

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»



Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»

Бекташов Айбек Шаукатулы

Разработка мехатронной системы вентиляции теплицы со встроенным
подогревом воздуха для автоматического контроля температуры

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

7М07107 – Робототехника и мехатроника

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»



Институт автоматизации и информационных технологий
(наименование института)

УДК 665.622.43.046.6-52 (043) На правах рукописи

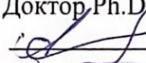
Бекташов Айбек Шаукатулы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ (ПРОЕКТ)
На соискание академической степени магистра

Название диссертации: «Разработка мехатронной системы вентиляции теплицы со
встроенным подогревом воздуха для автоматического
контроля температуры»

Направление подготовки 7M07107 – Робототехника и мехатроника

Научный руководитель
Доктор Ph.D., Ассоциированный профессор

 Алимбаев Ч.А.
подпись Ф.И.О.

«11» 06 2021 г.

Рецензент
Доктор Ph.D., ассоциированный профессор

 Муратов М.М.
подпись Ф.И.О.

«20» 06 2021 г.

Норм. контроль
Старший преподаватель

 Кальменов Е.Т.
подпись Ф.И.О.

«10» 06 2025 г.



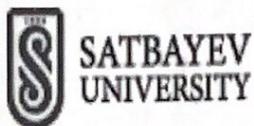
ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТиТСА
Кандидат технических наук,
профессор

 К.А. Ожикенов
подпись Ф.И.О.

«11» 06 2025 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

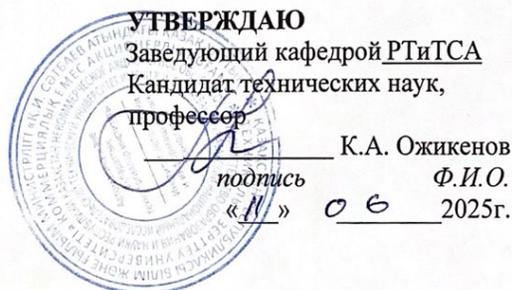
Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева »



Институт автоматик и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматик»

7M07107 – Робототехника и мехатроника



ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Бекташов Айбек Шаукатович

Тема: «Разработка мехатронной системы вентиляции теплицы со встроенным подогревом воздуха для автоматического контроля температуры»

Утверждена приказом №412от «15» 03 2021г.

Исходные данные к магистерской диссертации: внешние условия и проблема с обогревом тепличных конструкций, температурная зависимость, ESP8266, контроль температуры.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- а) Электрическая схема для мехатронной системы вентиляции с подогрева воздуха теплицы
- б) Архитектура системы

Рекомендуемая основная литература:

Например:

1. «Особенности системы вентиляции в теплицах» - РегулВент
2. «Климат в теплице: решение проблем» - Hortidaily.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Обзор существующих прототипов, решение проблемы в мире, подача CO2	25.11 - 15.12.2025г.	Выполнено
Разработка мехатронной системы для управление температуры через веб-интерфейс	16.01 - 12.02.2025г.	Выполнено
Проверка работоспособности устройства	17.04 - 15.05.2025г.	Выполнено
Испытание устройства	16.05 - 19.05.2025г.	Выполнено

Подписи

консультантов и норм контролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Алимбаев Ч.А. Доктор Ph.D, Ассоциированный профессор	09.06.2025	
Расчетный раздел	Алимбаев Ч.А. Доктор Ph.D, Ассоциированный профессор	09.06.2025	
Норм контролер	Кальменов Е.Т Старший преподаватель	10.06.2025	

Научный руководитель

подпись

Ф.И.О.

Задание принял к исполнению обучающийся

подпись

Ф.И.О.

Дата

«10» 06 2025 г.

АННОТАЦИЯ

Целью настоящей работы является разработка автоматизированной системы нагрева воздуха для теплицы, обеспечивающей стабильное поддержание температурного режима, благоприятного для роста растений. Тематика исследования охватывает область аграрной автоматизации и умных тепличных технологий. В рамках работы освещается аспект интеграции микроконтроллеров ESP8266 с элементами исполнительной техники, такими как ТЭН и вентилятор, а также средствами мониторинга — датчиком температуры.

Отличительной чертой системы является её способность автономно управлять климатом в теплице на основе температурных показаний, используя встроенный веб-интерфейс для визуализации данных и удалённого управления. В работе решается частная задача эффективного локального обогрева воздуха с учётом экономии энергии и минимизации участия человека. Также предложены рекомендации по дальнейшему расширению системы — например, интеграции с системой полива и контроля влажности, а также возможностью настройки порогов температуры пользователем. Представленная система демонстрирует перспективность применения недорогих микроконтроллеров для задач агротехнической автоматизации и повышения урожайности.

АННОТАЦИЯ

Осы жұмыстың мақсаты — өсімдіктердің өсуіне қолайлы температуралық режимді тұрақты түрде қамтамасыз ететін жылыжайға арналған автоматтандырылған ауа жылыту жүйесін әзірлеу. Зерттеу тақырыбы ауыл шаруашылығын автоматтандыру және ақылды жылыжай технологиялары саласын қамтиды. Жұмыста ESP8266 микроконтроллерін орындаушы құрылғылармен, атап айтқанда ТЭН және желдеткішпен, сондай-ақ температура датчигі сияқты мониторинг құралдарымен біріктіру аспектісі қарастырылады.

Жүйенің ерекшелігі — температура көрсеткіштеріне сүйене отырып жылыжайдағы климатты автономды түрде басқару қабілеті, деректерді веб-интерфейс арқылы бейнелеу және қашықтан басқару мүмкіндігі. Жұмыста ауа температурасын энергияны үнемдей отырып және адам қатысуын азайта отырып, тиімді жергілікті жылыту мәселесі шешіледі. Сонымен қатар, суару жүйесімен және ылғалдылықты бақылау жүйесімен біріктіру, сондай-ақ пайдаланушының температура шектерін орнату мүмкіндігі сияқты жүйені кеңейту бойынша ұсыныстар берілген. Ұсынылған жүйе арзан микроконтроллерлерді агротехникалық автоматтандыру және өнімділікті арттыру саласында қолданудың болашағы бар екенін көрсетеді.

ABSTRACT

The aim of this work is to develop an automated air heating system for a greenhouse that ensures stable temperature conditions favorable for plant growth. The research covers the field of agricultural automation and smart greenhouse technologies. The study focuses on integrating ESP8266 microcontrollers with actuating elements such as a heating element (TEN) and a fan, along with monitoring components like a temperature sensor.

A distinctive feature of the system is its ability to autonomously control the greenhouse climate based on temperature readings, using a built-in web interface for data visualization and remote control. The work addresses the specific challenge of efficient local air heating while minimizing energy consumption and reducing human involvement. Recommendations are also proposed for further system expansion — for instance, integrating with irrigation and humidity control systems, and enabling users to customize temperature thresholds. The presented system demonstrates the potential of using low-cost microcontrollers in agricultural automation to improve crop productivity.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Обоснование актуальности разработки	7
1.1 Проблема и обоснование необходимости решения	7
1.2 Пути решения проблемы в мире	9
1.3 Статистика по урожайности взаимности CO ₂ .	10
1.4 Физиология растений	13
1.5. Обоснование необходимости вентиляции теплиц	14
2 Обзор литературы по технологии вентиляции с подогревом воздуха в теплицах	17
2.1 Фрамужная (естественная) вентиляция с использованием теплых завес	17
2.2 Циркуляционная вентиляция с подогревом приточного воздуха	18
2.3 Тепловоздушные пушки и калориферы с вентиляцией	19
2.4 Приточно-вытяжная система с рекуперацией тепла	20
2.5 Расчеты теплопотерь	21
2.6 Вентиляция	25
3 Мехатронная система вентиляции с интеллектуальным управлением и подогревом воздуха	33
3.1 Постановка задачи	33
3.2 Аппаратная реализация	34
3.3 Состав и назначение компонентов	34
3.4 Программная реализация	41
4 Моделирование и тестирование системы	45
4.1 Математическая модель системы вентиляции	50
4.2 Оценка эффективности	52
4.3 Достижение целей разработки	53
Заключение	55

ВВЕДЕНИЕ

Современное сельское хозяйство стремительно развивается в направлении автоматизации и внедрения интеллектуальных систем, способных повысить эффективность производства и устойчивость агротехнологий. Особое внимание уделяется созданию автоматизированных климатических систем в теплицах, так как микроклимат существенно влияет на рост, развитие и урожайность растений. Одним из ключевых факторов является поддержание стабильной температуры воздуха, особенно в регионах с резкими колебаниями погодных условий.

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы нагрева воздуха для теплиц на основе микроконтроллера ESP8266, обеспечивающей поддержание заданного температурного режима с минимальным участием человека. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: исследовать существующие решения в области автоматического климат-контроля, разработать схему системы с использованием ТЭНа, вентилятора и датчика температуры, реализовать программное управление системой и обеспечить визуализацию и управление через веб-интерфейс.

Научная новизна работы заключается в применении недорогих и доступных компонентов для создания энергоэффективной, компактной и автономной системы управления микроклиматом в теплице. Разработка базируется на использовании теоретических основ управления замкнутыми термодинамическими системами и практической реализации алгоритмов автоматизации с применением ESP8266.

Актуальность темы обусловлена потребностью фермерских хозяйств и частных аграриев в доступных, надежных и гибко настраиваемых решениях для климатического контроля. Методологической основой исследования выступают инженерные методы проектирования электронных систем, а также принципы объектно-ориентированного программирования и веб-технологий. Практическая реализация была проведена в лабораторных условиях с моделированием работы устройства на макетной плате и последующим тестированием в условиях, приближенных к реальной теплице.

Таким образом, работа направлена на решение актуальной задачи повышения эффективности микроклиматического управления с применением современных средств автоматизации в аграрной отрасли.

1. Обоснование актуальности разработки

Современное земледелие, в частности закрытый грунт, встречается с рядом вызовов, сопряженных с изменением климата, сбережением ресурсов и необходимостью повышения урожайности. Теплицы, как высокотехнологичные агрокомплексы, нуждаются в точном управлении микроклиматом, так как даже небольшие колебания температуры и влажности способны привести к стрессу растений, понижению фотосинтеза и, как следствие, потере урожая. Особенно остро эта проблема видна в регионах с резко континентальным климатом, где суточные перепады температур достигают 15–20°C, а традиционные системы вентиляции и отопления не справляются с поддержанием стабильных условий.

Автоматизированные мехатронные системы представляют собой многообещающее решение, ведь они позволяют не только оперативно реагировать на изменения внешней среды, но и предвидеть их, адаптируя работу оборудования заблаговременно. К примеру, комбинированная система вентиляции с подогревом воздуха способна минимизировать теплопотери при проветривании в холодное время года, что особенно важно для энергоэффективности тепличных хозяйств. В отличие от ручного управления, где реакция на изменения запаздывает, автоматика обеспечивает непрерывный мониторинг и точную регулировку параметров, что напрямую влияет на качество и количество урожая.

Кроме того, внедрение таких систем соответствует глобальным трендам устойчивого развития и цифровизации сельского хозяйства. Оптимизация энергопотребления за счет интеллектуального управления снижает углеродный след тепличных комплексов, что делает их более экологичными и экономически выгодными. В условиях роста цен на энергоносители и ужесточения экологических норм разработка энергосберегающих технологий климат-контроля становится не просто актуальной, а жизненно необходимой для конкурентоспособности агропредприятий.

1.1 Проблема и обоснование необходимости решения

Вентиляция и циркуляция воздуха в теплицах имеют большое значение для роста и благополучия растений. В зависимости от обстановки в теплице и вокруг неё могут возникать различные проблемы с микроклиматом, которые можно решить, среди прочего, путем правильного использования вентиляторов.[1]

Во-первых, необходимо различать вентиляцию и циркуляцию. Вентиляция относится к проветриванию воздуха в теплице. Циркуляция, с другой стороны, обеспечивает однородность воздуха в теплице. Эти два аспекта тесно связаны с поддержанием здорового климата в теплице.

В целом, проблемы с климатом в тепличных комплексах можно отнести к следующим причинам:

- Недостаточная или чрезмерная вентиляция
- Ошибки при установке вентиляторов
- Ошибки при строительстве теплицы

Проблемы с температурой

Помимо влажности, слишком низкие или слишком высокие температуры также могут оказывать негативное влияние на урожай. В более теплых погодных условиях производитель может выбрать удаление тёплого воздуха с помощью вентиляции. Кроме того, вентиляторы иногда используются в сочетании с климатическими экранами для снижения температуры внутри теплицы.

Интенсивность вентиляции

При установке вентиляторов необходимо в первую очередь рассчитать объем теплицы и скорость воздухообмена для поддержания здорового климата. Это называется скоростью вентиляции и выражается в м³ воздухообмена в час. Если это соотношение неверно, это может отрицательно повлиять на климат и, следовательно, на выращивание.

Проблемы с циркуляцией

Для эффективного выращивания необходимо иметь равномерный микроклимат в теплице. Для этой цели часто используются циркуляционные вентиляторы. Если в теплице большие перепады температуры и влажности, это может повлиять как на урожайность, так и на затраты производителя на электроэнергию. Различные проблемы могут отрицательно повлиять на однородность воздуха в теплице.

Вот несколько примеров:

Если теплица расположена так, что одна её сторона подвергается воздействию большого количества солнечного света или сильного холодного ветра, это может привести к появлению холодных или тёплых точек, даже если стекло не повреждено. Производители могут противодействовать этому, отрегулировав установку и настройки циркуляционных вентиляторов в соответствии с обстановкой в теплице.

- Тепло накапливается в верхней части теплицы. Тепло от отопления, солнечного света или освещения может накапливаться в верхней части теплицы. Вертикальная циркуляция используется для использования этого теплого воздуха и равномерного его распределения на уровне растений. За счет лучшего смешивания тёплого воздуха с прохладным и влажного воздуха с сухим воздухом производители экономят расходы на отопление и улучшают однородность воздуха в теплице.

- Препятствия в теплице.

Конструкция теплицы также может влиять на однородность климата.

- Ошибки при установке вентиляторов.

В некоторых случаях вентиляторы подключаются неправильно, что приводит к проблемам с циркуляцией в теплице. Например, неправильная установка может привести к тому, что вентиляторы будут вращаться в неправильном направлении или будут слишком далеко друг от друга. Из-за ограниченного количества точек подвеса требуются регулировки для

правильного распределения вентиляторов по теплице. Это часто учитывается при проектировании теплицы.

- Скорость циркуляции.

Помимо равномерности, важна и скорость циркуляции воздуха — это часто зависит от выращиваемой культуры. Если всё правильно спроектировано и этот момент учтен, из теплицы удаляется лишняя влага, что благотворно влияет на климат в целом.[1]

1.2 Пути решения проблемы в мире

Для полноценного роста и развития растений в условиях закрытого грунта необходимо обеспечить комплекс факторов: правильный режим полива, защиту от вредителей, достаточное содержание питательных веществ в почве, а также эффективный воздухообмен. Система вентиляции теплицы должна быть грамотно спроектирована с учётом биологических потребностей выращиваемых культур, так как разные растения предъявляют различные требования к температуре и влажности воздуха.[2]

Тем не менее, можно выделить общие принципы организации вентиляции, актуальные для большинства культур. Основной задачей вентиляционной системы является поддержание стабильной циркуляции воздуха. Застой воздушных масс способствует развитию патогенной микрофлоры, особенно при повышенной влажности и температуре. Эффективное распределение потоков воздуха по всему объёму теплицы достигается за счёт организации циркуляционного воздухообмена. Для этой цели могут быть использованы как бытовые вентиляторы с достаточной производительностью, так и промышленные агрегаты. Хорошим решением является установка вентиляторов с противоположных сторон теплицы.[2]

Важную роль играет и организация приточно-вытяжной вентиляции, при которой свежий воздух поступает в достаточном объёме, а отработанный — своевременно удаляется. Для этого в конструкции теплицы предусматриваются вентиляционные проемы — фрамуги, форточки, двери. Их количество и размещение определяются площадью и конфигурацией объекта. Если для малогабаритных теплиц достаточно двух-трех форточек, то в крупных тепличных комплексах необходимо более сложное вентиляционное оборудование.[2]

Система вентиляции должна поддерживать микроклиматические параметры — температуру и влажность — в строго заданных пределах. Резкие колебания этих показателей могут привести к физиологическому стрессу растений и развитию заболеваний. Стабильное поддержание микроклимата усложняется тем, что погодные условия могут меняться не только ежедневно, но и в течение одного дня.[2]

Важно учитывать, что вентиляция не должна вызывать сквозняков. Хотя умеренное движение воздуха способствует закаливанию рассады, чрезмерный поток может вызвать повреждение или гибель молодых растений. Следовательно, вентиляция должна быть равномерной и контролируемой.

Для обеспечения устойчивой работы вентиляционной системы в современных тепличных хозяйствах используются специализированные автоматические устройства. Среди них можно выделить электрические, гидравлические и биметаллические механизмы.[2]

Электрические системы вентиляции функционируют за счёт подключения к электросети. Они состоят из вентилятора и термореле, автоматически запускающего устройство при достижении заданной температуры. Основными преимуществами таких систем являются высокая чувствительность, компактность и простота регулировки. Существенным недостатком выступает полная зависимость от электроснабжения: в случае отключения электроэнергии растения могут пострадать.[2]

Гидравлические конструкции основаны на работе рычажного механизма, управляемого температурой воздуха. При нагревании или охлаждении жидкость в цилиндре изменяет объём, что вызывает движение рычагов и, соответственно, открытие или закрытие вентиляционных проемов. Преимущество таких систем заключается в возможности управления тяжелыми створками, однако их чувствительность к резким перепадам температуры ограничена.[2]

Биметаллические устройства используют физические свойства материалов с разной температурной деформацией. При нагревании пластина изгибается, открывая фрамугу, при охлаждении — возвращается в исходное состояние. Эти устройства отличаются низкой стоимостью и не требуют подключения к источнику питания. Однако они не способны справиться с тяжелыми конструкциями, что ограничивает сферу их применения.[2]

Таким образом, современный рынок предлагает широкий выбор вентиляционных решений для теплиц, и эффективная система воздухообмена должна проектироваться с учётом конкретных условий эксплуатации, размеров теплицы и особенностей выращиваемых культур.[2]

1.3 Статистика по урожайности взаимности CO₂.

Растущее внимание работников пищевой, энергетической и водной отраслей к климатическим условиям чрезвычайно строгое. В этой связи биоэнергетика в Соединенном Королевстве с производством, распределением или использованием в стране является привлекательной и строгой, как для уважения мнения населения, так и для открытия чистого диоксида углерода (далее CO₂). [3]

Диоксид углерода (CO₂) — бесцветный и без запаха газ, который присутствует в атмосфере в небольших концентрациях. Несмотря на это, он играет ключевую роль в жизни растений. Именно CO₂ служит важнейшим «сырьём» для фотосинтеза — процесса, благодаря которому растения вырабатывают органические вещества, необходимые для их роста и развития. Без углекислого газа растения просто не смогут существовать — так же, как человек не может жить без кислорода. Обогащение диоксидом углерода в

сельскохозяйственных теплицах - это применение биологического преобразования, которое, как было показано, увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур. Процесс повышения уровня CO₂ в атмосфере происходит в основном в теплом климате из-за его закрытой конфигурации, что позволяет контролировать внутренние климатические условия. Различные исследования изучали влияние CO₂ на урожайность культур в теплицах, где реакция растений различается в зависимости от типа культуры и среды выращивания, и где уровни CO₂ от 500 до 1200 ppm увеличивают урожайность культур. Однако после того, как уровни CO₂ определены как приблизительно 1200 ppm, добавление CO₂ имеет противоположный эффект и может повредить растениям.[3]

Помимо повышения интенсивности фотосинтеза, что напрямую отражается на увеличении урожайности сельскохозяйственных культур, повышение концентрации CO₂ оказывает влияние на морфофизиологические характеристики растений, включая площадь листовой поверхности, уровень транспирации и устьичную проводимость. Например, при обогащении воздуха углекислым газом водопотребление огурцов снизилось на 40 %, что свидетельствует о повышении эффективности использования влаги. В условиях увеличения концентрации CO₂ на 100 ppm наблюдалось снижение устьичной проводимости у таких культур, как сладкий перец, огурец и томат, в диапазоне от 3 до 11 %.

С увеличением уровня CO₂ уменьшается объём влаги, испаряемой растениями как через транспирацию, так и через испарение с поверхности почвы. Однако степень выраженности этого эффекта зависит от ряда факторов, включая климатические условия (солнечная радиация, температура воздуха, относительная влажность) и биологические особенности растений (устьичная проводимость, индекс листовой поверхности, высота надземной массы).

Для количественной оценки испарения и влияния климатических и биофизических факторов на водный обмен растений применяют модель Пенмана–Монтейта. Эта модель объединяет энергетический баланс и процессы массопереноса в едином расчетном уравнении и признана эталонной в методологии оценки эвапотранспирации на основе данных метеостанций.

Таким образом, обогащение атмосферы углекислым газом способствует не только увеличению урожайности, но и снижению уровня эвапотранспирации. Однако масштаб этих эффектов варьируется в зависимости от агроклиматических условий, специфики выращиваемой культуры, применяемой агротехники и способов орошения.[3]

Применение углекислого газа в тепличном растениеводстве

Дозирование углекислого газа (CO₂) является неотъемлемым элементом современных технологий тепличного земледелия. Обогащение воздушной среды CO₂ позволяет существенно повысить урожайность и улучшить качественные характеристики сельскохозяйственной продукции. Уже в 1995 году около 80 % тепличных хозяйств активно использовали

системы подачи CO₂, причём примерно половина из них осуществляла дозирование без дополнительных адаптеров в конструкции теплиц.

Источниками углекислого газа могут служить как чистый коммерческий CO₂, так и продукты сгорания топлива от специальных горелок, установленных непосредственно в теплице, а также выбросы промышленных предприятий, пригодные для повторного использования. Горелки зарекомендовали себя как экономически эффективное решение для обогащения воздуха CO₂, однако при их применении существует риск загрязнения тепличной среды оксидами азота (NO_x) и серы (SO_x), что может негативно сказаться на физиологическом состоянии растений.

Особое внимание должно уделяться вопросам безопасности при обращении и транспортировке углекислого газа. Наиболее распространёнными способами его доставки являются автомобильный и морской транспорт, однако наиболее экономически эффективным признан трубопроводный метод, особенно при крупных объёмах поставок. При этом стоимость транспортировки по трубопроводам зависит от множества факторов, включая тип оборудования, длину и диаметр труб, а также состав перемещаемой среды.

Современные исследования в области сельскохозяйственной климатизации акцентируют внимание на проектировании и оптимизации CO₂-обогащённых теплиц, используя в качестве источника как коммерческий CO₂, так и системы внутреннего сгорания. Однако альтернативные источники получения углекислого газа также представляют интерес, поскольку влияют на экономическую целесообразность и экологическую безопасность применения CO₂ в агропромышленном комплексе.

Таким образом, для эффективной и безопасной эксплуатации CO₂ в тепличных условиях необходимо комплексное рассмотрение всей цепочки: от выбора источника газа до методов его транспортировки и систем распределения внутри теплицы. Это позволит минимизировать потенциальные риски и повысить общую эффективность тепловых и климатических систем управления микроклиматом.[3]

Анализ, охватывающий технические, экономические и экологические аспекты всей цепочки — от источника углерода до его конечного применения в тепличных условиях — представляет собой значимый вклад в формирование устойчивых агротехнологий. Проведение таких исследований необходимо для более глубокого понимания потенциала коммерциализации применения углекислого газа в сельском хозяйстве.

Цель настоящей работы заключается в комплексной оценке параметров функционирования интегрированной системы подачи CO₂ в тепличное хозяйство, включающей этапы генерации, улавливания, транспортировки и использования углекислого газа. В качестве модели культуры выбран томат, который занимает значительную долю в структуре защищённого овощеводства и представляет собой удобный объект для количественной оценки влияния CO₂-удобрения на рост и продуктивность растений. Однако предложенная методология является универсальной и может быть

адаптирована для анализа других сельскохозяйственных культур и климатических условий.

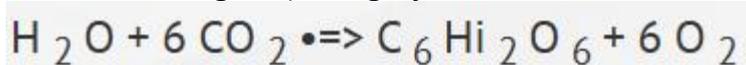
Исходные параметры теплицы составляют 50 м × 50 м при высоте 8 м; конструкция выполнена с односкатной крышей и покрыта стандартным укрывным материалом. Согласно агротехническим требованиям, оптимальная дневная температура для вегетации томатов составляет от 18 °С до 25 °С. Поэтому поддержание внутреннего температурного режима в заданных пределах является важнейшей задачей системы микроклиматического регулирования.

В исследовании учитываются сезонные колебания температуры окружающей среды и уровня солнечной радиации, которые подаются в модель как входные данные в виде теплового потока через ограждающие конструкции теплицы. Для каждого месяца рассчитывается внутренняя температура воздуха, с учётом внешних климатических условий и параметров конструкции. Для анализа распределения температуры внутри тепличного объёма применяется численный метод, позволяющий отслеживать температурные градиенты по вертикали и горизонтали в течение 7-часового светового периода. Это позволяет выявить зоны возможного перегрева или переохлаждения и способствует выработке рекомендаций по улучшению равномерности климатического режима, что напрямую влияет на здоровье и продуктивность растений.[3]

1.4 Физиология растений

Углекислый газ (CO₂) и вода (H₂O) являются основой всех органических веществ. Растения поглощают CO₂ сквозь устьица в листьях. Затем вода и углекислый газ преобразуются в сахар (C₆H₁₂O₆) в зеленых листьях. Этот процесс порождает кислород (O₂). Этот процесс трансформации происходит с помощью энергии, обеспечиваемой (солнечным) светом. Весь процесс преобразования световой энергии в химическую энергию (сахар) называется фотосинтезом.[3]

Формула ниже показывает этот процесс в очень упрощенном виде (исходит слева направо): Формула 1.



Техническая оценка Техническая оценка учитывает всю энергетическую стоимость всех выпущенных товаров из системы, электроэнергии и томатов, за вычетом всех энергетических запросов интегрированной системы. Определено, что предложенная система с обогащением CO₂ имеет чистую энергию 2,62 × 10⁶ МДж/год. Было замечено, что эта энергия меньше, чем у системы без обогащения CO₂ (1,37 × 10⁷ МДж/год). Это расхождение можно объяснить дополнительными энергетическими потребностями системы, использующей CO₂, в основном связанными с энергией для улавливания углерода. Эти результаты указывают, что существенная доля энергетических нужд энергетической подсистемы

данного пути компенсируется улучшениями в водной подсистеме благодаря улучшению продовольственной подсистемы, что усиливает важность оценки связи. Содержание CO_2 в воздухе сравнительно незначительно и составляло в 2000 г. 0,037 % по объему. Однако в посевах, лесах, травостое, на плантациях, на разных высотах от поверхности почвы в различное время суток происходит то уменьшение количества CO_2 за счет фотосинтеза, то увеличение его концентрации из-за дыхания растений и в особенности почвы. Ночью CO_2 накапливается в приземном слое воздуха. В природных условиях при внесении органических и минеральных удобрений в почву активизируется жизнедеятельность бактерий (например, их дыхание), следовательно они выделяют больше CO_2 . В межклетниках листьев концентрация CO_2 может быть намного ниже, чем в атмосфере.[3]

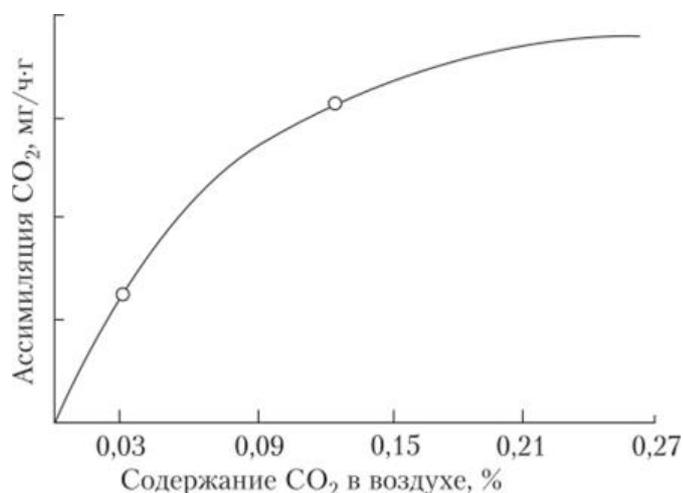


Рисунок 1. Зависимость интенсивности фотосинтеза хвойной сосны от концентрации углекислого газа в воздухе[3]

При концентрации CO_2 0,005% у растений C_3 и 0,0005% у растений C_4 скорость фотосинтеза равна скорости дыхания. Концентрация CO_2 , при которой эти процессы становятся равными, называется точкой компенсации углекислого газа.

1.5 Обоснование необходимости вентиляции теплиц

Вентиляция — один из основных элементов микроклиматического регулирования в теплых хозяйствах, который происходит при отоплении, освещении и увлажнении воздуха. От типичной организации воздухообмена зависят жизненные функции таких важных растений, как фотосинтез, дыхание, транспирация и рост.

Основные причины необходимости вентиляции теплиц:

1. Удаление избыточного тепла

В солнечные дни температура в теплице может быстро повышаться до экстремальных значений (выше +35°C), что вызывает перегрев растений, угнетение фотосинтеза и снижение урожайности. Вентиляция позволяет поддерживать температурный режим (обычно в пределах +20...+28°C), поддерживая активный рост урожая.

2. Регулирование влажности воздуха

Высокая влажность (>80%) способствует развитию грибковых заболеваний (ботритис, мучнистая роса, фитофтороз и т. д.), низкая (<40%) — стресс у растений. С помощью вентиляции достигается оптимальная относительная влажность воздуха (60–75%), обеспечивающая нормальный водообмен и устойчивость к болезням.

3. Обеспечение свежим воздухом и CO₂.

В закрытых помещениях концентрация углекислого газа быстро падает ниже фонового уровня (300 ppm), что ограничивает фотосинтез. Вентиляция осуществляется притоком свежего воздуха, обогащенного CO₂, или равномерным распределением углекислого газа с его дозированной подачей в пределах подачи углекислого газа.

4. Удаление избытка водяного пара и летучих веществ.

В процессе жизнедеятельности растений и работы оборудования в теплице накапливаются пары, этилен, аммиак и другие газы, постепенно воздействующие на растения. Вентиляция обеспечивает обновленную воздушную среду и создаёт условия для роста.

5. Профилактика болезней и улучшение фитосанитарного состояния.

Постоянный воздухообмен приводит к застою тёплого и влажного воздуха, ограничивая мероприятия по образованию очагов инфекции, проявлению плесени и вредителей.

6. Снижение градиентов температуры и влажности.

В больших теплицах без вентиляции возможны зоны с различными микроклиматическими условиями. Вентиляция обеспечивает обеспечение температурно-влажностного поля, увеличивая диапазон развития растений.

Таким образом, система вентиляции — это неотъемлемый элемент автоматизированного управления микроклиматом, обеспечивающий комфортную газовую и тепловую среду, стабильный рост растений и высокое качество продукции. Эффективная вентиляция особенно важна при внедрении интенсивных технологий, таких как углекислотная подкормка, мало объёмная гидропоника и светокультура.

Какая температура должна быть в теплице

Одним из ключевых факторов, влияющих на урожайность, является поддержание оптимального температурного режима. При выращивании огурцов в теплицах температурные параметры изменяются в зависимости от стадии развития растений: на стадии укоренения рассады рекомендуется поддерживать температуру в пределах 22-24 °C;

1. в фазу цветения - от 25 до 28 °C;

2. в период формирования и созревания плодов - от 25 до 30 °C.

Дневная температура не должна превышать 30-35 °С, а ночная - опускаться ниже 18 °С. При понижении температуры до 5-8 °С в тканях растений происходят необратимые изменения, приводящие к потере урожая.

Эффективное проветривание в зимний период необходимо, но оно должно быть организовано с учетом ряда определенных требований:

1. использование систем подачи подогретого свежего воздуха;
2. внедрение автоматизированных систем управления климатом;
3. обеспечение равномерного воздухообмена без образования сквозняков;
4. интеграция с системами подачи углекислого газа.

Только при соблюдении указанных условий возможно формирование здоровой тепличной среды и получение стабильного урожая огурцов зимой.

2. Обзор литературы по технологии вентиляции с подогревом воздуха в теплицах

2.1 Фрамужная (естественная) вентиляция с использованием теплых завес

Тепловая (воздушная) завеса — это специальное устройство, создающее невидимый поток воздуха, который действует как барьер между зонами с разной температурой. Обычно она представляет собой мощный вентилятор с функцией подогрева и устанавливается над входными дверями или по бокам от проёмов. Основная задача такой завесы — предотвратить проникновение холодного воздуха внутрь помещения и сохранить комфортный микроклимат.[4]



Рисунок 9. Фрамужная вентиляция[4]

Тепловая завеса помогает предотвратить сквозняки в помещении. Летом она может использоваться как вентилятор, создающий поток прохладного воздуха, а зимой — как дополнительный источник тепла. К тому же такая система эффективно защищает внутреннее пространство от пыли, насекомых и прочих загрязнений, поступающих с улицы.

Установленная в дверном или оконном проеме, тепловая завеса формирует своеобразную преграду между наружным и внутренним воздухом. Вентилятор устройства создает направленный воздушный поток, который словно невидимая стена, не позволяет холодному воздуху проникать внутрь.

Одним из ключевых преимуществ тепловой завесы является её энергосберегающая функция. В холодное время года она выполняет роль защитного щита, удерживая тепло в помещении и сокращая теплопотери. По статистике, расход энергии на отопление зданий с установленными завесами снижается в среднем на 10–15% по сравнению с помещениями, где они отсутствуют.[4]

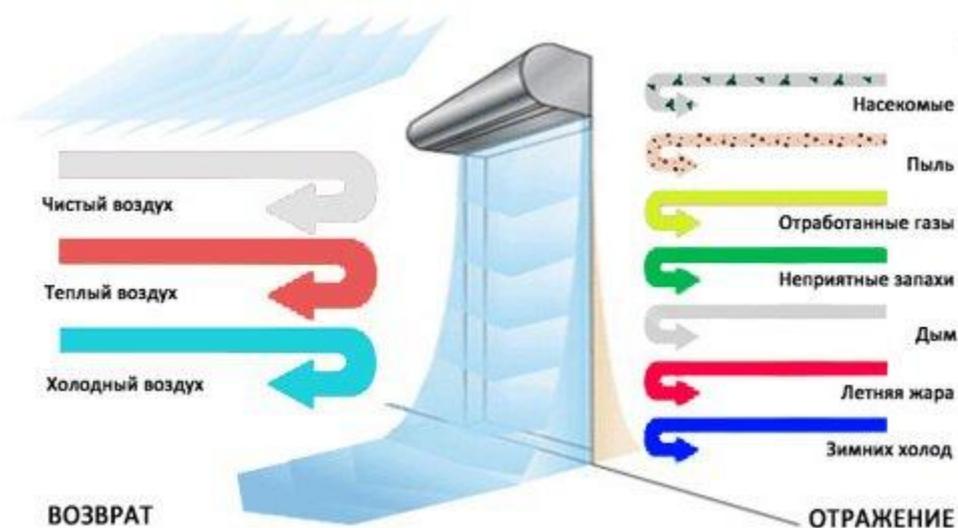


Рисунок 10. Принцип работы естественной вентиляции[4]

Принцип: верхние или боковые рамы открываются, а в холодное время года для защиты от притока холодного воздуха используются навесные шторы.

Недостатки:

1. значительные потери тепла;
2. неравномерное распределение температуры;
3. низкая эффективность в зимний период.

2.2 Циркуляционная вентиляция с подогревом приточного воздуха

Вертикальная циркуляция воздуха

Вертикальное перемешивание воздуха с помощью V-FloFans создает постоянный поток воздуха между растениями, что обеспечивает активный микроклимат. Кроме того, этот вентилятор смешивает нагретый солнцем воздух с более прохладными слоями воздуха в нижней части растений, тем самым выравнивая вертикальные перепады температуры и влажности. V-FloFans часто используются в теплицах, где для выращивания используется принцип выращивания следующего поколения.



Рисунок 11. Циркуляционная вентиляция

Принцип: Установка вентиляторов с теплообменниками, подающих подогретый воздух внутрь теплицы.

Недостатки:

- высокая энергоёмкость;
- необходимость точного контроля температурного режима;
- сложность автоматизации.

2.3 Тепловоздушные пушки и калориферы с вентиляцией

Воздушно-водяное отопление позволяет очень быстро прогреть большие по площади помещения.[10]

В зависимости от конфигурации и типа вентиляции водяной калорифер может подвешиваться под потолок или размещаться на стене, направляя горячий поток вертикально или горизонтально.[10]

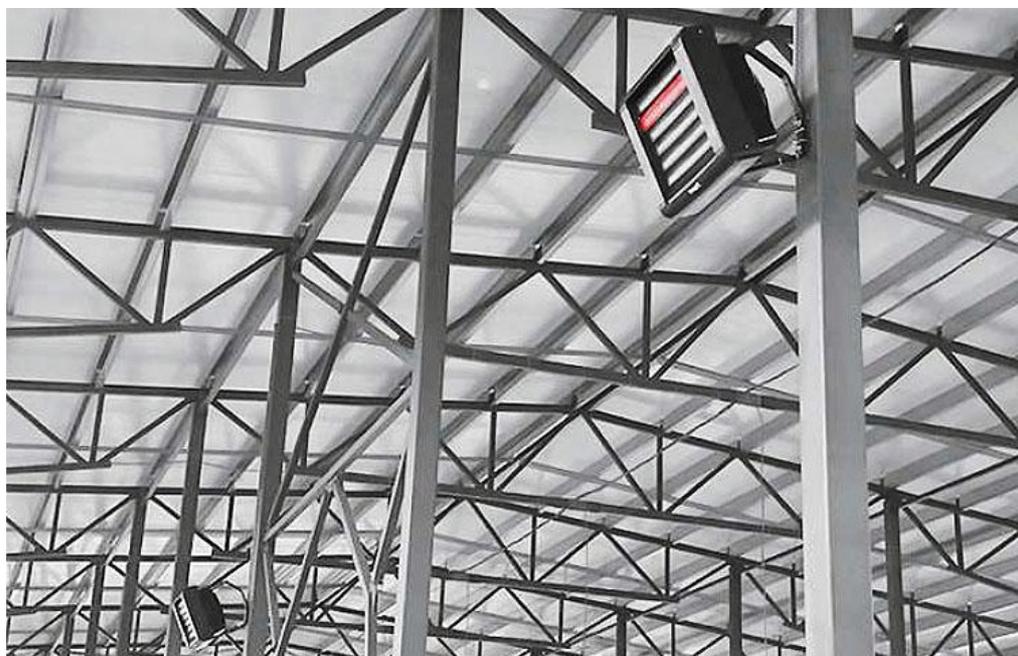


Рисунок 12. Тепловоздушные пушки[5]

- Для отопления используется вода из системы центрального отопления
- Устанавливаются в настенном, потолочном и промежуточном (30 и 45°) положении
- В горизонтальной плоскости можно установить с отклонением на 30 и 45°
- Поворотный кронштейн (опция)
- Композитная конструкция облегчает вес
- Изменяемая производительность вентилятора
- Мощность от 3 до 100 кВт в 3 типоразмерах
- Медно-алюминиевый теплообменник

Принцип: установка мобильных ТЭНов с вентиляторами для обогрева и перемешивания воздуха.[5]

Недостатки:

- локальный перегрев;
- сухой воздух, угнетающий растения;
- шум и неравномерная подача воздуха по объему теплицы.

2.4 Приточно-вытяжная система с рекуперацией тепла

Приточно-вытяжная установка с рекуперацией тепла — это компактное и полностью готовое к эксплуатации вентиляционное устройство, обеспечивающее подачу свежего воздуха в помещение и одновременное удаление загрязнённого. Система дополнительно выполняет фильтрацию воздуха, что особенно важно для поддержания комфортного и здорового микроклимата в доме.

Установка разработана с учетом климатических условий, характерных для холодных регионов, и подходит для энергоэффективной вентиляции частных домов и квартир в условиях низкой температуры наружного воздуха. Для защиты рекуператора от замерзания предусмотрен электрический преднагрев приточного воздуха.

Конструкция включает:

1. тепловую изоляцию толщиной 20 мм на основе минеральной ваты,
2. два встроенных карманных фильтра класса G4 для очистки воздуха.

Монтаж установки рекомендуется производить внутри помещений, таких как застеклённые балконы, подсобные зоны или чердаки, при температуре окружающей среды не ниже -15°C . При эксплуатации на морозе важно предусмотреть теплоизоляцию дренажного патрубка, чтобы предотвратить замерзание и закупорку конденсата.[6]



Рисунок 13. Приточно-вытяжная система[6]

Принцип: вытяжка воздуха изнутри с одновременным притоком свежего воздуха с улицы через теплообменник.[6]

Недостатки:

- сложность технической реализации;
- высокая стоимость установки;
- снижение КПД при резком падении температуры наружного воздуха.

2.5 Расчеты тепловпотерь

Потеря тепла за счет инфильтрации воздуха зависит от возраста, состояния и типа теплицы. Старые теплицы или теплицы в плохом состоянии обычно имеют трещины вокруг дверей или отверстия в укрывном материале, через которые может проникать большое количество холодного воздуха. Теплицы, покрытые большими листами остекления, большими листами стекловолна или одним или двумя слоями жесткого или гибкого пластика, имеют меньшую инфильтрацию.



Рисунок 14. Потеря энергии из-за инфильтрации.

Система вентиляции теплицы также оказывает большое влияние на инфильтрацию. Входные и выходные ставни вентиляторов часто допускают большой воздухообмен, если они не закрываются плотно из-за плохой конструкции, грязи, повреждений или отсутствия смазки. Оконные вентиляционные отверстия герметизируются лучше, чем входные ставни, но даже они требуют обслуживания, чтобы обеспечить герметичность в закрытом состоянии.

Солнечное излучение проникает в теплицу и поглощается растениями, почвой и тепличными приспособлениями. Затем теплые объекты повторно излучают эту энергию наружу. Количество потерь лучистого тепла зависит от типа остекления, температуры окружающей среды и количества

облачности. Жесткие пластиковые и стеклянные материалы демонстрируют парниковый эффект, поскольку они пропускают менее 4 процентов теплового излучения обратно наружу.

Потери тепла за счет теплопроводности можно оценить с помощью следующего уравнения:

$$Q = A (T_i - T_o)/R \quad (1)$$

Где:

Q = Тепловые потери, БТЕ/ч

A = Площадь поверхности теплицы, кв. футы

R = Сопротивление тепловому потоку (характеристика материала)

(T_i-T_o) = Разница температур воздуха внутри и снаружи

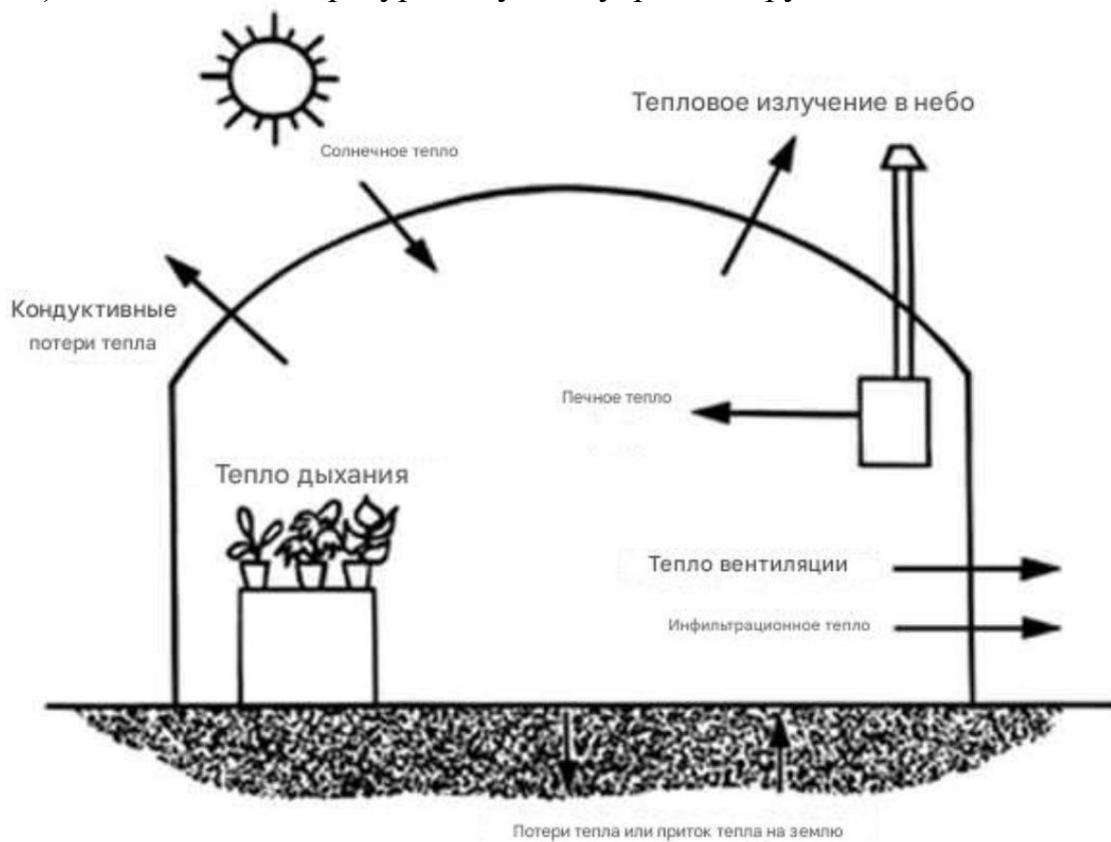


Рисунок 15.Потери и приток энергии в теплице.[7]

В таблице 1 перечислены различные материалы, обычно используемые в строительстве теплиц, и соответствующие им значения R. В таблице 1 также перечислены общие значения R для различных строительных конструкций. Обратите внимание, что высокие значения R указывают на меньший тепловой поток. Строительные материалы, которые поглощают влагу, будут проводить тепло, когда они намокнут. Используйте пароизоляцию для защиты материалов, проницаемых для водяного пара. Тепло также теряется в землю под теплицей и рядом с ней. Потери тепла по периметру можно добавить к другим потерям, используя таблицу 1 и уравнение:

$$Q = ПЛ (T_i - T_o)$$

R = Коэффициент теплопотерь по периметру, БТЕ/фут °F · ч

L = Расстояние по периметру

Таблица 1. Тепловой поток через различные строительные материалы и узлы.

Материалы	R-значение
Стекловолоконная плита 1	4.0
Пенополистирол 1 поверхности резки	4.0
Пенополистирол 1 гладкая поверхность	5.0
Пенополистирол формованные шарики 1	3.6
Вспененный полиуретан 1	6.2
Вермикулит 1	2.2
Стекловолоконное полотно 3-3.5	11.0
Стекловолоконное полотно 5-6.5	19.0
Материалы для стен	
Бетонный блок 8	2.00
Фанера ½	1.43
Бетон заливной 6	1.25
Бетонный блок или фанера, плюс 1 вспененный полиуретан	7.69
или плюс 1 полистирол	5.0
Теплица с тонкими тепловыми завесами	1.42-3.33
Строительные сборки	
Материал	Общая R-ценность
Покрытия для крыш и стен	
Стекло однослойное	0,91
Стекло двухслойное зазор ¼	2.00
Полиэтиленовая или другая пленка, однослойная	0,83
Полиэтиленовая или другая пленка, двухслойная, разделенная	1.43
Полиэтиленовая пленка, двухслойная, разделенная, поверх стекла	2.00
Стеклопластиковое армированное стекло	0,83
Двойной акрил или поликарбонат	2.00
Периметр	БТЕ/линейный фут °F час
Неизолированный	0.8
Изолированный	0.4
Включая влияние поверхностных коэффициентов.	

Добавьте потери тепла на инфильтрацию к потерям тепла на проводимость. Уравнение для передачи тепла на инфильтрацию следующее:

$$Q = 0,02 VC (T_i - T_o)$$

V= Объем теплицы, куб. фут

C = Количество воздухообменов в час

Таблица 2 содержит оценки воздухообмена по типам теплиц. Количество воздухообменов в час будет варьироваться в зависимости от типа и состояния теплицы, а также силы ветра.

Таблица 2. Естественные воздухообмены для теплиц

Строительная система	Воздухообмен в час
Новое строительство, стекло или стекловолокно	0,75 к 1
Новое строительство, двухслойная пластиковая пленка	0,5-1,0
Стекло старой конструкции, хорошее обслуживание	1 к 2
Стекло старой конструкции, плохое состояние	2-4
1 Слабый ветер или защита от ветра снижают скорость воздухообмена.	

Пример:

Поддерживайте температуру 65 градусов по Фаренгейту внутри двухслойной пластиковой теплицы с размерами, показанными на рисунке 3, без изоляции фундамента.

В районе города Туркестан при средней дневной минимальной температуре января 33,6 градуса по Фаренгейту расчетная температура составит около 18,6 градуса по Фаренгейту, поэтому используйте 20 градусов по Фаренгейту. Это потребует повышения расчетной температуры на 45 градусов по Фаренгейту; а при использовании двухслойного пластика значение R составит 1,43.

Тепловые потери за счет теплопроводности, QC:	= Площадь x ΔT / R = 5391,0 x 45 / 1,43 = 169 647 БТЕ/час
Объем:	= (7 x 32 x 100) + (16 x 5,33 x 100) = 22,400 + 8,528 = 30 928 фут ³
Потери воздуха через инфильтрацию, QA:	= 0,02 x Объем x C x ΔT = 0,02 x 30,928 x 1,0 x 45 = 27 835 БТЕ/час
Потери тепла по периметру, QR:	= P x L x ΔT = 0,8 x 264 x 45 = 9 504 БТЕ/час
Общие потери тепла, QT:	= Q C + Q A + Q R = 169 647 + 27 835 + 9 504
Требуемое тепло = 206 986 БТЕ/час	

Самая низкая температура, зарегистрированная в Туркестане, составляет -1 градус по Фаренгейту, а при повышении температуры на 45 градусов по Фаренгейту растениям не грозит замерзание. Потребность в тепле должна увеличиться примерно на 20 процентов, если дом расположен на ветреном холме.

Другие соображения по проектированию системы отопления

Пластиковые теплицы часто имеют накопление влаги внутри корпуса, поскольку почти нет трещин или отверстий, как в стеклянном доме. Высокая влажность может привести к увеличению случаев заболеваний листьев и цветов. Система принудительного воздушного отопления помогает перемешивать воздух внутри дома и помогает предотвратить колебания температуры внутри дома. На самом деле, желательно иметь вентиляторы вдоль стен для циркуляции и смешивания теплого воздуха с более прохладным воздухом около поверхности. Они могут работать непрерывно в холодные периоды, даже если обогреватель выключен.

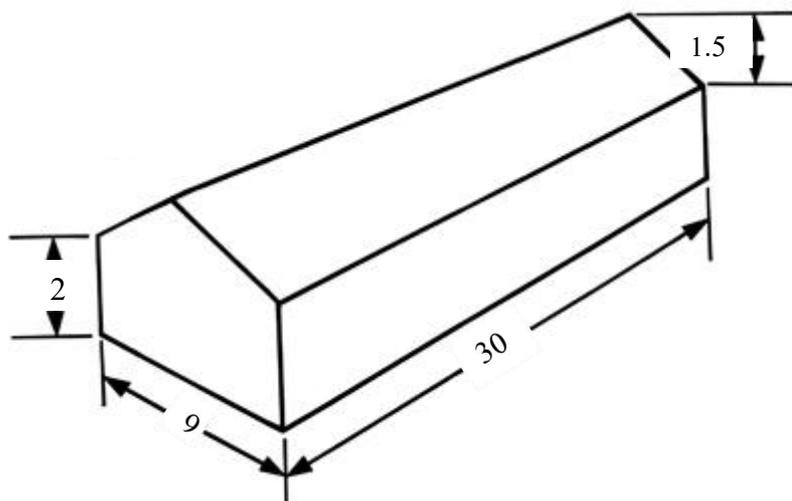


Рисунок 16. Двускатная двухслойная полиэтиленовая теплица.

Желательны системы воздухопроводов для равномерного распределения нагретого воздуха от печи с принудительной подачей теплого воздуха. Два или более небольших нагревательных агрегатов предпочтительнее одного большего, поскольку два агрегата обеспечивают большую защиту в случае неисправности одного агрегата.

Предупреждающее устройство — это хорошая страховка на случай неисправности системы отопления или отключения электроэнергии. Некоторые владельцы теплиц предпочитают иметь систему сигнализации на батарейном питании, чтобы предупредить их, если температура выйдет за пределы допустимого диапазона.

2.6 Вентиляция

Вентиляция снижает внутреннюю температуру в солнечные дни и поставляет углекислый газ, который жизненно важен для фотосинтеза растений. Еще одним преимуществом вентиляции является удаление теплого влажного воздуха и замена его более сухим воздухом. Высокая влажность нежелательна, поскольку она вызывает конденсацию влаги на прохладных поверхностях и имеет тенденцию увеличивать возникновение заболеваний.

Зимняя вентиляция должна быть спроектирована так, чтобы не допустить холодных сквозняков на растениях. Это было проблемой в некоторых системах, использующих ставни на одном конце дома и вытяжной вентилятор на другом. Проблему можно минимизировать, разместив воздухозаборник высоко на фронте и используя перегородки для отклонения входящего воздуха.[7]

Зимняя вентиляция без сквозняков может быть обеспечена с помощью системы конвекционных труб, состоящей из вытяжных вентиляторов и приточных отверстий для свежего воздуха, расположенных в фронте и торцевой стене. Она соединена с тонкой пластиковой трубкой, проходящей по всей длине теплицы. Трубка подвешена на проволоке около конька и имеет отверстия по всей длине. Вентиляторы могут управляться термостатом. Работа вентилятора создает небольшое падение давления воздуха внутри теплицы, заставляя свежий воздух поступать во впускное отверстие и раздувать трубку, которая выпускает воздух в дом через отверстия в трубке. Отверстия выпускают «струи» воздуха, которые должны выступать горизонтально, чтобы обеспечить надлежащее распределение и смешивание с теплым воздухом перед тем, как достичь растений.

Термостат останавливает вентиляторы, когда достигается желаемая температура; трубка схлопывается, и вентиляция прекращается. В плотно сконструированной теплице не имеет большого значения, где расположены вентиляторы в системе вентиляции с конвекционными трубками, поскольку распределение воздуха определяется трубками. Для системы с конвекционными трубками обычно требуется меньшая мощность вентилятора, чем для любой другой системы зимней вентиляции. Дополнительный воздух необходим, когда наружная температура повышается до точки, где достигается полная мощность трубки. Наружный воздух к этому времени обычно достаточно теплый, чтобы поступать через двери или другие отверстия на уровне растений.

Вентиляторы могут быть добавлены или, возможно, объединены с охлаждающей подушкой для использования в испарительном охлаждении. Фактически, воздух может быть вытянут через подушку с водой или без нее. В теплые периоды необходимо вытягивать достаточно воздуха из дома, чтобы обеспечить полный воздухообмен каждые 60 секунд. Управляйте вентиляторами с помощью термостата или гигростата, чтобы обеспечить правильную температуру и влажность.

Теплицы, оборудованные системой испарительного охлаждения с тремя вентиляторами или менее, должны иметь один вентилятор с двухскоростным двигателем для предотвращения чрезмерных колебаний температуры и цикличности вентилятора. Выберите все вентиляторы для работы при небольшом давлении (статическое давление воды $\frac{1}{8}$ дюйма). Вентиляторы, не рассчитанные на небольшое давление, обычно перемещают только 60–70 процентов номинального воздушного потока при установке в теплицах. Рекомендуется использовать только вентиляторы, которые были испытаны и их производительность подтверждена независимой

испытательной лабораторией, такой как АМСА, поскольку это единственная гарантия того, что достигается расчетная скорость вентиляции.[7]

Вытяжные вентиляторы в торцевой стене

Вентиляторы в торцевой стене (рисунок 17) являются наиболее распространенным методом принудительной вентиляции. Воздух поступает через моторизованную заслонку (зимой) и вытягивается через теплицу вытяжными вентиляторами.

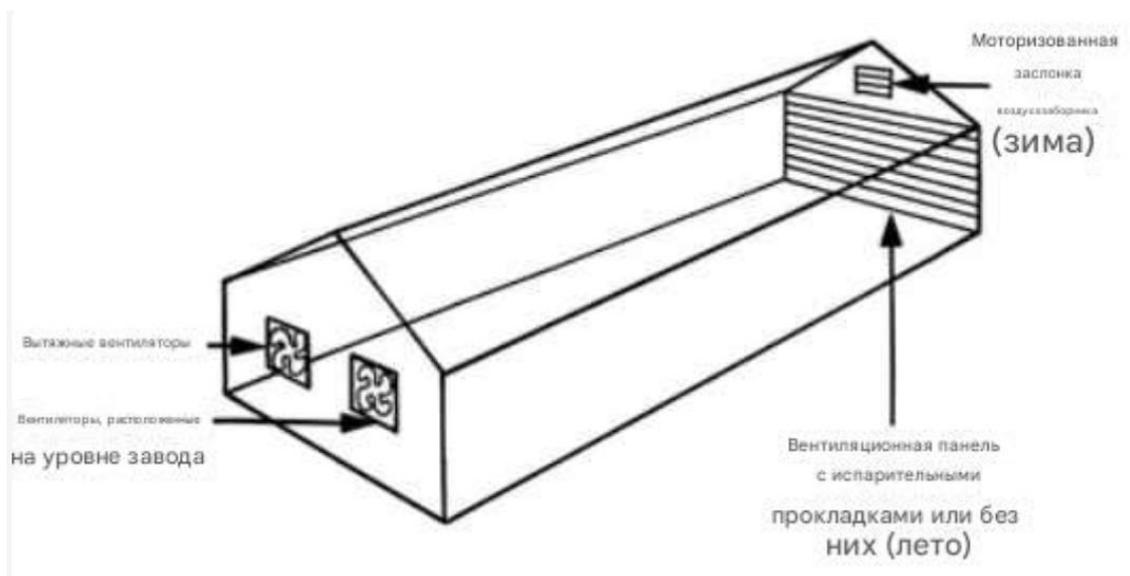


Рисунок 17. Вентиляторы в торцевой стене.

Вытяжные вентиляторы должны быть способны перемещать небольшие объемы воздуха без сквозняков (зимой) и при этом обеспечивать достаточную производительность вентилятора для воздухообмена внутри теплицы каждую минуту летом. Один воздухообмен в минуту (без испарительного охлаждения) должен поддерживать температуру примерно на 8 градусов по Фаренгейту выше наружной температуры. Половина этого объема воздуха даст повышение температуры примерно на 15 градусов по Фаренгейту, в то время как два воздухообмена в минуту вызовут повышение температуры примерно на 5 градусов по Фаренгейту. В идеале длина дома не должна превышать 125 футов при использовании этого метода. Однако дома длиной до 250 футов удовлетворительно вентилируются с использованием этого метода. Перепады температур больше в более длинных домах, поэтому желательны более высокие скорости вентиляции. Воздух не должен попадать в теплицу с боков или со стороны вентилятора.

Остекление в стеклянных теплицах должно быть хорошо установлено, а теплица должны быть в хорошем состоянии, чтобы предотвратить попадание значительного количества воздуха в теплицу. Если летом используются охлаждающие панели, отсоедините моторизованный ставень и закройте его, чтобы предотвратить попадание горячего воздуха через ставень и обход охлаждающих панелей. Вы можете подключить перфорированную

пластиковую трубку к тому же входному ставню, чтобы обеспечить хорошее распределение воздуха для вентиляции в холодную погоду.[7]

Тот же принцип применим к многоконтурным теплицам, при условии, что каждая торцевая стена оборудована таким образом. В небольших теплицах для хобби обычно используется один двухскоростной вентилятор.

Общее входное отверстие в торцевой стене для летней вентиляции (жалюзи и испарительные прокладки) должно обеспечивать около 1,5 квадратных футов на 1000 кубических футов в минуту воздуха, проходящего через работающие вентиляторы. Моторизованные жалюзи и один или два вентилятора могут быть подключены к одному термостату, в то время как остальные вентиляторы подключены к другому термостату, при этом воздух подается к этим вентиляторам через вентиляционную панель, содержащую испарительную прокладку.

Вентиляторы давления в торцевых стенах

Вентиляция теплиц длиной 100 футов и короче может быть обеспечена путем установки нагнетательных вентиляторов, которые нагнетают воздух в теплицу, высоко в торцевых стенах.(Рисунок 18).

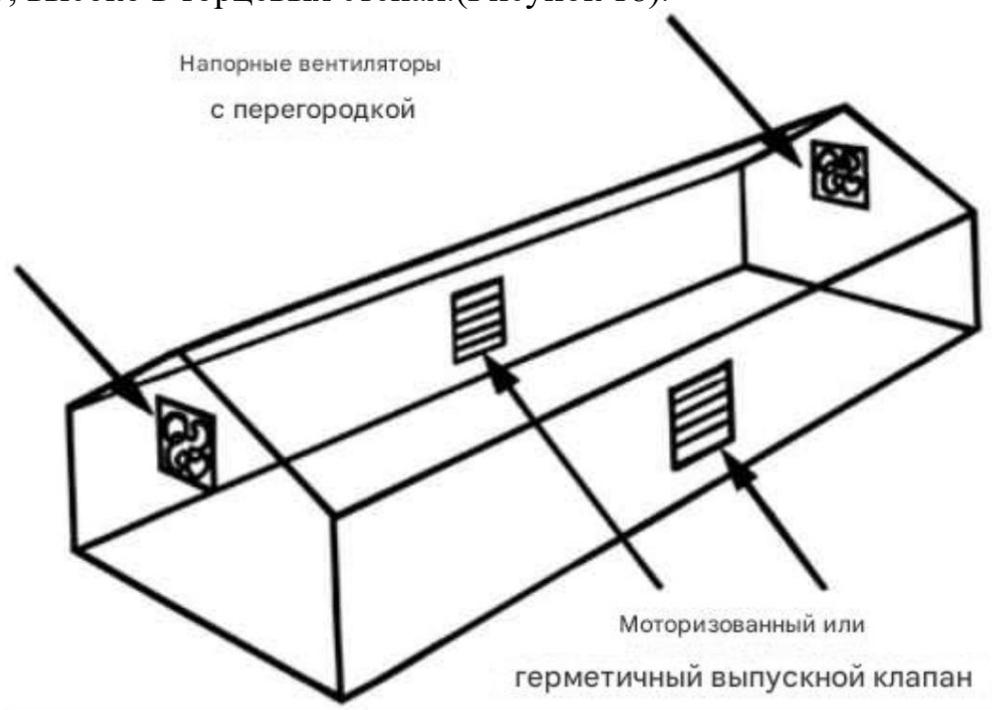


Рисунок 18. Нагнетательные вентиляторы, установленные высоко в торцевых стенах.

Вентиляторы в торцевой стене обычно двухскоростные и управляются отдельными термостатами. Чтобы избежать попадания воздуха с высокой скоростью на растения, перед вентиляторами устанавливается перегородка, направляющая воздух в желаемом направлении. Вентиляторы должны иметь защитный кожух, чтобы предотвратить попадание дождя в теплицу.

Одна из систем под давлением, в которой возможно испарительное охлаждение, показана на рисунке 19. Эта система размещает вентиляторы

давления в боковой стене. Система под давлением с вентиляторами в боковой стене не работает хорошо, когда листва густая и присутствует много высоких, растущих растений. Обратите внимание, что в этом случае воздуховыпускное и воздухозаборное отверстия находятся на одной стороне теплицы, с коробкой вокруг вентилятора, где установлены охлаждающие панели.

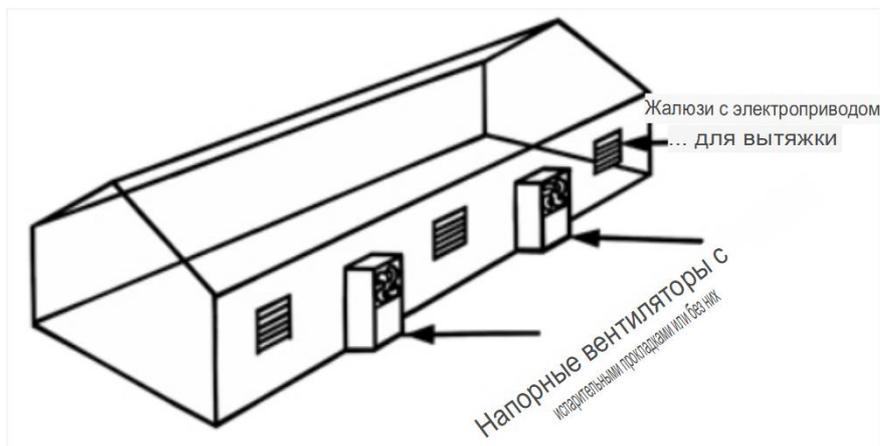


Рисунок 19. Нагнетательные вентиляторы, установленные в боковых стенах.

Испарительное охлаждение

Тепло, поглощаемое темной поверхностью, перпендикулярной солнечным лучам, может достигать 300 БТЕ/час на квадратный фут поверхности. Таким образом, теоретически возможно, что теплица будет поглощать 300 БТЕ в час на каждый квадратный фут площади пола. Эта избыточная энергия приводит к накоплению тепла и в теплые дни может вызвать увядание растений.

Накопление тепла часто можно предотвратить с помощью затеняющих материалов, таких как рулонные экраны из дерева, алюминия или винилового пластика, а также материалов на основе краски (затеняющих составов). Рулонные экраны, которые хорошо подходят для домов для хобби, доступны со шкивами и устойчивыми к гниению нейлоновыми веревками. Эти экраны можно регулировать снаружи по мере изменения температуры. С помощью этого метода можно уменьшить излучение на 50 процентов, что должно пропорционально снизить повышение температуры, если скорость вентиляции остается постоянной. Затенение также уменьшает попадание света на растения, что может ограничить скорость их роста, поскольку свет необходим для фотосинтеза. Это компромисс, который иногда необходим для снижения температуры.

Если летние температуры превышают допустимые и не могут быть исправлены с помощью разумной вентиляции и затенения, единственной альтернативой является испарительное охлаждение. Система вентиляторов и панелей, использующая испарительное охлаждение, устраняет избыточное тепло и добавляет влажность. Это снижает потери влаги растениями и, следовательно, уменьшает увядание растений. Температура снижается, влажность повышается, а потребность в поливе снижается.

Система испарительного охлаждения перемещает воздух через экран или распылитель воды таким образом, что происходит испарение воды. Для превращения 1 фунта воды из жидкости в пар требуется около 1000 БТЕ тепла. Если тепло для испарения поступает из воздуха, воздух охлаждается. Испарение больше, когда воздух, поступающий в систему, сухой; то есть когда относительная влажность низкая, что позволяет воздуху испарять много воды. Способность воздуха удерживать воду выражается в терминах относительной влажности. Например, относительная влажность 50 процентов означает, что воздух удерживает половину максимального количества воды, которое воздух мог бы удерживать, будучи насыщенным при данной температуре.

Теоретически воздух можно охлаждать испарительным способом до тех пор, пока его относительная влажность не достигнет 100 процентов. На практике хороший испарительный охладитель может достичь около 85 процентов этого падения температуры. Охлаждающий эффект для испарительных охладителей с эффективностью 85 процентов показан в таблице 3.

Испарительные охладители более эффективны при низкой влажности (таблица 4). К счастью, относительная влажность обычно низкая в самые теплые периоды дня. Солнечное тепло, проникающее в дом, компенсирует часть охлаждающего эффекта. Хорошо спроектированная система вентиляции, обеспечивающая одно изменение объема воздуха в минуту, необходима для хорошей испарительной системы охлаждения. Можно ожидать прирост солнечного тепла в 8-10 градусов по Фаренгейту при одном изменении воздуха в минуту. Если температура наружного воздуха составляет 90 градусов по Фаренгейту, а относительная влажность — 70 процентов, то результирующая температура внутри дома составит около 93 градусов по Фаренгейту (83 градуса по Фаренгейту из таблицы 4 плюс 10 градусов по Фаренгейту).

Таблица 3. Холодопроизводительность испарительных охладителей с эффективностью 85 процентов.

Наружный воздух	Относительная влажность			
	на 30%	на 50%	на 70%	на 90%
Температура наружного воздуха °F	Температура охлажденного воздуха °F			
100	79	86	91	96
90	70	77	83	87
80	63	69	74	77
70	54	60	64	68

Если необходимо достичь эффективности охлаждения в 85 процентов, то на каждые 150 CFM воздуха, циркулирующего с помощью вентиляторов, необходимо предусмотреть не менее 1 квадратного фута площади прокладки (волокна осины), установленной вертикально. Многие материалы прокладки

успешно использовались при условии, что не образуется сплошная водяная пленка и не блокируется движение воздуха через влажную прокладку. В таблице 4 приведены рекомендуемые значения расхода воздуха через различные материалы типа прокладки.

Таблица 4. Рекомендуемая скорость воздушного потока через различные материалы прокладок.

Тип прокладки	Скорость воздушного потока через прокладку (куб. фут/мин/фут ²)
Вертикально установленное волокно осины (толщиной 2–4 дюйма)	150
Волокна осины, смонтированные горизонтально (толщиной 2–4 дюйма)	200
Гофрированная целлюлоза (толщиной 4 дюйма)	250
Гофрированная целлюлоза (толщиной 6 дюймов)	350

Осиновые подушки обычно заключены в сварную проволочную сетку. Труба с близко расположенными отверстиями позволяет воде стекать по металлическому распределителю на подушки (рисунок 20). Расход воды в коллекторной трубе подачи воды указан в таблице 5. Вода, которая не испаряется в потоке воздуха, собирается в желобе и возвращается в резервуар для переработки. Резервуар должен иметь емкость, чтобы удерживать воду, возвращающуюся из подушки, когда система выключена. В таблице 6 показана рекомендуемая емкость резервуара для различных типов подушек.

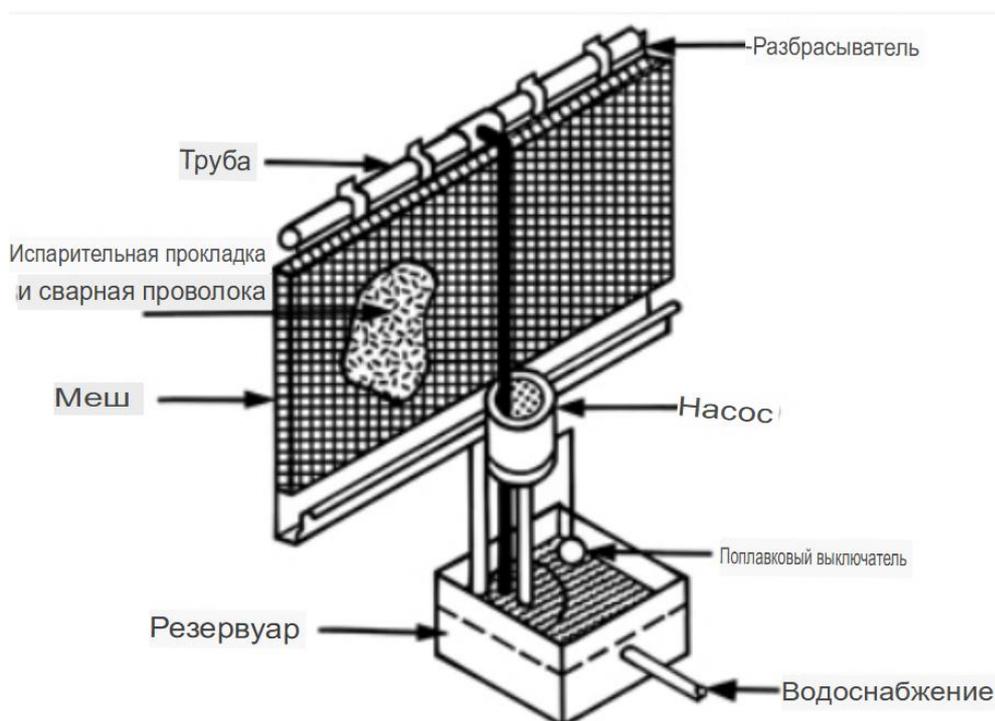


Рисунок 20. Типичная система испарительного охлаждения

Таблица 5. Рекомендуемый расход воды и емкость резервуара для материалов вертикально монтируемых охлаждающих подставок.

Тип прокладки	Мин. расход на длину прокладки (галлонов в минуту/фут)	Мин. емкость резервуара на единицу площади площадки (галлон/фут ²)
Волокно осины (2-4 дюйма)	0.3	0,5
Гофрированная целлюлоза (4 дюйма)	0,5	0.8
Гофрированная целлюлоза (6 дюймов)	0.8	1.0

Необходимо какое-то покрытие, чтобы предотвратить поток воздуха через подушки в холодную погоду. Они могут управляться вручную или автоматически. Поплавковый регулятор легко контролирует подачу воды. Желательно использовать альгицид в циркулирующей воде, чтобы предотвратить рост водорослей на подушках. Поэтому вы должны предотвратить попадание дождевой воды в испарительную охлаждающую воду, что приведет к разбавлению химической смеси.

Испарительные прокладки в эндоме на стороне всасывания вентиляторов, которые нагнетают воздух в дома (нагнетательные вентиляторы), не сработали хорошо, в первую очередь из-за распределения охлажденного воздуха. То же самое касается испарительных охладителей пакетного блока, где речь идет о плохом распределении воздуха. Эти блоки могут обрабатывать объемы воздуха от 2000 до 20 000 куб. футов в минуту. Проблема с ними заключается в трудности обеспечения равномерного распределения охлажденного воздуха. Чем ближе блоки расположены вдоль стен, тем лучше будет распределение воздуха. Пакетные охладители использовались в небольших домах и в домах с хорошим распределением воздуха, со значительным успехом. Напорная система нагнетает воздух, который должен вытеснять воздух внутри дома, в теплицу. Для циркуляции воздуха должны быть предусмотрены вентиляционные отверстия.[7]

3. Мехатронная система вентиляции с интеллектуальным управлением и подогревом воздуха

3.1 Постановка задачи

Основной задачей разработки является создание автоматизированной мехатронной системы вентиляции с функцией интеллектуального управления температурой воздуха внутри теплицы. Устройство должно обеспечивать забор наружного воздуха, его подогрев до заданной температуры, подачу внутрь помещения и дезинфекцию воздушного потока с помощью ультрафиолетового излучения. Управление осуществляется микроконтроллером на основе показаний с датчиков температуры и влажности.

Определение функциональных требований:

Система должна выполнять следующие функции:

- Автоматический контроль температуры воздуха внутри теплицы.
- Регулировка мощности нагрева воздуха с помощью ТЭНа.
- Управление скоростью вентилятора в зависимости от климатических условий.
- Обработка входящих данных с датчиков температуры и влажности.
- Обработка и фильтрация воздуха ультрафиолетовым излучением.
- Отображение текущих параметров работы на веб-интерфейсе

Выбор архитектуры системы

Система реализуется по модульному принципу и включает следующие блоки:

- Вентиляционный блок: обеспечивает забор наружного воздуха и его подачу внутрь теплицы.
- Блок нагрева: нагревательный элемент (ТЭН), управляющийся по ШИМ через твердотельное реле или симистор.
- Система управления: микроконтроллер ESP8266, отвечающий за сбор данных и принятие управляющих решений.
- Датчики: цифровые сенсоры температуры DHT22, влажности, УФ-модуль: лампа с соответствующим спектром для обеззараживания воздуха.
- Блок питания: стабилизированный источник питания на 12/24 В и 220 В для ТЭНа.
- Интерфейс взаимодействия: Wi-Fi модуль для связи с приложением.

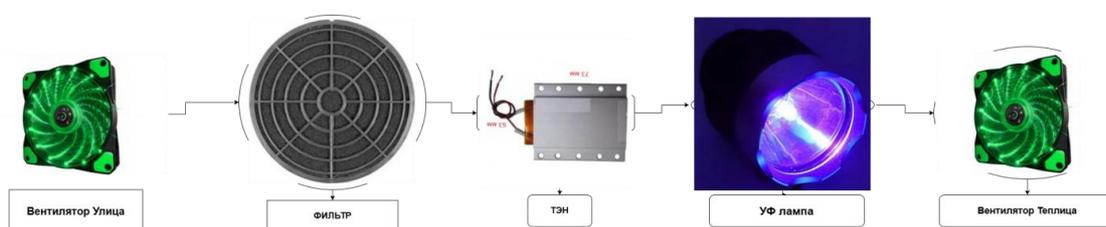


Рисунок 21. Расположение компонентов в устройстве

1. Уличный воздух поступает через воздуховод в корпус устройства.

2. Загрязнённый воздух проходит через фильтры.
3. Очищенный воздух нагревается.
4. Воздух очищается УФ лампой.
5. Вентилятор направляет свежий, очищенный и нагретый воздух в воздуховод и подаёт в помещение через распределительный элемент.

Описание системы:

Принцип работы:

Воздух забирается с улицы, проходит через систему предварительного подогрева с ТЭНами и УФ-обеззараживания, затем поступает внутрь теплицы через распределённую систему воздуховодов, управляемую сервоприводами.

Интеллектуальный модуль управления:

Использует данные от датчиков температуры, влажности, освещённости и времени суток, предсказывает изменения климата и адаптирует скорость вентиляции и степень подогрева воздуха.

Преимущества предложенного варианта:

- минимизация теплопотерь за счёт локального нагрева воздуха перед подачей;
- равномерная вентиляция без сквозняков;
- адаптивный контроль параметров микроклимата;
- энергосберегающий режим работы в зависимости от внешних условий.

3.2 Аппаратная реализация

Аппаратная часть системы вентиляции теплицы с подогревом воздуха включает в себя несколько ключевых компонентов, обеспечивающих эффективное функционирование системы. Все элементы взаимосвязаны и работают в комплексе для поддержания оптимальной температуры и влажности в теплице.

3.3 Состав и назначение компонентов

Датчики температуры и влажности DHT22.

DHT22 — это высокоточный цифровой датчик, предназначенный для измерения температуры и влажности. Он идеально подходит для систем автоматизации, умного дома, метеостанций и проектов IoT. Благодаря поддержке цифрового интерфейса, DHT22 легко подключается к платформам Arduino, ESP8266, ESP8266 и другим микроконтроллерам.

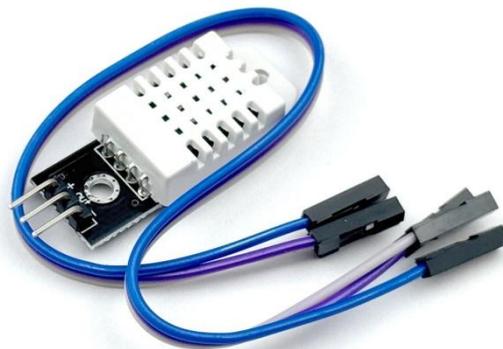


Рисунок 22. Датчики температуры и влажности DHT22[8]

Основные характеристики DHT22:

- Тип: цифровой датчик температуры и влажности
- Диапазон измерения температуры: от -40 до $+80$ °C
- Диапазон измерения влажности: от 0 % до 100 %
- Точность температуры: $\pm 0,5$ °C
- Точность влажности: ± 2 %
- Интерфейс: цифровой (однопроводный, 1-Wire)
- Питание: 3,3–5 В
- Потребляемый ток: до 2,5 мА
- Частота обновления данных: каждые 2 секунды
- Размеры: $15,1 \times 25 \times 7,7$ мм[8]

Контактная группа модуля:

1. VCC — питание 3,3–5 В
2. GND — земля
3. OUT — цифровой выход (передача данных).

Особенности и преимущества:

1. Высокая точность — подходит как для профессиональных, так и для учебных проектов.
2. Универсальность — легко интегрируется с большинством микроконтроллеров (Arduino, ESP и др.).
3. Простое подключение — требует всего три провода для подключения.
4. Широкий рабочий диапазон — стабильно работает даже в экстремальных условиях.
5. Надёжность и долговечность — прочная конструкция и стабильная передача данных в течение длительного времени.[8]

Применение:

- Умные дома — автоматический контроль температуры и влажности в жилых помещениях.
- Метеостанции — сбор метеоданных для погодных наблюдений.

- Системы автоматизации — управление климатом в теплицах, серверных комнатах, складах.
- IoT-устройства — передача данных в облачные платформы и приложения.
- Образовательные проекты — наглядное изучение цифровых сенсоров и микроконтроллерной электроники.[8]

Исполнительные механизмы вентиляторы Кулер Frime.

Высококачественный корпусный 120-миллиметровый вентилятор. В основе этого вентилятора гидродинамический подшипник гарантирует тихую работу в течение длительного времени.



Рисунок 23. Вентиляторы Кулер Frime

2. Система подогрева (ТЭНы, рекуператор).

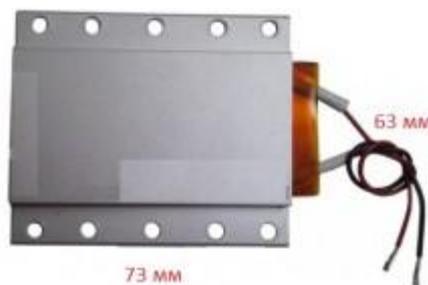


Рисунок 24. Нагревательный элемент

Нагревательный керамический элемент в алюминиевом корпусе напряжением 12 Вольт с максимальной температурой нагрева 100 °С и мощностью 12 - 30 Вт. Размеры нагревателя 63x73x7 мм.

3. 2-канальный модуль реле (5 В) с выбором уровня сигнала

2-канальный модуль реле (5 В) используется для управления мощной электрической нагрузкой как переменного, так и постоянного тока. Особенностью модуля является возможность выбора уровня срабатывания реле (высокий или низкий уровень сигнала) для каждого канала

индивидуально, что делает его универсальным для различных условий использования.[9]



Рисунок 25. 2-канальный модуль реле

Описание выводов модуля:

- DC+: вход для подключения положительного контакта источника питания (+).
- DC-: вход для подключения отрицательного контакта источника питания (-).
- IN1: вход управляющего сигнала для 1-го канала.
- IN2: вход управляющего сигнала для 2-го канала.
- COM (Common): общий контакт реле.
- NO (Normally Open): нормально разомкнутый контакт. Замыкается при подаче управляющего сигнала.
- NC (Normally Closed): нормально замкнутый контакт. Размыкается при подаче управляющего сигнала.

Характеристики:

- Количество каналов: 2.
- Напряжение питания и управляющего сигнала: 5 В.
- Уровень сигнала срабатывания: настраивается переключкой для каждого канала индивидуально.
 - Низкий уровень: переключка на контактах L (Low).
 - Высокий уровень: переключка на контактах H (High).
 - Ток в режиме покоя: 5 мА.
- Максимальный потребляемый ток: 190 мА.
- Напряжение низкого уровня сигнала: 0 ... 1,5 В.
- Напряжение высокого уровня сигнала: 2,5 ... 5 В.

Коммутация нагрузки:

- до 10 А при 250 В переменного тока.
- до 10 А при 30 В постоянного тока.

Преимущества:

- Возможность индивидуальной настройки уровня сигнала для каждого канала.
 - Подходит для работы с различными микроконтроллерами (Arduino, ESP32, Raspberry Pi).

- Компактные размеры и простота подключения.
- Индикация состояния питания и работы реле с помощью светодиодов.
- Универсальность для различных DIY и автоматизационных проектов.

Применение:

- Управление освещением в системах умный дом.
- Контроль бытовой техники.
 - Управление электрическими двигателями и насосами.
 - Системы безопасности и сигнализации.
 - Автоматизация процессов в DIY-проектах и промышленных системах.

Этот модуль реле обеспечивает надежное и удобное управление нагрузками, идеально подходя как для начинающих, так и для опытных разработчиков.[9]

1. Контроллер ESP8266

ESP8266 обеспечивает поддержку IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP. Надежность беспроводной передачи данных (Wi-Fi 802.11 b/g/n) обеспечивается применением технологий WPA/WPA2, WEP/TKIP/AES. Модулем поддерживаются следующие режимы Wi-Fi-соединения: Wi-Fi-клиент, Wi-Fi-точка доступа (SoftAP), точка доступа плюс клиент.

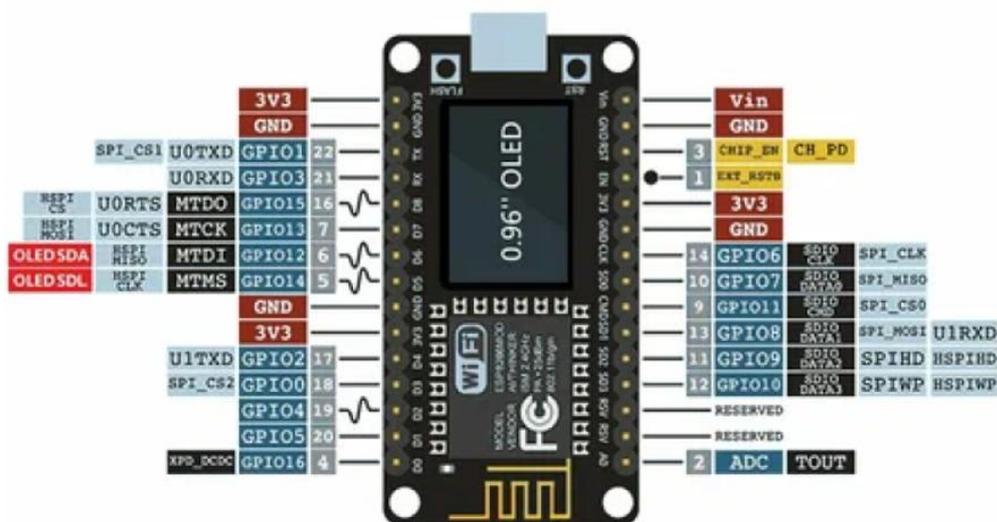


Рисунок 26. Распиновка контроллер ESP8266

Используйте платформу NodeMCU с модулем Espressif ESP8266 для создания устройств на базе интернета вещей. Плата станет отличным контролером умного дома, веб-сервером для отображения показаний датчиков или мозгом робота управляемого по Wi-Fi.



Рисунок 27. Компоненты на плате

На модуле также распаяна микросхема Flash-памяти на 4 МБ, индикаторный светодиод и антенна в виде змейки. Чип ESP8266EX основан на процессоре Tensilica L106 семейства Xtensa с тактовой частотой 80 МГц и беспроводным приёмопередатчиком со стандартом Wi-Fi 802.11 b/g/n на частоте 2,4 ГГц.

Чип ESP8266EX и Flash-память размещены под металлической крышкой, которая защищает элементы от внешних помех и снижает радиошумы.

Преобразователь USB-UART CH340

Преобразователь USB-UART на базе микросхемы CP2102 обеспечивает удобное соединение платформы NodeMCU ESP8266 с USB-портом компьютера. При подключении к ПК устройство распознаётся как виртуальный COM-порт, что облегчает обмен данными и программирование микроконтроллера.

Преобразователи питания 3V3

На плате расположен преобразователь напряжения AMS1117 для питания модуля ESP-12F и другой логики платформы. Регулятор выдаёт напряжение 3,3 В с максимальным током 500 мА.

Порт micro-USB

Разъём micro-USB предназначен для прошивки и питания платформы NodeMCU ESP8266 по USB. Для коммуникации понадобится кабель Micro USB

Кнопка RESET

Кнопка RESET служит для ручного сброса питания — аналог кнопки RESET обычного компьютера.

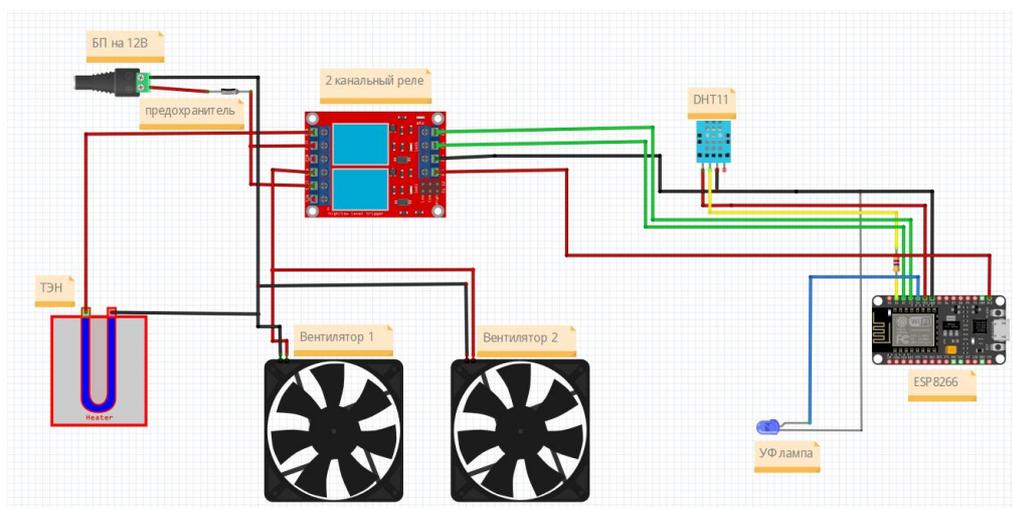


Рисунок 28. Электрическая схема системы

Разработанная система включает датчики температуры и влажности, исполнительные механизмы для управления воздушными потоками, нагревательные элементы (ТЭН), ультрафиолетовый модуль для защиты от вредителей и микроконтроллер для координации работы системы. Принцип работы устройства основан на использовании всасываемого с улицы воздуха, который проходит через нагреватель и обрабатывается УФ-излучением перед подачей в теплицу. Работа устройства основывается на принципе фена. Воздух забирается с улицы при помощи вентилятора, затем он проходит через нагревательный элемент (ТЭН), температура которого регулируется микроконтроллером. После этого поток воздуха обрабатывается ультрафиолетовым излучением для уничтожения вредоносных насекомых и затем поступает внутрь теплицы. Данный подход позволяет не только обеспечивать оптимальный температурный режим, но и предотвращать заражение растений вредителями.

Работа устройства основывается на принципе фена. Воздух забирается с улицы при помощи вентилятора, затем он проходит через нагревательный элемент (ТЭН), температура которого регулируется микроконтроллером. После этого поток воздуха обрабатывается ультрафиолетовым излучением для уничтожения вредоносных насекомых и затем поступает внутрь теплицы. Данный подход позволяет не только обеспечивать оптимальный температурный режим, но и предотвращать заражение растений вредителями.

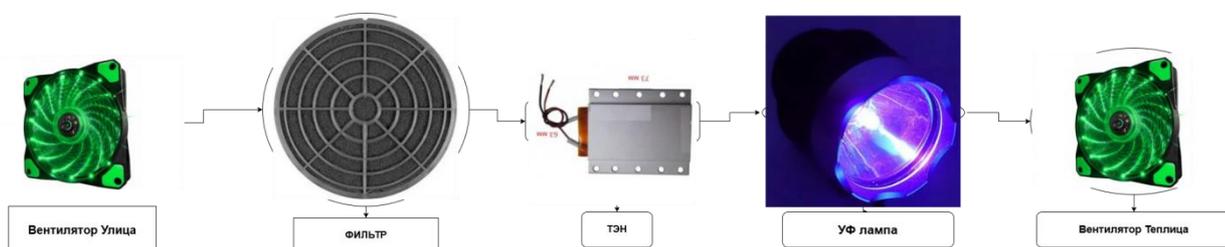


Рисунок 29. Линейная зависимость

1. Вход воздуха (с загрязнениями) — воздух с улицы, содержащий пыль, грязь, аллергены и другие загрязнения, поступает в систему.
2. Фильтры — два слоя фильтрации, вероятно, предфильтр (голубой) и HEPA или угольный фильтр (фиолетовый), которые очищают воздух от различных частиц, аллергенов и загрязнений.
3. Теплообменник (или рекуператор) — система направляет воздух по каналам, где может происходить рекуперация тепла. Тёплый удаляемый воздух отдает своё тепло входящему, очищенному воздуху, сохраняя энергию.
4. Выход чистого воздуха — очищенный и, подогретый воздух выходит из системы и подаётся в помещение.

3.4 Программная реализация

Среда разработки Arduino IDE

Arduