т.е. 296 К и влажность 70 %.

Однако время переходного процесса довольно велико, особенно когда система первый раз запущена, т. е. начальная температура и влажность внутри

теплицы аналогичны внешнему воздуху. Температура достигла допустимого уровня через 250 с, а влажность воздуха достигла необходимо значения только через 1200 с.

При моделировании в условиях изменения температуры внешнего воздуха было обнаружено, что значения температуры и влажности внутри теплицы имеют незначительные и краткие колебания когда происходит изменение температуры внешнего воздуха. Затем эти значения быстро стабилизируются на желаемом уровне.

Таким образом, из моделирований можно сделать вывод, что система способна работать в заданных внешних условиях. Система требует время при начале использования для достижения желаемого уровня. Система работает довольно стабильно после достижения желаемого уровня.

Значения ПИ-регуляторов, использованных в моделированиях, были получены эмпирическим методом. Время переходного процесса можно улучшить за счет более глубокой настройки параметров контролера.

5.2 Проектирование 3Д-модели системы-теплицы

На основе идей конструкции теплицы, представленных в предыдущих разделах, была разработана 3Д-модель системы-теплицы в программной среде Autodesk Inventor.

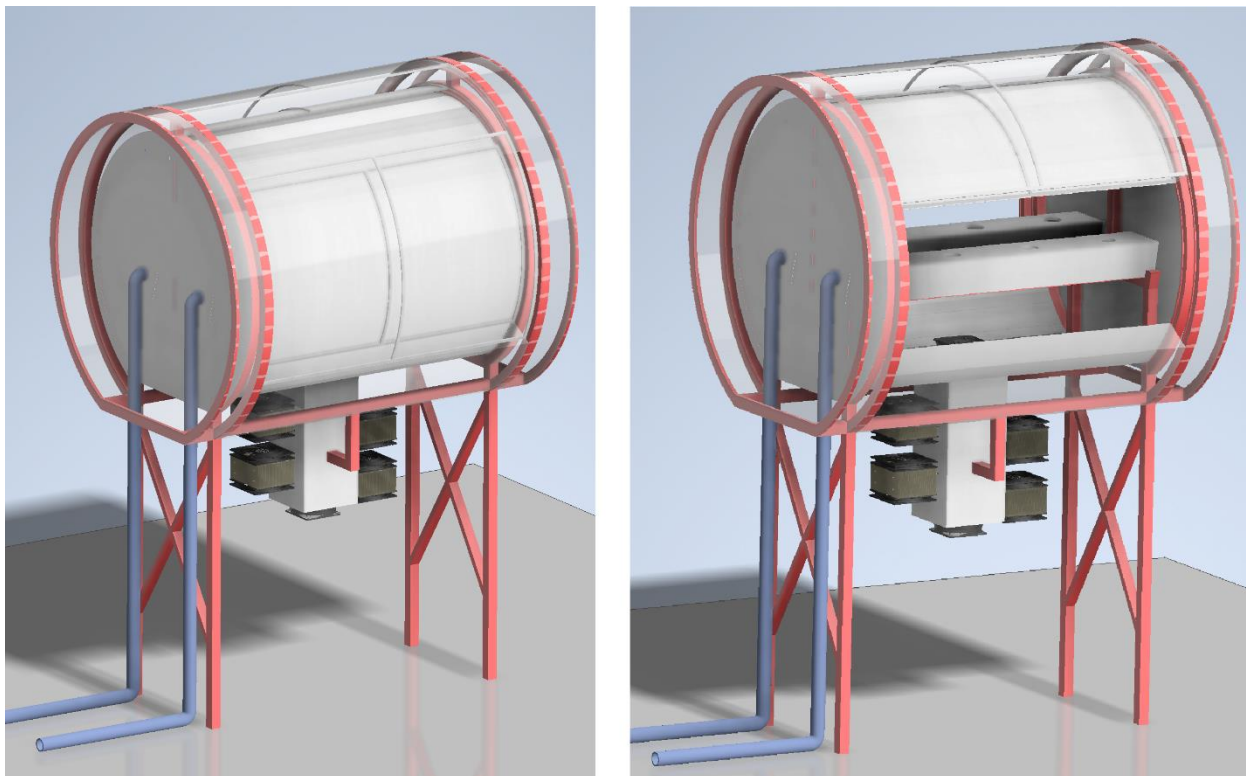


Рисунок 15 – Модель теплица при полное закрытии при работе и открытии боковой двери для сбора урожая и ухода за растениями земляники

Хотя детали 3Д-модели могут не соответствовать действительности, тем не менее, она дает общее представление о концепции комплекса системы-теплицы для будущего развития.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся

Группа	ФИО
8E92	Нгуен Хоанг Тиен

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимости материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с средними рыночными ценами во Вьетнаме.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф на электроэнергию 4,4 руб/кВт*ч; Районный коэффициент 1,3
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в социальные внебюджетные фонды 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений. SWOT-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Представить структуру работ в рамках НИ. Определить трудоемкость выполнения работ. Разработать график проведения НИ. Составить план бюджета затрат.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Провести оценку сравнительной эффективности НИ.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений; Интерактивные матрицы проекта; Матрица SWOT-анализа; Морфологическая матрица; Перечень этапов, работ и распределения исполнителей; Временный показатели проведения научного исследования; Календарный план-график проведения НИОКР по теме; Графики проведения и бюджет НИ; Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта научного исследования; Сравнительная эффективность разработки.

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	10.02.2023
------------------------------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	к.э.н.		10.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E92	Нгуен Хоанг Тиен		10.02.2023

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В настоящее время на рынке существуют аналогичные решения для выращивания земляники, тем не менее, те решения лишь используются для применения в странах умеренного климата. Уникальность разрабатываемой системы заключается в том, что она разрабатывается для применения в климатических и топографических условиях горного района Вьетнама.

Для оценки конкурентоспособности взяты два конкурента, о решениях которых упоминалось в первом главе: «iFarm Berries» (К1), «Wilkin & Sons Ltd» (К2).

«iFarm Berries» – российская технологическая компания, которая занимается ведением сельского хозяйства на базе ИТ в контролируемой среде. Решение этого конкурента представляет собой систему ферм, выращивающих землянику в закрытом помещении под контролируемыми климатическими условиями.

«Wilkin & Sons Ltd» – британский производитель консервантов, джемов и сопутствующих товаров. Решение этого конкурента представляет собой ферменную систему для подъема желобов земляники в открытой теплице с солнцезащитными навесами.

Анализ конкурентных технических решений с позиций ресурсоэффективности и ресурсосбережения представлен в таблице 1. Позиция разработки и конкурентов оцениваются по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,06	2	4	5	0,12	0,24	0,3
2. Энергоэкономичность	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
3. Экологичность	0,15	4	2	5	0,6	0,3	0,75
4. Масштабируемость	0,12	5	2	4	0,6	0,24	0,48
5. Надежность	0,15	3	5	3	0,45	0,75	0,45
6. Безопасность	0,2	4	5	1	0,8	1	0,2
7. Функциональная мощность	0,14	5	5	3	0,7	0,7	0,42
8. Простота эксплуатации	0,08	4	3	4	0,32	0,24	0,32
Итого	1	31	29	30	3,99	3,77	3,42

По данным расчетам оценки конкурентоспособности можно установить вывод в том, что разрабатываемая система выращивания земляники обладает рядом преимуществ по сравнению с конкурентами. Основные показатели конкурентоспособности:

- масштабируемость (структура системы является иерархической и модульной, чтобы соответствовать разным масштабам и топографическим условиям Вьетнама);

- функциональная мощность (конструкция и производительность системы подходят для сложных условий регулирования температуры и влажности, таких как жаркий и влажный климат во Вьетнаме).

6.1.2 SWOT-анализ

Представим результаты, проведенного SWOT-анализа научных разработок в области разработки автоматизированной системы выращивания земляники.

Первый этап позволил нам определить факторы внешней и внутренней среды (в таблицу оформить слабые и сильные стороны).

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон данного проекта внешним условиями окружающей среды. Это соответствие или не соответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения.

В рамках третьего этапа была составлена итоговая матрица SWOT-анализа.

Интерактивные матрицы проекта и матрицы SWOT-анализа представлены в приложении Ж.

6.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В таблице 2 представлены возможные решения для составления комплекса датчиков.

Таблица 2 – Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Одноплатный компьютер для сервера	Asus Tinker Board R2.0	Raspberry Pi 4 Module B	
Б. Плата для клиента	Arduino Mega 2560	Arduino Uno	
В. Элемент Пельтье	12705-SR	12704-SR	12706-SR
Г. Датчик цвета	TCS34725		
Д. Датчик температуры и влажности	HDC1080	АHT20	HTU21
Е. Датчик CO2	ENS160	CCS811	

Основным вариантом решения является А1Б1В1Г1Д1Е1. Данный вариант решения имеет наиболее подходящие технические требования для разработки проекта.

Альтернативные варианты решения включают А1Б2В2Г1Д2Е2 и А2Б2В3Г1Д3Е2.

6.3 Планирование и формирование бюджета научных исследований

6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Структура работ приведена в приложении И.

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для того чтобы определить ожидаемую продолжительность работы применяются оценки длительности работ. Характер оценки обусловлен тем, что конечный итог зависит от множества трудно учитываемых факторов. Трудоемкость выполнения любой проектной работы оценивается в человекоднях. Результат определения трудоемкости приведен в приложении И.

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

На основе таблицы временных показателей строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках работы над концептом, на основе таблицы 8 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. Все работы выделены на график с различной штриховкой в зависимости от исполнителей за ту или иную работу.

Количество календарных дней в 2023 году – 365, из них 247 рабочих дней и 118 выходных/праздничных дней. Таким образом, коэффициент календарности ($k_{\text{кал}}$) за 2023 год равен 1,48. Продолжительность выполнения работы в календарных днях ($T_{\text{к}}$) вычисляется по формулам:

$$T_{\text{к}} = T_{\text{р}} \cdot k_{\text{кал}} \quad (53)$$

Календарный план-график проведения НИОКР по теме представлен в приложении К.

6.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

6.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Представим расчет материальных затрат НТИ. В расчет включим стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Расчет материальных затрат приведен в приложении Л.

6.3.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимые для проведения работ по конкретной теме. Расчет затрат на оборудование приведен в приложении Л.

6.3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает расчет основной заработной платы работников, непосредственно занятых выполнением проекта, то есть студента и научного руководителя.

Размер основной заработной платы установим, исходя из численности исполнителей, трудоемкости и средней заработной платы за один рабочий день. Произведение трудоемкости на сумму дневной заработной платы определяет затраты по зарплате для каждого работника на все время разработки.

Заработная плата по тарифной ставке для студента (инженера) составляет 16242 руб., а для руководителя – 35000 руб.

Расчет основной заработной платы приведен в приложении Л.

Месячный должностной оклад вычисляется при применении районного коэффициента, равного 1,3 для Томска.

6.3.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Отразим обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Полное размер отчисления во внебюджетные фонды составляет 30 %.

Расчет отчисления во внебюджетные фонды приведены в приложении Л.

6.3.4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция общий бюджета затрат НИИ по форме, приведенной в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечания
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 2	
1. Материальные затраты НИИ	2797,6	2797,6	2797,6	П. 6.3.4.1
2. Затраты на специальное оборудования (экспериментальных) работ	163200	184800	305400	П. 6.3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	97182,2	97182,2	97182,2	П. 6.3.4.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	29154,7	29154,7	29154,7	П. 6.3.4.4
Бюджет затрат НИИ	292334,5	313934,5	434534,5	Сумма ст. 1-4

6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}} \quad (54)$$

где $I_{\text{финр}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_p – стоимость вариант исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость выполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^1 = \frac{292334,5}{434534,5} \approx 0,673 \quad (55)$$

$$I_{\text{финр}}^2 = \frac{313934,5}{434534,5} \approx 0,722 \quad (56)$$

$$I_{\text{финр}}^3 = \frac{434534,5}{434534,5} = 1 \quad (57)$$

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности (I_p) представлена таблицей 4.

Таблица 4 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта научного исследования

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности пользователя	0,1	4	4	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	3	3	4
3. Помехоустойчивость	0,15	3	3	3
4. Энергосбережение	0,20	4	4	4
5. Надежность	0,25	4	4	4

Продолжение таблицы 4

6. Материалоемкость	0,15	3	3	3
Итого	1	3,55	3,55	3,8

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{исп}}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя следующим образом:

$$I_{\text{исп}}^1 = \frac{I_{\text{р}}^1}{I_{\text{финр}}^1} = \frac{3,55}{0,673} \approx 5,275 \quad (58)$$

$$I_{\text{исп}}^2 = \frac{I_{\text{р}}^2}{I_{\text{финр}}^2} = \frac{3,55}{0,722} \approx 4,917 \quad (59)$$

$$I_{\text{исп}}^3 = \frac{I_{\text{р}}^3}{I_{\text{финр}}^3} = \frac{3,8}{1} \approx 3,8 \quad (60)$$

Сравнительная эффективность проект вычисляется путем найти отношение интегральных показателей эффективности двух варианта исполнения.

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} \quad (61)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.3}}} \quad (62)$$

Таблица 5 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,673	0,722	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,55	3,55	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	5,275	4,917	3,8
4	Сравнительная эффективности вариантов исполнения	1,07		1,39

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, видно, что первое исполнение более эффективно 7 % по сравнению с 2-м исполнением и более 39 % по сравнению с 3-им исполнением.

Таким образом, можно сделать о том, что для данной выпускной квалификационной работы первый вариант исполнения проекта является наиболее эффективным с позиции финансовой и ресурсоэффективности.

Вывод по разделу

В ходе оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения для выпускной квалификационной работы были проведены анализ конкурентных технических решений. Сильные и слабые стороны решения, его возможности и угрозы, а также корреляция этих показателей были определены в ходе SWOT-анализа. Полученные показатели позволили определить направление развития разработки для достижения наибольшей востребованности среди целевой аудитории.

Определение перечня этапов и работ в рамках проведения научного исследования позволило структурировать и упорядочить запланированные этапы, а также распределить ответственных исполнителей-участников проекта.

Были рассчитаны общий бюджет затрат и эффективность вариантов исполнения проекта для выбора наиболее эффективного исполнения с финансовой и ресурсоэффективности. Бюджет затрат выбранного исполнения составляет 292334,5 рублей. Это исполнение на 7 % и 39 % эффективнее двух остальных предложенных вариантов исполнения.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
8E92	Нгуен Хоанг Тиен

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

Разработка автоматизированной системы выращивания земляники

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Объект исследования:</i> методы регулирования параметров микроклимата теплицы при выращивании ананасной земляники; <i>Область применения:</i> сельское хозяйство; <i>Рабочая зона:</i> офис; <i>Размеры помещения:</i> 3,5*6 м; <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> ПК, планшет; <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> выполнение расчётов, анализ и выбор компонентов, выполнение чертежей схем, моделирование процесса работы разработанной системы, проектирование конструкции разработанной системы.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023); - ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя; - ТОО Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере; - СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда; - СП 2.4.3648-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи.
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p><i>Вредные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - наличие электромагнитных полей; радиочастотного диапазона; - повышенная яркость света; - физические перегрузки, связанные с рабочей позой;

	<ul style="list-style-type: none"> - нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса; - умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой; - перенапряжение анализаторов, в том числе информационной нагрузкой; - эмоциональные перегрузки. <p><i>Опасные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий. <p><i>Средства коллективной и индивидуальной защиты:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - устройства автоматического отключения; - предохранительные устройства.
3. Экологическая безопасность <u>при разработке решения:</u>	<p><i>Воздействие на селитебную зону, литосферу:</i> утилизация макулатуры и бытовых отходов, утилизация мебели и компьютерных комплектующих;</p> <p><i>Воздействие на гидросферу:</i> атмосферные осадки, приносящие в гидросферу загрязнения от производства комплектующих;</p> <p><i>Воздействие на атмосферу:</i> выброс вредных веществ от деталей ПК при их сжигании, выброс вредных веществ на предприятиях по производству компьютерных комплектующих.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения:</u>	<p><i>Возможные ЧС:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - инфекционные заболевания; - пожар; <p><i>Наиболее типичная ЧС:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - пожар.

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	10.02.2023
------------------------------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидова	-		10.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E92	Нгуен Хоанг Тиен		10.02.2023

7 Социальная ответственность

Введение

В рамках выпускной квалификационной работы была разработана автоматизированная система выращивания земляники. Система предназначена для использования в области сельского хозяйства. В качестве потенциальных пользователей выступают фермеры и энтузиасты, желающие инвестировать в развитие высокотехнологичных земляничных ферм.

Земляника – одна из культур с высокой экономической ценностью, выращиваемый в некоторых горных районах Вьетнама. Под влиянием изменения климата и проникновения импортной земляники на внутренний рынок отрасль выращивания земляники во Вьетнаме испытывает большое давление. Автоматизированная система выращивания земляники, разработанная с учетом топографических и климатических условий Вьетнама, предназначена для решения вышеуказанной проблемы отечественной земляники.

Разработка автоматизированной системы проводилась в городе Томске.

Выпускная квалификационная работа по разработке автоматизированной системы выращивания земляники выполнялась в ходе преддипломной практики. Рабочее место представляет собой офис, характеристики которого приведены ниже:

- ширина – 3,5 м, длина – 6 м, высота – 3 м;
- площадь – 21 м², объём – 63 м³;
- в помещении имеется естественная вентиляция, дверь, окно;
- в помещении установлено искусственное освещение, имеется естественное освещение.

В данном помещении максимальное количество сотрудников в одну смену – 1. В процессе проектирование и разработки использовались 1 ПК, 1 планшет.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые нормы трудового законодательства

Трудовой Кодекс РФ устанавливает права и обязанности работника и работодателя, регулирует вопросы охраны труда, профподготовки, переподготовки и повышения квалификации, трудоустройства, социального партнерства.

Согласно Трудовому Кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ рабочий день нормирован. Для совершеннолетних людей длительность рабочего времени не должна превышать 40 часов в неделю. Для работников, возраст которых менее 16 лет – продолжительность рабочего времени не должна превышать 24 часов в неделю. Для людей в возрасте от 16 до 18, а также инвалидов I и II групп, норма предусматривает длительность рабочего времени не более 35 часов в неделю. Для работников, работающих на рабочих местах с вредными условиями для жизни продолжительность рабочего времени не должна превышать 36 часов в неделю.

Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Согласно ГОСТу 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя» рабочее место должно иметь следующие размерные характеристики:

- конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Зоны досягаемости моторного поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях для средних размеров тела человека приведены на рисунках 16 и 17.

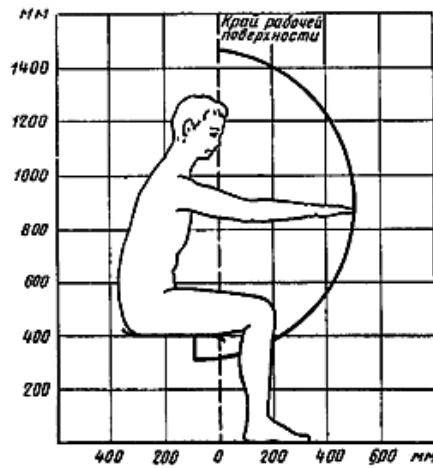


Рисунок 16 – Зона досягаемости моторного поля в вертикальной
ПЛОСКОСТИ

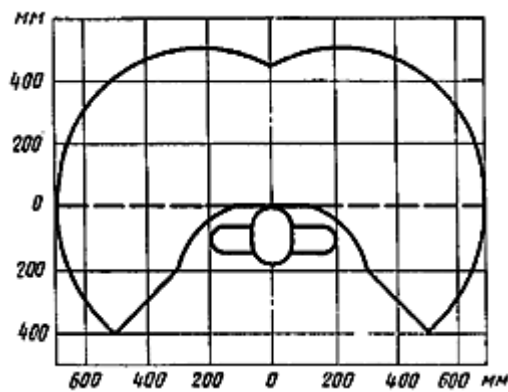


Рисунок 17 – Зона досягаемости моторного поля в горизонтальной
плоскости при высоте рабочей поверхности над полом 725 мм

- выполнение трудовых операций «часто» и «очень часто» должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля, приведенных на рисунке 18.

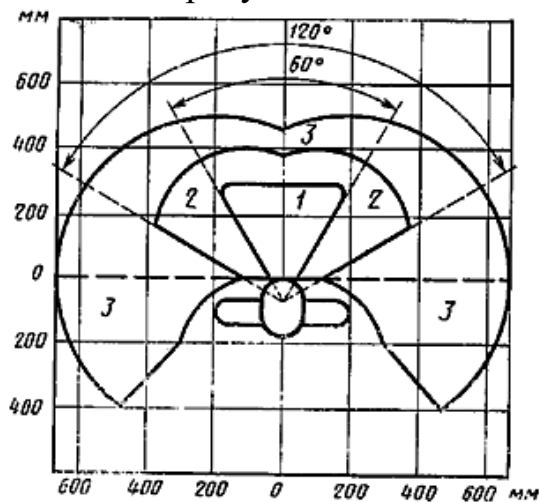


Рисунок 18 – Зоны для выполнения ручных операций и размещения
органов управления

Согласно ТОО Р-45-084-01 «ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ по охране труда при работе на персональном компьютере» рабочие места с компьютерами должны размещаться таким образом, чтобы расстояние от экрана одного видеомонитора до тыла другого было не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м.

Согласно СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» площадь на одно постоянное рабочее место пользователей персональных компьютеров на базе плоских дискретных экранов должна составлять не менее 4,5 м². Персональные компьютеры следует размещать таким образом, чтобы показатели освещенности не превышали установленных гигиенических нормативов утвержденных в соответствии с пунктом 2 статьи 38 Федерального закона от 30.03.1999 N 52-ФЗ [5].

Согласно СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи» в помещений, где организовано рабочее место обучающегося с компьютером (ноутбуком) или планшетом, необходимо предусмотреть естественное освещение и искусственное общее и местное на рабочем столе. Источник местного освещения на рабочем месте обучающегося должен располагаться сбоку от экрана персонального компьютера (ноутбука) или планшета. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана.

7.2 Производственная безопасность

При выполнении работ на ПЭВМ согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» могут иметь место следующие факторы, представленные на таблице в приложении М.

Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона

В офисе источниками электромагнитных полей радиочастотного диапазона являются телефон, планшет, компьютер и т. д.

Длительное воздействие электромагнитных волн часто приводит к усталости, головным болям и дискомфорту, что снижает производительность труда. В частности, электромагнитные волны большой интенсивности могут привести к некоторым серьезным проблемам со здоровьем, таким как невралгия, сердечная недостаточность и т. д.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 предельно допустимый уровень (ПДУ) электромагнитных полей представляется в таблице 6.

Таблица 6 – ПДУ постоянного магнитного поля на рабочих местах

Время воздействия за рабочий день, минуты	Условие воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
≤10	24	30	40	50
11-60	16	20	24	30
61-480	8	10	12	15

Для ограничить влияние электромагнитных полей во время работы можно ограничить/отключить функции передачи информации устройств, которая является основной причиной повышенной электромагнитных полей, при нет необходимости.

Повышенная яркость света

Такой вредный фактор как повышенная яркость света возникает из-за того, что многие светоизлучающие устройства (мониторы, планшеты) используются одновременно с наличием естественной освещенности из окна.

Повышенная яркость света приводит к снижению работоспособности из-за дискомфорта для глаз, а также может вызвать проблемы со здоровьем, а именно может повлиять на качество зрения работников.

В СанПиН 1.2.3685-21 регламентированы допустимые уровни яркости рабочих поверхностей.

Таблица 7 – Допустимые уровни яркости рабочих поверхностей

Площадь рабочей поверхности, м²	Наибольшая допустимая яркость, кд/м²
менее 0,0001	2000
от 0,0001 до 0,001	1500
от 0,001 до 0,01	1000
от 0,01 до 0,1	750
более 0,1	500

Для снижения влияния фактора повышенной яркости света необходимо ограничить яркость используемых экранов в допустимом уровне. При наличии естественного света со слишком большой интенсивностью необходимо использовать средства, блокирующие свет, такие как шторы или дополнительное темное стекло для окон.

Физические перегрузки, связанные с рабочей позой

Физические перегрузки, связанные с рабочей позой возникают из-за неправильного оснащения рабочего места, например, стул на рабочем месте не позволяет регулировать высоту и наклон спинки.

Такого рода перегрузки отражаются, преимущественно, на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма (сердечно-сосудистую, дыхательную и др.). Статические перегрузки могут приводить к таким заболеваниям, как: остеохондроз, сколиоз, варикозное расширение вен, а также общее снижение иммунитета.

Чтобы компенсировать этот фактор необходимо придерживаться правил и инструкций по характеристике рабочего места в ГОСТ 12.2.032-78 и ТОО Р-45-084-01 при выполнении сидя и на персональном компьютере.

Нервно-психические перегрузки: умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, эмоциональные перегрузки

Нервно-психологическая нагрузка, известная также как напряженность труда, является фактором трудового процесса. Проблемы, связанные с нервно-психическими перегрузками, часто возникают, когда работникам приходится работать непрерывно в течение длительного периода времени с проблемами, требующими высокой концентрации внимания, особенно когда им приходится отслеживать и обрабатывать большие объемы информации.

Основной удар принимают важные системы организма как центральная нервная и сердечно-сосудистая. Субъективно это отражается в преждевременном наступлении утомления (ослабление памяти и внимания, слуха и зрения, появление слабости). При медицинском осмотре можно отметить повышение частоты пульса, кровяного давления, сухожильных рефлексов. В дальнейшем не исключаются такие процессы как постепенная потеря массы тела, бессонница, беспокойство, эмоциональная неустойчивость, изменение потенции.

Для ограничения нервно-психологической перегрузки, прежде всего, работникам необходимо соблюдать нормы рабочего времени, установленные Трудовым кодексом Российской Федерации. Кроме того, необходимо поощрять расслабляющие занятия после рабочего времени, а также выстраивать доброжелательную рабочую атмосферу, позитивное взаимодействие между коллегами.

Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

В деятельности организации широко используется электричество для питания компьютерной техники, которая может являться источником опасности.

Поражение электрическим током может произойти при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на которых остался заряд или появилось напряжение. Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействия, что может привести к травмам, таким как ожоги, или гибели.

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает предельное допустимое значение напряжений прикосновения и токов, предназначенные для проектирования способов и средств защиты людей. Так, для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока – 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц, соответственно – 2 В и 0,4 мА, для постоянного тока – 8 В и 1 мА.

Мерами защиты от воздействия электрического тока являются оградительные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления, устройства автоматического отключения, предохранительные устройства. Пользование мерами защиты, приведенными выше, позволяют избежать поражения электрическим током.

7.3 Экологическая безопасность

При выполнении выпускной квалификационной работы основным источником загрязнения селитебной зоны и литосферы является утилизация макулатуры, бытовых отходов и утилизация мебели, компьютерных комплектующих. Определенному воздействию подвергается атмосфера из-за выброса вредных веществ на предприятиях, производящих компьютерные комплектующие, а также при сжигании отходов компьютерных комплектующих. Кроме того, атмосферные осадки может приносить загрязнения от производства комплектующих в гидросферу.

Вышедшее из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90 % отправиться на вторичную переработку и менее 10 % будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов».

Бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенном классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К возможным чрезвычайным ситуациям (ЧС) на данном рабочем месте выделяют инфекционные заболевания и пожар.

С учетом специфики работы и наличием вычислительной техники в помещении наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара, которое может случиться при использовании персонального компьютера. Причинами возгорания могут быть:

- токи короткого замыкания;
- неисправность устройства компьютера или электросетей;
- небрежность оператора при работе с компьютером;
- воспламенение персонального компьютера из-за перегрузки.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. От 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" рабочее место относится к категории В1 (пожароопасность) по пожарной и взрывопожарной опасности помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения.

Согласно классификации пожаров по виду горючего материала, установленной статьей 8 Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ, возможный пожар относится к классам А (пожары твердых горючих веществ и материалов) и Е (пожар горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением).

Первичными средствами пожаротушения являются: переносные и передвижные огнетушители, пожарные краны и средства обеспечения их использования.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования» при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие нормы пожарной безопасности:

- для предохранения сети от перегрузок запрещается одновременно подключать к сети количество потребителей, превышающих допустимую нагрузку;

- работы за компьютером проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки;

- иметь средства для тушения пожара (огнетушитель);

- установить количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и выходов;

- обеспечить возможность беспрепятственного движения людей по эвакуационным путям.

Прокладка всех видов кабелей в металлических газонаполненных трубах – отличный вариант для предотвращения возгорания. При появлении пожара, любой, увидевший пожар должен: незамедлительно заявить о данном в пожарную службу по телефонному номеру 01 или 112, заявить о происшествии и соблюдать покой.

В случае возникновения пожара в здании автоматически срабатывают датчики пожаротушения, и звуковая система оповещает всех сотрудников о немедленной эвакуации из здания и направляются на выход в соответствии с планом эвакуации при пожарах и других ЧС. На этаже находится два огнетушителя, пожарных крана и эвакуационных выходы.

Выводы по разделу

В результате проведенного анализ был рассмотрен процесс разработки системы с различных точек зрения, таких как правовая, эргономическая, производственная, экологическая, а также с позиции обеспечения безопасности при чрезвычайных ситуациях. Рабочее место соответствует всем необходимым нормам.

Согласно ПУЭ категория помещения электробезопасности – без повышенной опасности.

Так как работы выполнялись только на ПЭВМ, то согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок для выполнения ВКР достаточно только персонала, относящегося ко II группе по электробезопасности, что не требует стажа работы с электроустановками.

В связи с тем, что большая часть времени работы проводится сидя за компьютером, можно присвоить категорию тяжести труда Ib по СанПиН 1.2.3685-21, подразумевающую работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением.

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» – В1 (пожароопасная).

Категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду относится к 4-й категории, так как при работе не образуется вредных веществ, кроме бытовых отходов.

Заключение

В результате выпускной квалификационной работы была разработана автоматизированная система выращивания земляники с возможностью регулирования параметров микроклимата под условия выращивания для применения в климате Вьетнама.

В ходе обзора материалов были изучены характеристики земляники, существенные аналогичные системы. Также были изучены настоящие потенциалы и проблемы в выращивании земляники Вьетнаме.

В ходе выполнения работы были рассмотрены существующие методы регулирования параметров микроклимата и предложена новая конструкция теплицы для применения вместе с разработанной системой. Были проведены необходимые расчеты мощности для системы и выбор компоненты для реализации системы. Также были разработаны структурная, функциональная схемы, схемы соединения и алгоритмы работы двух главных компонентов.

Кроме того, для данной системы были проведены моделирование процесса регулирования температуры и влажности воздуха в среде MATLAB Simulink. Также была создана 3Д-модель, которая дает общего представления о концепции комплекса системы-теплицы для будущего развития.

Таким образом, в рамках выпускной квалификационной работы были выполнены все поставленные задачи, что позволило достигнуть цель работы.

Список использованных источников

1. Отчет о социально-экономической ситуации в первом квартале 2023 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gso.gov.vn/du-lieu-va-so-lieu-thong-ke/2023/03/bao-cao-tinh-hinh-kinh-te-ha-hoi-quy-i-nam-2023/> - свободный (дата обращения 14.04.2023).
2. Выращивание земляники в Ламдонге [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://khuyennong.lamdong.gov.vn/thong-tin-nong-nghiep/trong-trot/2975-trong-dau-tay-o-lam-dong> – свободный (дата обращения 14.04.2023).
3. Корейская клубника продвигается для импорта на рынок Вьетнама [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dantri.com.vn/kinh-doanh/trai-dau-tay-han-quoc-duoc-xuc-tien-nhap-khau-va-o-thi-truong-viet-nam-20220330184318825.htm> - свободный (дата обращения 14.04.2023).
4. Говорова Г. Ф. Земляника и клубника: Монография / Г. Ф. Говорова, Д. Н. Говоров – Москва : Проспект, 2016. – 320 с. – ISBN 978-5-392-19290-8.
5. Global Fresh Strawberry Market Research Report 2022 (Status and Outlook) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://proficientmarketinsights.com/global-fresh-strawberry-market-21188627> - свободный (дата обращения 29.01.2023).
6. Global Fresh Strawberry Market Size Analysis 2023 Profoundly determine New Revenue Generation Techniques, Strategies and Forecast 2027 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.marketwatch.com/press-release/global-fresh-strawberry-market-size-analysis-2023-profoundly-determine-new-revenue-generation-techniques-strategies-and-forecast-2027-2022-12-19> - свободный (дата обращения 29.01.2023).
7. Современные тренды потребления меняют бизнес-модель предприятий в новой ситуации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moit.gov.vn/tin-tuc/bo-cong-thuong-voi-doanh-nghiep/xu-huong-tieu-dung-hien-dai-lam-thay-doi-mo-hinh-kinh-doanh-.html> - свободный (дата обращения 29.01.2023).

8. Изменение покупательского поведения вьетнамских потребителей под влиянием эпидемии COVID-19 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sociologyhue.edu.vn/blog/post/22235> - свободный (дата обращения 29.01.2023).
9. The 4 Covid-induced consumer shifts that changed our attitude to fresh produce [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://think.ing.com/articles/fresh-produce-and-covid-why-some-consumption-shifts-will-stick-ot#a4> – свободный (дата обращения 29.01.2023).
10. Oguz, I. Recent Studies on Strawberries: Strawberry Cultivation Techniques / I. Oguz, H. Ibrahim Oguz, N. Ebru Kafka. – London : IntechOpen, 2022. – 278 p. – ISBN 978-1-80355-199-9. – DOI: 10.5772/intechopen.98136.
11. Vertical farms to grow delicious, sweet and fragrant strawberries all year round [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ifarm.fi/blog/2021/11/how-ifarm-berries-technology-works-photo> – свободный (дата обращения 30.01.2023).
12. Tiptree Farms [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tiptree.com/tiptreefarms> – свободный (дата обращения 30.01.2023).
13. Sunrise and sunset in Vietnam [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.worlddata.info/asia/vietnam/sunset.php> – свободный (дата обращения 09.02.2023).
14. Annual sunshine duration in Vietnam in 2021 by city [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/1089265/vietnam-annual-sunshine-duration-in-by-city/> – свободный (дата обращения 09.02.2023).
15. Корейская земляника хорошо потребляется на рынке Вьетнама [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mekongasean.vn/dau-tay-han-quoc-duoc-tieu-thu-tot-tai-thi-truong-viet-nam-post4942.html> – свободный (дата обращения 30.01.2023).
16. Wang, Shiow Y. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry / Shiow Y. Wang, Mary J. Camp // Scientia Horticulturae. – 2000. – № 3. – P. 183-199. – DOI: 10.1016/S0304-4238(99)00143-0.

17. Места выращивания земляники во Вьетнаме [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://farmyv.vn/dia-diem-trong-dau-tay/> – свободный (дата обращения 30.01.2023).

18. Земляника приносят фермерам высокую экономическую эффективность [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sonla.gov.vn/4/469/63802/627904/nong-san-an-toan-va-xuat-khau/cau-dau-tay-mang-lai-hieu-qua-kinh-te-cao-cho-nong-dan> – свободный (дата обращения 30.01.2023).

19. Konsin, M. Influence of photoperiod and duration of short-day treatment on vegetative growth and flowering of strawberry / M. Konsin, I. Voipio, P. Palonen // *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. – 2001. – Vol. 76. – № 1. – P. 77-82. – DOI: 10.1080/14620316.2001.11511330.

20. Xu, X. The Effect of Light Intensity on Vegetative Propagation Efficacy, Growth, and Morphology of "Albion" Strawberry Plants in a Precision Indoor Propagation System / X. Xu, R. Hernandez // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10. – DOI: 10.3390/app10031044.

21. Garcia, K. Physiology of strawberry plants under controlled environment: diurnal change in leaf net photosynthetic rate / K. Garcia, C. Kubota // *Acta Horticulturae*. – 2017. – P. 445-452. – DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1156.66.

22. General Statistics Office of Vietnam [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gso.gov.vn/so-lieu-thong-ke/> - свободный (дата обращения 17.02.2023).

23. Lee, S. K. Effect of Temperature on Photosynthesis and Fruit Quality of 'Mihong' Peaches under High CO₂ Concentrations / S. K. Lee, J. H. Han, J. G. Cho, J. H. Jeong // *Horticulturae*. – 2022. – Vol. 8. – DOI: 10.3390/horticulturae8050367.

24. Barasooriya, H. High temperature effects on strawberry fruit quality and antioxidant contents / H. Balasooriya, K. B. Dassanayake, S. Ajlouni // 2016.

25. Lieten, P. The effect of humidity on the performance of greenhouse grown strawberry / P. Lieten // *Acta Horticulturae*. – 2002. – Vol. 567. – P. 479-482. – DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.567.101.
26. Bees are better for strawberries // *Natures*. – 2013. – Vol. 504 – P. 190. – DOI: 10.1038/504190b.
27. Miyoshi, Y. Effect of Local CO₂ Enrichment on Strawberry Cultivation during the Winter Season / Y. Miyoshi, K. Hidaka, T. Okayasu, D. Yasutake, M. Kitano // *Environment Control in Biology*. – 2017. – Vol. 55. – P. 165-170. – DOI: 10.2525/ecb.55.165.
28. Hidaka, K. Crop-local CO₂ enrichment improves strawberry yield and fuel use efficiency in protected cultivations / K. Hidaka, S. Nakahara, D. Yasutake, Y. Zhang, T. Okayasu, K. Dan, M. Kitano, K. Sone // *Scientia Horticulturae*. – 2022. – Vol. 301. – 111104. – DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111104.
29. Morrow, R. C. LED Lighting in Horticulture / R. C. Morrow // *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*. – 2008. – Vol. 43. – P. 1947-1950. – DOI: 10.21273/HORTSCI.43.7.1947.
30. Choi, H. G. Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber / H. G. Choi, B. Y. Moon N. J. Kang // *Scientia Horticulturae*. – 2015. – Vol. 189. – P. 22-31. – DOI: 10.2525/ecb.51.41.
31. Ghoulem, M. Greenhouse design and cooling technologies for sustainable food cultivation in hot climates: Review of current practice and future status / M. Ghoulem, K. E. Moueddeb, E. Nehdi, R. Boukhanouf, J. K. Calautit // *Biosystems Engineering*. – 2019. – Vol. 183. – P. 121-150. – DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.04.016.
32. Guan, L. Evaluating the potential use of direct evaporative cooling in Australia / L. Guan, M. Bennet, J. Bell // *Energy and Buildings*. – 2015. – Vol. 108. – P. 185-194 – DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.09.020.

33. Li, A. Field test and analysis of microclimate in naturally ventilated singled-sloped greenhouses / A. Li, L. Huang, T. Zhang // *Energy and Buildings*. – 2017 – Vol. 138. – P. 479-489 – DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.12.047.
34. Yang, S. H. Utilization and performance evaluation of a surplus air heat pump system for cooling and heating / S. H. Yang, J. Y. Rhee // *Applied Energy*. – 2013. – Vol. 105. – P. 244-251. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.12.038.
35. Ghosal, M. K. Modeling and experimental validation of a greenhouse with evaporative cooling by moving water film over external shade cloth / M. K. Ghosal, G. N. Tiwari, N. S. L. Srivastava // *Energy and Buildings*. – 2003. – Vol. 35. – P. 843-850. – DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00242-6.
36. Chou, S. K. On the study of an energy-efficient greenhouse for heating, cooling and dehumidification applications / S. K. Chou, K. J. Chua, J. C. Ho, C. L. Ooi // *Applied Energy*. – 2004. – Vol. 77. – P. 355-373. – DOI: 10.1016/S0306-2619(03)00157-0.
37. Okushima, L. Capacities for heat pump cooling systems for greenhouses in Japan / *Journal of the Society of Agricultural Structures*. – 2014. – Vol. 45.
38. Ganguly, A. Modeling and analysis of solar photovoltaic-electrolyzer-fuel cell hybrid power system integrated with a floriculture greenhouse / A. Ganguly, D. Misra, S. Ghosh // *Energy and Buildings*. – 2010. – Vol. 42. – P. 2036-2043. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.06.012.
39. Ganguly, A. Modeling and analysis of a fan-pad ventilated floricultural greenhouse / A. Ganguly, S. Ghosh // *Energy and Buildings*. – 2007. – Vol. 39. – P. 1092-1097. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.12.003.
40. Greenhouse Carbon Dioxide Supplementation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/greenhouse-carbon-dioxide-supplementation.html> – свободный (дата обращения 27.02.2023).
41. Schroeder, D. V. An introduction to thermal physics / D. V. Schroeder – Boston: Addison-Wesley, 2000. – 442 p. – ISBN 978-0-321-27779-4.

42. Greenhouse effect [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_effect – свободный (дата обращения 26.03.2023).

43. Kutta, E. Improving Understanding of Microclimate Heterogeneity within a Contemporary Plant Growth Facility to Advance Climate Control and Plant Productivity / E. Kutta, J. Hubbard // *Journal of Plant Sciences*. – 2014. – Vol. 2. – P. 167-178. – DOI: 10.11648/j.jps.20140205.14.

44. Hidaka, K. Crop-local CO₂ enrichment improves strawberry yield and fuel use efficiency in protected cultivations / K. Hidaka, S. Nakahara, D. Yasutake, Y. Zhang, T. Okayasu, K. Dan, M. Kitano, K. Sone // *Scientia Horticulturae*. – 2022. – Vol. 301. – 111104. – DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111104.

45. Convert Lux to PPFD [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.waveformlighting.com/horticulture/convert-lux-to-ppfd-online-calculator> - свободный (дата обращения 20.03.2023).

46. Watts to lumens (lm) conversion calculation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rapidtables.com/calc/light/watt-to-lumen-calculator.html> - свободный (дата обращения 20.03.2023).

47. Wang, L. Highly efficient and selective infrared absorption material based on layered double hydroxides for use in agricultural plastic film / L. Wang, L. Wang, Y. Feng, J. Feng, D. Li // *Applied Clay Science*. – 2011. – Vol. 53. – P. 592-597. – DOI: 10.1016/j.clay.2011.05.008.

48. Smith, B. C. The Infrared Spectra of Polymers II: Polyethylene / B. C. Smith // *Spectroscopy*. – 2021. – Vol. 36. – P. 24-29. – DOI: 10.56530/spectroscopy.xp7081p7.

49. Martorell, I. Aging Study of Plastics to Be Used as Radiative Cooling Wind-Shields for Night-Time Radiative Cooling—Polypropylene as an Alternative to Polyethylene / I. Martorell, J. Camarasa, R. Vila, C. Sole, A. Castell // *Energies*. – 2022. – Vol. 15. – DOI: 10.3390/en15228340.

50. Hogewoning, S. W. Photosynthetic Quantum Yield Dynamics: From Photosystems to Leaves / S. W. Hogewoning, E. Wientjes, P. Douwstra, G. Trouwborst, W. van Ieperen, R. Croce, J. Harbinson. // *The Plant Cell*. – 2012. – Vol. 24. – P. 1921-1935. – DOI: 10.1105/tpc.112.097972

51. Merzlyak, M. N. Does a leaf absorb radiation in the near infrared (780–900 nm) region? A new approach to quantifying optical reflection, absorption and transmission of leaves / M. N. Merzlyak, O. B. Chivkunova, T. B. Melo, R. Razi Naqvi // *Photosynthesis Research*. – 2002. – Vol. 72. – P. 263-270. – DOI: 10.1023/a:1019823303951.

52. Acevedo, M. F. B. INFRARED SPECTROSCOPY OF LEAF TRAITS: Detecting plant stress and identifying plant species: Dissertation to obtain the degree of doctor / Maria Fernanda Buitrago Acevedo ; University of Twente. – Enschede, 2018. – 167 p.

53. Solar Radiation & Photosynthetically Active Radiation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/#:~:text=Of%20the%20light%20that%20reaches,of%20the%20total%20solar%20radiation> – свободный (дата обращения 20.03.2023).

54. Phillip, H. R. Optical absorption of some polymers in the region 240-170 nm / H. R. Phillip, H. S. Cole, Y. S. Liu, T. A. Sitnik // *Applied Physics Letters*. – 1986. – Vol. 48. – P. 192-194. – DOI: 10.1063/1.96940.

55. Kumar, S. V. Chemical transformations and changes in free volume holes in high-energy proton irradiated low-density polyethylene (LDPE) / S. V. Kumar, B. Ghadei, S. K. Chaudhuri, J. B. M. Krishna, D. Das, A. Saha // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2008. – Vol. 77. – P. 751-756. – DOI: 10.1016/j.radphyschem.2007.11.002.

56. Merzlyak, M. N. Estimation of leaf transmittance in the near infrared region through reflectance measurements / M. N. Merzlyak, T. B. Melo, K. Razi

Naqvi // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology – 2004. – Vol. 74. – P. 145-150. – DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2004.03.003.

57. Slaton, M. R. Estimating Near-Infrared Leaf Reflectance from Leaf Structural Characteristics / M. R. Slaton, E. R. Hunt, W. K. Smith // American Journal of Botany. – 2001. – Vol. 88. – P. 278-284. – DOI: 10.2307/2657019.

58. The Engineering ToolBox [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.engineeringtoolbox.com/> - свободный (дата обращения 26.03.2023).

59. Karn, A. An investigation into sky temperature estimation, its variation, and significance in heat transfer calculations of solar cookers / A. Karn, V. Chintala, S. Kumar // Heat transfer. – Vol. 48. – P. 1830-1856. – DOI: 10.1002/htj.21459.

60. Lopez, A. Determining the emissivity of the leaves of nine horticultural crops by means of infrared thermography / A. Lopez, F. D. Molina-Aiz, D. L. Valera // Scientia Horticulturae. – 2012. – Vol. 137. – P. 49-58. – DOI: 10.1016/j.scienta.2012.01.022.

61. Goddijn-Murphy, L. On Thermal Infrared Remote Sensing of Plastic Pollution in Natural Waters / L. Goddijn-Murphy, B. Williamson // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11. – DOI: 10.3390/rs11182159.

62. Kireva, R. Evapotranspiration with strawberries grown in drip irrigation conditions / R. Kireva, M. Mihov // Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. – 2019. – Vol. 65. – P. 220-222.

63. Absolute Humidity Calculator [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.omnicalculator.com/physics/absolute-humidity> - свободный (дата обращения 26.03.2023).

64. Monteith, J. L. Principles of Environmental Physics / J. L. Monteith, M. H. Unsworth – Amsterdam: Elsevier – 2008. – 401 p. – ISBN 978-0-12-386910-4.

65. Roberts, W. J. Double Covering a Film Greenhouse Using Air to Separate the Layers / W. J. Roberts, D. R. Mears // Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers. – 1969. – Vol. 12. – P. 32-33.

66. Ahmadi, G. Dynamic simulation of the performance of an inflatable greenhouse in the southern part of Alberta. II. Comparisons with experimental data / G. Ahmadi, K. O. Kessey, P. G. Glockner // *Agricultural Meteorology*. – 1982. – Vol. 27. – P. 181-190. – DOI: 10.1016/0002-1571(82)90004-8.

67. Jayasekara, S. N. Comparison of Environmental Conditions and Insulation Effect between Air Inflated and Conventional Double Layer Greenhouse / S. N. Jayasekara, W. H. Na, A. B. Owolabi, J. W. Lee, A. Rasheed, H. T. Kim, H. W. Lee // *Protected Horticulture and Plant Factory*. – 2018. – Vol. 27. – P. 46-53. – DOI: 10.12791/KSBEC.2018.27.1.46.

68. Pozzobon, V. Household aluminum foil matte and bright side reflectivity measurements: Application to a photobioreactor light concentrator design / V. Pozzobon, W. Levasseur, K. V. Do, B. Palpant, P. Perre // *Biotechnology Reports*. – 2020. – Vol. 25. – DOI: 10.1016/j.btre.2019.e00399.

69. Lugolole, R. The Effect of Thickness of Aluminum Films on Optical Reflectance / R. Lugolole, S. O. Kinyera // *Journal of Ceramics*. – 2015. – Vol. 2015. – P. 1-6. – DOI: 10.1155/2015/213635.

70. Do LED lights Produce Heat? All About LED Heat Generation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lamphq.com/led-heat-generation> - свободный (дата обращения 26.03.2023).

71. 2009 ASHRAE Handbook: Fundamentals - IP Edition / Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009 – 926 p. – ISBN: 978-1-933742-56-4.

72. Aluminium – Thermal Conductivity [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.periodic-table.org/aluminium-thermal-conductivity/#:~:text=Thermal%20conductivity%20of%20Aluminium%20is%20237%20W%2F%20%28m%20%29,to%20transfer%20heat%20through%20a%20material%20by%20conduction> – свободный (дата обращения 26.03.2023).

73. Raspberry Pi 4 Model B 2019 – 2GB/4GB/8GB RAM [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://raspberrypi.vn/san-pham/raspberry-pi-4-model-b-2019> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

74. ASUS Tinker Board S R2.0 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://mlab.vn/index.php?_route_=4169764-asus-tinker-board-s-r2-0.html - свободный (дата обращения 06.04.2023).

75. Плата Vietduino Mega 2560 USB-B (Arduino Mega 2560 Compatible) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/vietduino-mega-2560-arduino-mega-2560-compatible> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

76. RS-422 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/RS-422> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

77. RS-485 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/RS-485> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

78. Обзор конвертера TTL-RS485 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://robotchip.ru/obzor-konvertera-ttl-rs485/> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

79. 12V RGB 2835 светодиодная лента с адаптером [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.lazada.vn/products/day-den-12v-rgb-2835-kem-bo-chuyen-doi-phich-cam-dien-kem-bo-dieu-khien-24-phim-5m-10m-15m-20m-den-tao-khong-khi-ktv-cau-thang-phong-den-trang-tri-phong-ngu-i1631798741-s7118146747.html?> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

80. 100N03A, Транзистор N-MOSFET 30В 90А [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/100n03a> - свободный (дата обращения 13.04.2023).

81. IRFB3004PBF, Транзистор, N-канал 40В 195А [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/irfb3004pbf> - свободный (дата обращения 13.04.2023).

82. Воздушный кулер процессора [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://maytinhbinhduong.com/tan-nhiet-khi-cpu-rgb-jonsbo-cr-1200/> - свободный (дата обращения 13.04.2023).

83. Кулер ID-Cooling CPU SE-214-XT ARGB [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gearvn.com/products/tan-nhiet-id-cooling-se-214-xt-argb> - свободный (дата обращения 13.04.2023).

84. 74НС595N, 8-и битный сдвиговый регистр с выходным регистром-защелки и тремя состояниями [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/74hc595n-hgsemi> - свободный (дата обращения 13.04.2023).

85. Active I2C Long Cable Extender P82B715 Module [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sandboxelectronics.com/?product=active-i2c-long-cable-extender-p82b715-module> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

86. AMT1001 Analog Temperature Humidity Sensor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-do-am-analog-amt1001> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

87. Si7021 Temperature Humidity Sensor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-do-am-nhiet-do-si7021> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

88. DHT22 Temperature Humidity Sensor Sensor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-do-am-nhiet-do-dht22> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

89. HTU21 Temperature Humidity Sensor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-do-am-nhiet-do-htu21> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

90. AHT20 Temperature Humidity Sensor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-do-am-nhiet-do-khong-khi-aht20-temperature-humidity-sensor> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

91. HDC1080 Temperature Humidity Sensor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-do-am-nhiet-do-khong-khi-hdc1080-temperature-humidity-sensor> - свободный (дата обращения 06.04.2023).
92. Сравнение типов SMD-светодиодов и советы по применению [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.domagic.co.uk/comparison-of-smd-led-types-application-tips> - свободный (дата обращения 06.04.2023).
93. Гибкие светодиодные ленты 2835 SMD [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.superlightingled.com/2835-smd-flexible-led-strip-lights-c-1_21.html - свободный (дата обращения 06.04.2023).
94. Элемент Пельтье SR TEC1 12703 12704 12705 12706 12710 12715 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nshopvn.com/product/so-nong-lanh-sr-tec1-loai-tot/> - свободный (дата обращения 06.04.2023).
95. Вентилятор Jonsbo FR201 White LED Пельтье [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nguyencongrc.vn/quat-tan-nhiet-jonsbo-fr201-white-led> - свободный (дата обращения 06.04.2023).
96. Вентилятор ID-COOLING XF Series [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dns-shop.ru/product/78d52d2649843332/ventilator-id-cooling-xf-series-xf-12025-sd-w/> - свободный (дата обращения 06.04.2023).
97. Вентилятор Aerocool Force 12 PWM [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dns-shop.ru/product/c9d7a93760ec3332/ventilator-aerocool-force-12-pwm-acf3-fc0111011/> - свободный (дата обращения 06.04.2023).
98. TCS3200 Color Sensor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-mau-sac-tcs3200> - свободный (дата обращения 06.04.2023).
99. I2C UART TCS34725 Color Sensor V1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-mau-sac-tcs34725-giao-tiep-i2c-va-uart> - свободный (дата обращения 06.04.2023).
100. DFRobot Gravity: ENS160 Air Quality Sensor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-chat-luong-khong-khi>

dfrobot-gravity-ens160-air-quality-sensor - свободный (дата обращения 06.04.2023).

101. CO2 VOC TVOC CCS811 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-chat-luong-khong-khi-co2-voc-tvoc-ccs811> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

102. DFRobot Gravity: UART Infrared CO2 Sensor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hshop.vn/products/cam-bien-khi-co2-dfrobot-gravity-uart-infrared-co2-sensor-0-50000ppm> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

103. Датчик CO2 MH-Z19 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nshopvn.com/product/cam-bien-khi-co2-mh-z19/> - свободный (дата обращения 06.04.2023).

Приложение А

(обязательное)

Технология регулирования температуры и влажности воздуха в теплице

Таблица А.1 – Обзор нескольких технологий регулирования температуры и влажности воздуха в теплице

Технология	Преимущества	Недостатки	Факторы проектирования	Охлаждение	Регулирование влажности воздуха
Гибридный низкоэнергетический охладитель прямого испарения	<ul style="list-style-type: none"> - Много режимов работы - Способность работать в различных климатических условиях - Расширенные элементы управления - Оптимизированная производительность - Высокая эффективность - Высокий уровень контроля внутреннего пространства 	<ul style="list-style-type: none"> - Более дорогой, чем стандартный испарительный охладитель - Более сложная операция - Может быть полезен не во всех климатических условиях. - Относительно более длительный срок окупаемости 	<ul style="list-style-type: none"> - Скорость воздуха - Воздухообмен - Температура - Относительная влажность - Энергия 	<p>Существует.</p> <p>Можно контролировать до требуемых уровней в течение всего периода.</p>	<p>Существует.</p> <p>Можно регулировать до необходимого уровня в течение всего периода, но это может значительно увеличить потребление энергии.</p>

Продолжение таблицы А.1

Естественная вентиляция	- Низкая стоимость	- Не может увеличить относительную влажность	- Температура - Относительная влажность - Солнечная радиация - Высота от земли	Существует. Можно контролировать до требуемых уровней.	Существует. Можно снизить относительную влажность до требуемых уровней.
Система теплового насоса с избыточным воздухом	- Высокие значения избыточной тепловой энергии воздуха	- Длительный период окупаемости	- Температура - Расход воды - Потребление электроэнергии - избыточная тепловая энергия воздуха - Солнечная радиация - COP	Существует. Можно поддерживаться на требуемом уровне в течение всего периода.	Не существует.
Испарительное охлаждение за счет движения водяной пленки по внешней затеняющей ткани	- Сохранение энергии - Простая технология	- Ограниченное понижение температуры воздуха.	- Температура воздуха - Относительная влажность - Расход воды - Длина крыши	Существует. Можно понизить температуру воздуха до 6°C.	Не существует.

Продолжение таблицы А.1

			- Поглощающая способность затеняющего материала		
Кондиционер с тепловым насосом	- Низкое удельное энергопотребление	- COP ограничен до 4,0	- Температура воздуха - Относительная влажность - COP - Емкости испарителя и конденсатора	Существует. Можно понизить температуру воздуха до 18°C.	Существует. Можно поддерживать относительную влажность на уровне 40%.
Кондиционер с баком для хранения холодной воды и системой с тремя тепловыми насосами: источник воздуха-подача воздуха (А-А), источник воды-подача воздуха (W-A), источник воды-подача воды (W-W)	- Низкое энергопотребление при использовании теплового насоса W-W	- Не может обеспечить все потребности в охлаждении в жаркие дни	- Температура воздуха - Охлаждающая способность - Размер теплового насоса	Существует. Можно понизить температуру воздуха до 15°C при ночном охлаждении.	Не существует.

Продолжение таблицы А.1

<p>Гибридная энергетическая система на основе солнечных фотоэлектрических элементов, электролизеров и топливных элементов</p>	<p>- Энергосбережение</p>	<p>- Зависимость от солнечной радиации</p>	<p>- Напряжение ячейки - Плотность мощности - Эффективность преобразования</p>	<p>Существует.</p>	<p>Существует.</p>
<p>Система испарительного охлаждения с вентилятором и влажной панелью в сочетании с механизмами затенения</p>	<p>- Эффективен в летний период</p>	<p>- Ограниченное снижение температуры</p>	<p>- Температура - Скорость вентиляции - Интенсивность излучения - Относительная влажность</p>	<p>Существует. Можно поддерживать температуру воздуха ниже 30°C.</p>	<p>Существует.</p>

**Приложение Б
(обязательное)
Источники CO₂**

Таблица Б.1 – Источники CO₂, используемые в сельском хозяйстве

Жидкий CO ₂	газообразный CO ₂ сжимается в жидкую форму и хранится в контейнерах. Жидкий CO ₂ в контейнерах испаряется с помощью специального оборудования и распределяется по теплице через распределительную систему. Высокая стоимость резервуаров с жидким CO ₂ в сочетании со стоимостью необходимого оборудования делает этот метод довольно дорогим.
Генератор CO ₂	CO ₂ может быть получен при сгорании углеводородного топлива. Генераторы CO ₂ , работающие на пропане или природном газе, можно использовать для небольших теплиц. Этот метод несет в себе риск того, что в процессе сжигания при недостатке кислорода могут образовываться примеси, вредные для растений. В крупных теплицах бензиновые двигатели используются в сочетании с системами фильтрации для получения чистого CO ₂ . Однако такие системы часто бывают очень сложными и дорогостоящими.
Расложение и ферментация	CO ₂ может образовываться во время органического разложения или ферментации. Хотя эти два метода недороги, они имеют недостатки, заключающиеся в сложности контроля концентрации CO ₂ , занятии места и создании неприятных запахов.
Сухой лёд	CO ₂ в твердой форме называют сухим льдом. Использование сухого льда является одним из самых дешевых способов подачи CO ₂ в теплицу. Однако сухой лед имеет очень низкую температуру, поэтому с ним нужно обращаться осторожно. Самыми большими недостатками являются сложность хранения в нормальных условиях и быстрая сублимация сухого льда, что может привести к быстрому увеличению концентрации CO ₂ и стать токсичным для растений.
Химический метод	химическая реакция между пищевой содой (NaHCO ₃) и кислотой (обычно уксусной (CH ₃ COOH)) может привести к образованию CO ₂ . Так как количество полученного CO ₂ по сравнению с необходимым количеством пищевой соды и кислоты невелико, этот метод считается довольно дорогим для использования.

Приложение В
(обязательное)
Алгоритмы работы системы

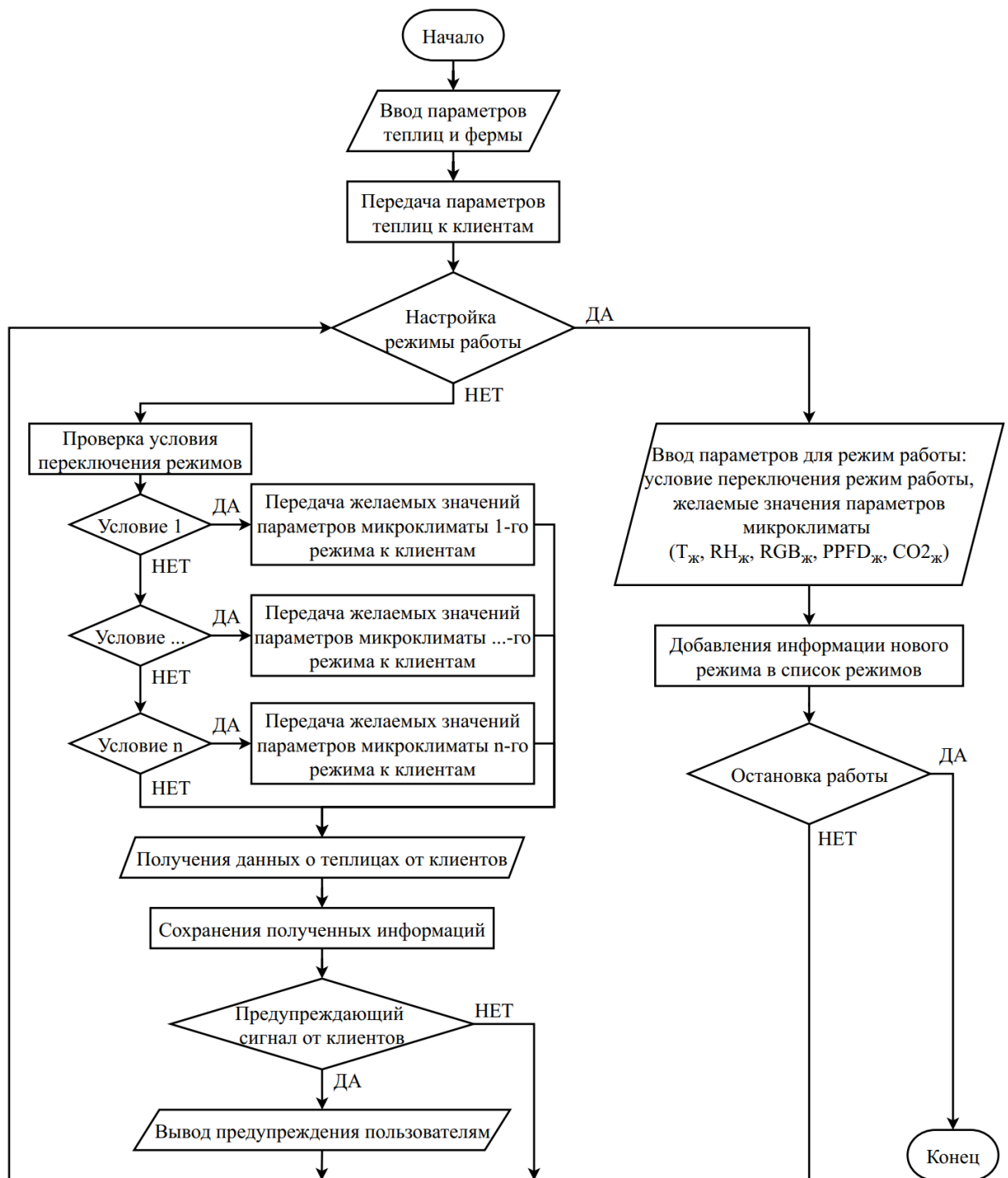


Рисунок В.1 – Алгоритм работы компьютера-сервера

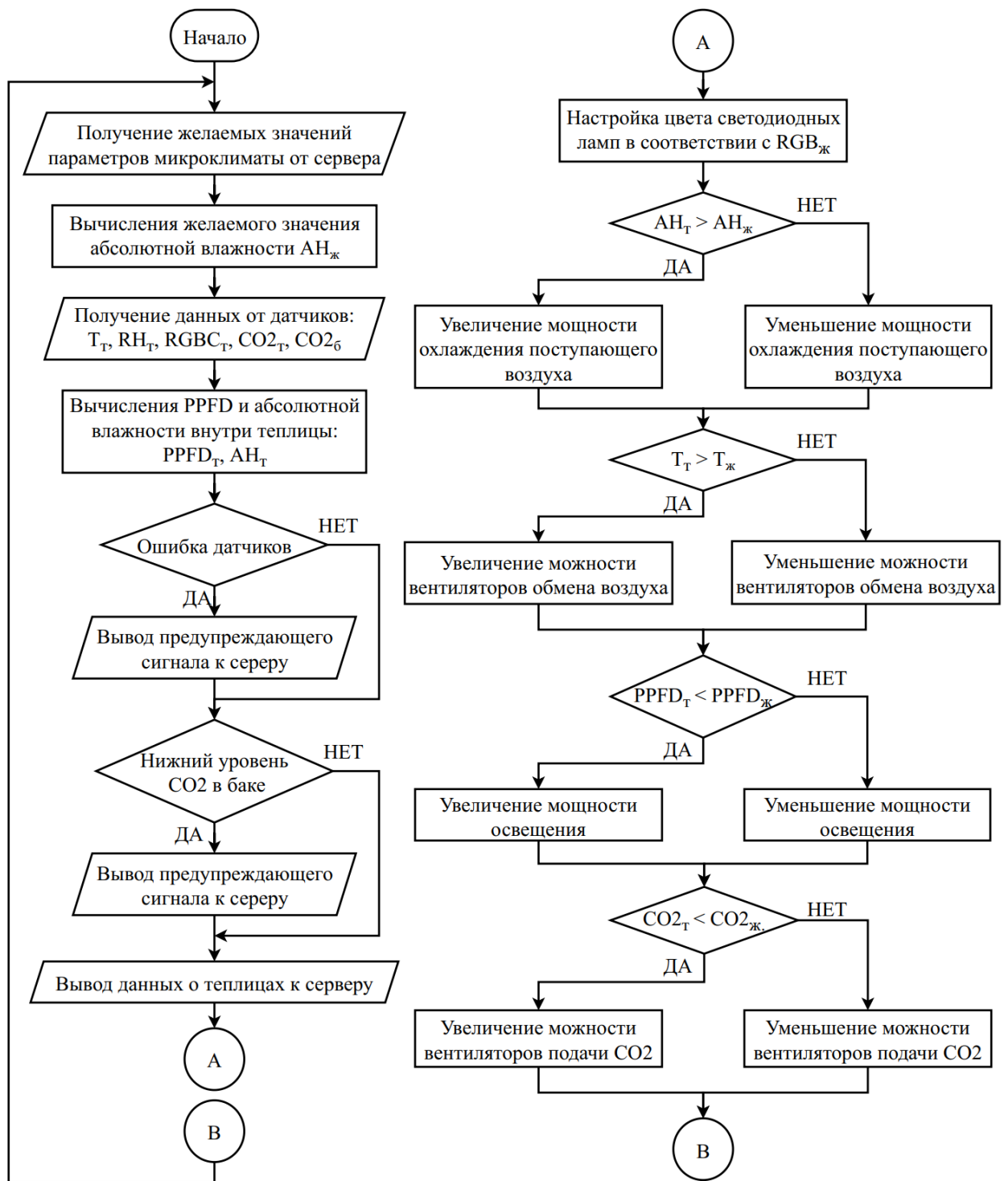


Рисунок В.2 – Алгоритм работы контроллера-клиента

Приложение Г
(обязательное)

Сравнение характеристик компонентов системы

Таблица Г.1 – Сравнение одноплатных компьютеров

	Raspberry Pi 4 Module B	Asus Tinker Board R2.0
Модель ядер процессора	Cortex-A72	Cortex-A17
Количество ядер	4	4
Частота процессора, ГГц	1.5	1.8
Оперативная память, ГБ	2 / 4 / 8	2
Тип памяти	LPDDR4	LPDDR3
Wifi	Есть	Есть
Bluetooth	Есть	Есть
Ethernet, Гбит/с	1	1
USB 2.0	2	4
USB 3.0	2	0
GPIO	40	40
UART	Есть	Есть
I2C	Есть	Есть
Поддержка экрана	2 micro-HDMI	1 HDMI
Максимальное разрешение, пиксел	4096 x 2160	4096 x 2160
Напряжения питания, В	5	5
Ток потребления, А	3	2,5
Поддерживаемые операционные системы	Linux, Raspbian,	Linux, Android
Цена, руб.	11700 / 13700 / 17300	9600

Таблица Г.2 – Сравнения интерфейсов для взаимодействия между клиентами и сервером

	RS-422	RS-485
Топология сети	Точка-точка, MultiDrop	Точка-точка, MultiDrop
Дуплекс	Дуплексный режим, полудуплексный режим	Дуплексный режим, полудуплексный режим
Количество устройств	1 драйвер; 10 приёмников	32 приёмопередатчика
Максимальное расстояние	1200м при скорости 100Кбит/с	1200м при скорости 100Кбит/с
Напряжение	-6В до +6В	-7В до 12В

Таблица Г.3 – Разные типы светодиодных чипов [92,93]

Модель	Световой поток, Лм	Напряжение, В	Обычное количество чипов на 1м ленты, шт.	Обычный световой поток 1м ленты	Мощность, Вт/м
SMD2110	8-12	2,8-3,3	60-700	400-1780	4,8-19,2
SMD2835	8-14	2,8-3,3	120-480	1700-4680	15-45
SMD3528	6-7,5	2,8-3,3	120-480	960-3840	9,6-38,4
SMD5050	16-24	2,8-3,3	30-120	780-3120	7,2-28,8
SMD5630	22-24	2,8-3,3	30-120	630-2880	7,2-24
SMD5730	25-28	2,8-3,3	60-120	1440-2880	14,4-26,8

Таблица Г.4 – Разные доступные модели элементов Пельтье [94]

Модель	Рабочее напряжение, В	Максимальное напряжение, В	Максимальный ток потребления, А	Максимальная мощность охлаждения, Вт	Цена, руб.
12703-SR	12	15,5	3,5	45	346
12704-SR	12	15,5	4,1	55	346
12705-SR	12	15,5	5,3	70	363
12706-SR	12	15,5	6,5	80	305
127010-SR	12	15,5	8,9	120	484
127015-SR	12	15,5	11,4	150	578

Таблица Г.5 – Несколько дешевых варианты охлаждающих вентиляторов

Модель	Jonsbo FR201 [95]	ID-COOLING XF Series [96]	Aerocool Force 12 PWM [97]
Размеры, мм	120x120	120x120	120x120
Максимальная скорости, об./мин	1600	1800	1500
Минимальная скорость, об./мин	600	700	500

Продолжение таблицы Г.5

Воздушный поток при максимальной скорости, CFM	45,1	74,5	28,2
Рабочее напряжение, В	12	12	12
Ток потребления, А	0,25	0,25	0,15
Цена, руб.	500	550	500

Таблица Г.6 – Популярные доступные датчики цвета [98,99]

	TCS3200	TCS34725
Рабочее напряжение, В	2,7-5,5	2,7-5,5
Интерфейс	Частотный 4х-пиновый	I2C
Измеряемые цветовые каналы	RGBC	RGBC
ИК-фильтр	Нет	Да
Цена, руб.	563	501

Таблица Г.7 – Датчики температуры и влажности воздуха

	AMT1001	Si7021	DHT22	HTU21	АHT20	HDC1080
Рабочее напряжение, В	4,75-5,25	1,9-3,6	3-5	1,5-3,6	2-5,5	2,7-5,5
Интерфейс	1 wire	I2C	1 wire	I2C	I2C	I2C
Диапазон измерения влажности, %	20-95	0-80	0-100	0-100	0-100	0-100
Погрешности измерения влажности, %	5	3	2.5	2	5	4
Диапазон измерения температуры, °C	0 до 60	-10 до 85	-10 до 85	5 до 60	20 до 60	5 до 60

Продолжение таблицы Г.7

Погрешности измерения температуры, °С	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2
Цена, руб.	214	640	398	169	97	623

Таблица Г.8 – Датчики концентрации CO₂

	ENS160 [100]	CCS811 [101]	SEN0220 [102]	MH-Z19 [103]
Рабочее напряжения, В	3.3-5.5	1.8-3.6	4.5-5.5	3.6-5.5
Интерфейс	I2C	I2C	UART	UART
Время нагрева	<3min	<10min	<3min	<3min
Диапазон измерения концентрации CO ₂ , млн ⁻¹	400-65000	400-8192	0-50000	0-5000
Погрешность измерения, млн ⁻¹	50	50	50	50
Цена, руб.	2248	847	7263	2179

Приложение Д

(обязательное)

Схема соединения компонентов системы

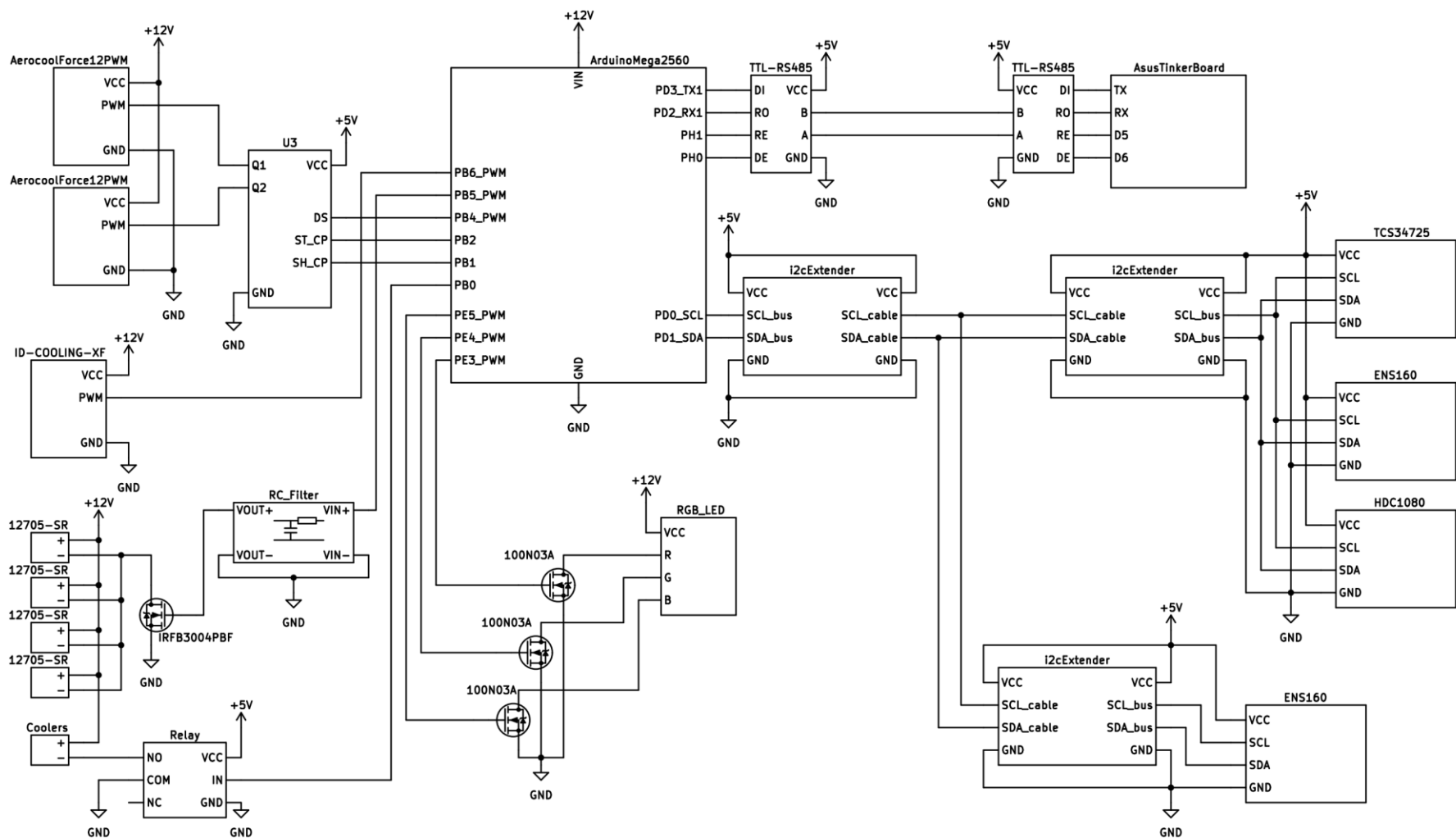


Рисунок Д.1 – Схема соединения системы

Приложение Е
(обязательное)

Моделирования процесса регулирования температуры и влажности

Workspace	
Name ▲	Value
A_cooler	0.9470
Ac	3.5000
Ac_tunnel	0.2176
Aci	3.9400
Asec_tunnel	0.0144
cp	1000
Dh	0.1200
eps_Al	0.0300
eps_Sky	0.8500
k	0.0262
kl_fan	0.0800
kl_TEC	0.0050
kP_fan	5
kP_TEC	1
kT_fan	1
kT_TEC	1
L	0.0025
Lambda	2450000
mu	1.8370e-05
out	<i>1x1 SimulationO...</i>
Pr	0.7001
q_ET	-69
q_light	50
q_SR	29
rho	1.1840
sigma	5.6700e-08
U	0.4760
V_GH	0.5000
V_tunnel	0.0046

Рисунок Е.1 – Список переменных, использованных в моделированиях

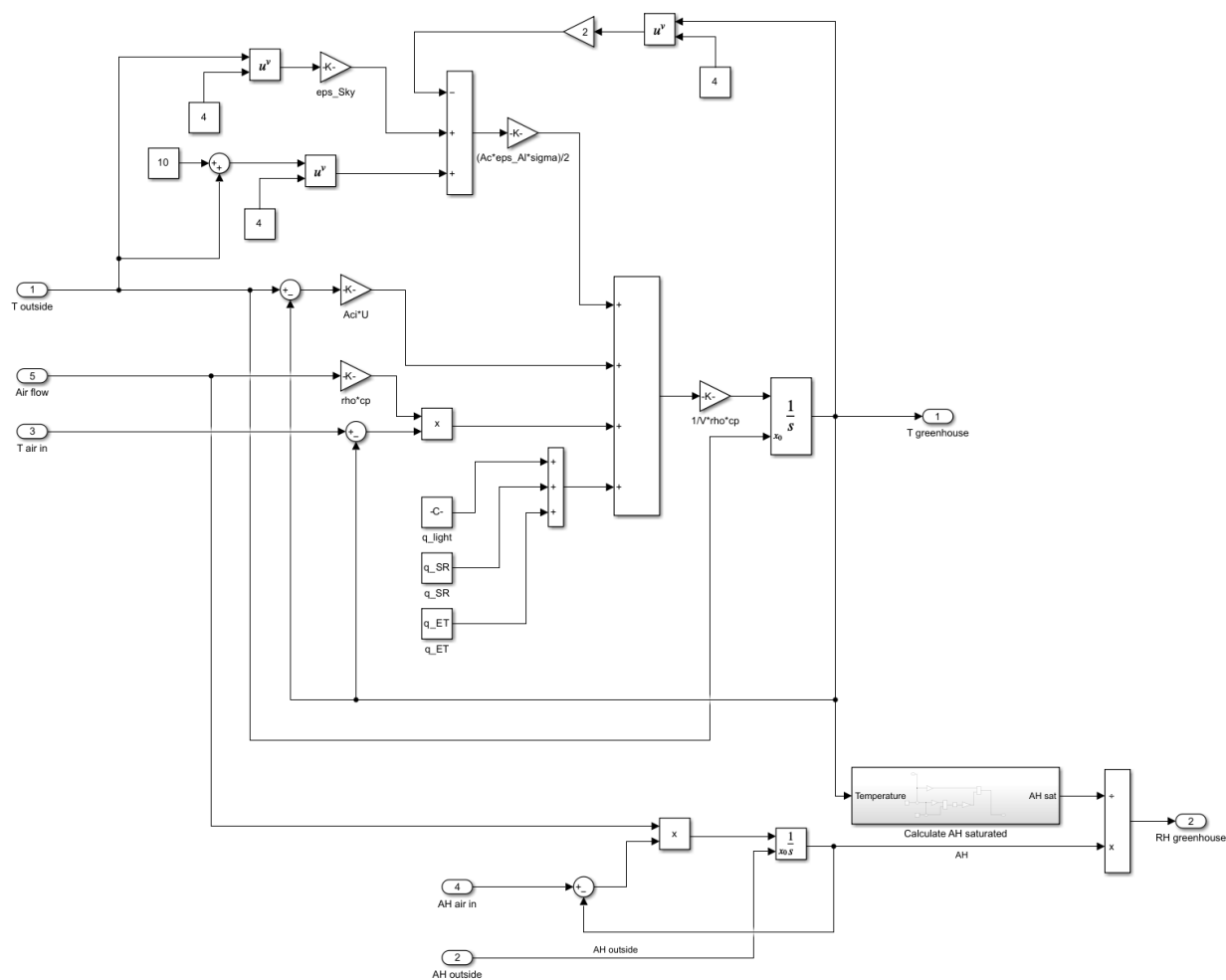


Рисунок Е.2 – Схема подсистемы моделирования процессов изменения температуры и влажности внутри теплицы

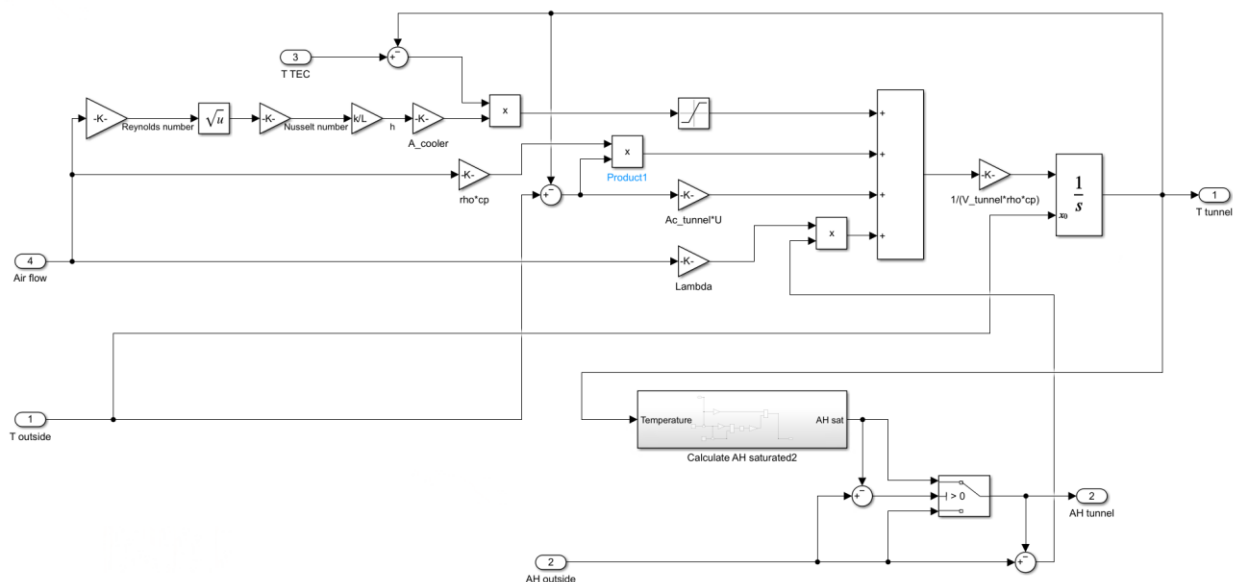


Рисунок Е.3 – Схема подсистемы моделирования процесса изменения температуры и влажности внутри туннеля

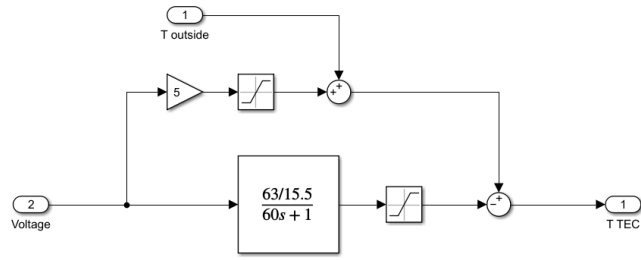


Рисунок Е.4 – Схема подсистемы моделирования работы элемента Пельтье

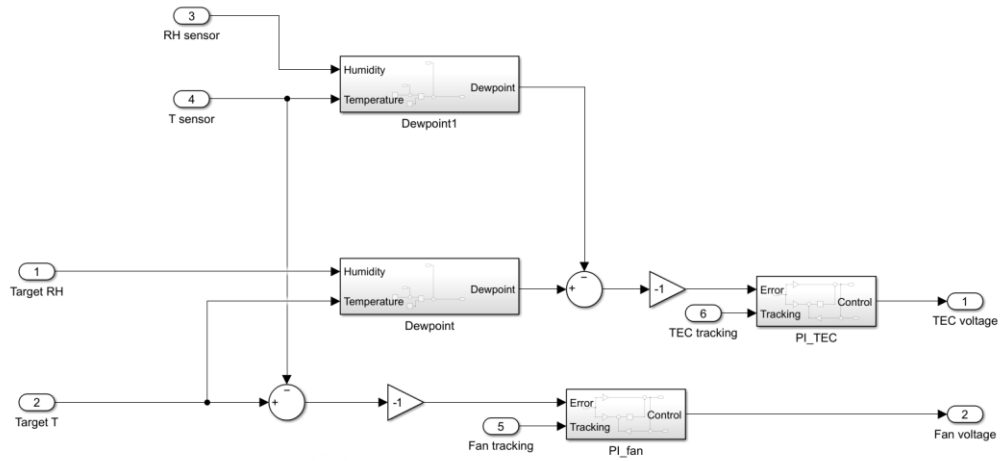


Рисунок Е.5 – Схема подсистемы моделирования контроллера

Приложение Ж
(обязательное)
SWOT-анализ

Таблица Ж.1 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	-	-	-	-	+
	В2	-	-	-	+	-
	В3	-	+	+	+	-
	В4	+	+	+	-	+
	В5	+	-	-	+	-

Таблица Ж.2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	+	-	-	-	-
	В2	-	+	-	-	-
	В3	-	-	-	+	+
	В4	-	-	+	+	+
	В5	+	+	-	+	-

Таблица Ж.3 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	+	+	-	-
	У3	+	-	-	+	-
	У4	-	-	+	-	-
	У5	-	-	-	-	-

Таблица Ж.4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	+	+	+
	У3	-	-	+	+	+
	У4	-	-	-	-	+
	У5	-	-	-	-	+

Таблица Ж.5 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Простая масштабируемая структура</p> <p>С2. Экологичные технология. В процессе работы разработанной системы не образуются вредные для окружающей среды отходы.</p> <p>С3. Энергоэкономичность. Энергия, потребляемая для работы системы, может быть легко частично компенсирована при использовании солнечной энергии благодаря соотношению между рабочей мощностью и погодой.</p> <p>С4. Высокая способность регулирование температуры и влажности для земляники</p> <p>С5. Простота эксплуатации.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Конкретная области установки, только во Вьетнаме</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p> <p>Сл4. Отсутствие компаний, производящих специализированные компоненты, необходимые для системы.</p> <p>Сл5. Высокие первоначальные инвестиционные затраты.</p>
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Продолжение таблицы Ж.5

	Требуемым вводом являются только целевые значения температуры и влажности. Остальные элементы определяются автоматически.	
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Увеличение заинтересованных в качественных продуктах из земляники</p> <p>В3. Растущий спрос на высококачественные сельскохозяйственные системы по мере усиления последствий изменения климата</p> <p>В4. Появление тенденции к строительству собственных высокотехнологических садов жителями крупных городов</p> <p>В5. Выход на рынок стран, обладающих аналогичными климатическими условиями</p>	<p>- сохранить простоту в эксплуатации и повышение инвестиции в пользовательский интерфейс и функции поддержки пользователей;</p> <p>- проводить проектные исследования для использования более экологически чистых материалов;</p> <p>- сделать маркетинг экологичности системы;</p> <p>- повысить качество обслуживания, связанного с установкой системы</p>	<p>- создать прототип для тесты и маркетинга;</p> <p>- создать процедуры проверки качества системы;</p> <p>- сделать маркетинг в иностранном рынке;</p>

Продолжение таблицы Ж.5

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Снижение заинтересованности в продуктах из земляники</p> <p>У2. Появляются новые отечественные конкуренты.</p> <p>У3. Иностраные конкуренты совершенствуют свои технологии для проникновения на внутренний рынок.</p> <p>У4. Мировой экономический кризис</p> <p>У5. Отсутствие финансовой поддержки</p>	<p>- усилить маркетинг качества земляники и ее экологичного процесса выращивания;</p> <p>- инвестировать в исследования и разработки основной технологии.</p> <p>- модернизировать основные технологии и устройства.</p>	<p>- поработать с заводами-изготовителями для изготовления специализированных деталей;</p> <p>- искать инвесторов;</p> <p>- поработать с поставщиками для снижения себестоимости системы.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Приложение И

(обязательное)

Структура работ и трудоёмкость выполнения работ

Таблица И.1 – Перечень этапов, работ и распределения исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, студент
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Обзор и анализ аналогов	Студент
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Изучение факторов микроклимата и анализ подходов регулирования	Студент
	7	Параметрический расчёт с учётом климатических условий и конструкции теплицы	Студент
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, студент
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирования	10	Разработка структурной схемы	Студент
	11	Разработка алгоритмов работы	Студент
	12	Выбор средства реализации	Студент
	13	Разработка функциональной схемы и схемы соединения	Студент
Изготовление и испытания макета (опытного образца)	14	Моделирование работы	Студент
	15	Проектирование 3Д-модель комплекса	Студент
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	16	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент
	17	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Студент
	18	Социальная ответственность	Студент

Таблица И.2 – Временные показатели проведения научного исследования

Наименование работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях, T_p	
	t_{min}		t_{max}		$t_{ож}$		Студент	Руководитель
	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель		
1. Составление и утверждение технического задания	2	1	3	2	2,4	1,4	2,4	1,4
2. Подбор и изучение материалов по теме	4	0	7	0	5,2	0	5,2	0
3. Обзор и анализ аналогов	3	0	5	0	3,8	0	3,8	0
4. Выбор направления исследований	1	1	2	2	1,4	1,4	1,4	1,4
5. Календарное планирование работ по теме	1	0	2	0	1,4	0	1,4	0
6. Изучение факторов микроклимата и анализ подходов регулирования	2	0	4	0	2,8	0	2,8	0
7. Параметрический расчёт с учётом климатических условий и конструкции теплицы	7	0	10	0	8,2	0	8,2	0
8. Оценка эффективности полученных результатов	2	1	3	2	2,4	1,4	2,4	1,4
9. Определение целесообразности проведения ОКР	2	1	3	2	2,4	1,4	2,4	1,4
10. Разработка структурной схемы	1	0	2	0	1,4	0	1,4	0
11. Разработка алгоритмов работы	2	0	3	0	2,4	0	2,4	0
12. Выбор средства реализации	1	0	3	0	1,8	0	1,8	0
13. Разработка функциональной схемы и схемы соединения	2	0	4	0	2,8	0	2,8	0
14. Моделирование работы	7	0	14	0	9,8	0	9,8	0
15. Проектирование 3Д-модель комплекса	7	0	14	0	9,8	0	9,8	0
16. Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	4	0	7	0	5,2	0	5,2	0
17. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	7	0	10	0	8,2	0	8,2	0
18. Социальная ответственность	3	0	7	0	4,6	0	4,6	0
Итого							76	5,6

Приложение К

(обязательное)

Календарный план-график проведения НИОКР

Таблица К.1 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работы	Ис-пол-нит-ели	T _к , кл. дн.	Продолжительность работ													
				февр.		март			апреля			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Ст.	3,6	■													
		Р.	2,1	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Ст.	7,7	■	■												
3	Обзор и анализ аналогов	Ст.	5,6		■												
4	Выбор направления исследований	Ст.	2,1			■											
		Р.	2,1			■											
5	Календарное планирование работ по теме	Ст.	2,1			■											
6	Изучение факторов микроклимата и анализ подходов регулирования	Ст.	4,1			■											
7	Параметрический расчёт с учётом климатических условий и конструкции теплицы	Ст.	12,1			■	■										
8	Оценка эффективности полученных результатов	Ст.	3,6					■									
		Р.	2,1					■									
9	Определение целесообразности проведения ОКР	Ст.	3,6					■									
		Р.	2,1					■									
10	Разработка структурная схемы	Ст.	2,1					■									
11	Разработка алгоритмов работы	Ст.	3,6						■								
12	Выбор средства реализации	Ст.	2,7							■							
13	Разработка функциональной схемы и схемы соединения	Ст.	4,1							■							
14	Моделирование работы	Ст.	14,5							■	■						
15	Проектирование 3Д-модель комплекса	Ст.	14,5								■	■					
16	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Ст.	7,7									■	■				
17	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Ст.	12,1											■	■		
18	Социальная ответственность	Ст.	6,8													■	

Ст. (студент) – ■

Р. (руководитель) – ■

Приложение Л
(обязательное)
Затраты НИИ

Таблица Л.1 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Электроэнергия	кВт*ч	182,4	4,4	802,6
Интернет	Месяц услуги	5	399	1995
Итого				2797,6

Таблица Л.2 – Затраты на специальное оборудование

№	Наименование оборудования			Количество единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Персональный компьютер			1			100,7			100,7		
2	Планшет			1			57,2			57,2		
3	Калькулятор			1			2,1			2,1		
4	Micro-soft Office	Google Workspace	Libre Office	1	1	1	3,2	0	0	3,2	0	0
5	draw.io	Visio Standard 2021	Visio Professional	1	1	1	0	24,8	46,4	0	24,8	46,4
6	KiCad 7.0	Autocad 2020	Edraw-Max	1	1	1	0	0 (через север ТПУ)	19,6	0	0	19,6
7	Math-cad 15	Math-cad Prime 8	Math-cad Prime 9	1	1	1	0 (через север ТПУ)	0 (через север ТПУ)	55,4	0	0	55,4

Продолжение таблицы Л.2

							север ТПУ)	север ТПУ)				
8	Inven- tor Profes- sional 2020	Компас- 3D	Sketch- Up Pro	1	1	1	0 (через север ТПУ)	0 (через север ТПУ)	24	0	0	24
9	MATLAB R2022b			1			0 (через север ТПУ)			0		
Итого										163, 2	184, 8	305, 4

Таблица Л.3 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199

Таблица Л.4 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб.	Среднедневная заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	45500	2377,9	5,6	13316,2
Студент	21115	1103,5	76	83866
Итого				97182,2

Таблица Л.5 – Отчисления во внебюджетные фонды

	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	13316,2	83866
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	
Сумма отчислений во внебюджетные фонды	3994,9	25159,8
Итого	29154,7	

Приложение М

(обязательное)

**Возможные опасные и вредные факторы на рабочем месте
инженера**

Таблица М.1 – Возможные опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера

Факторы	Нормативные документы
Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
Повышенная яркость света	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
Физические перегрузки, связанные с рабочей позой	ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя»; ТОИ Р-45-084-01 «ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ по охране труда при работе на персональном компьютере».
Нервно-психические перегрузки: умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, эмоциональные перегрузки.	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023). СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов».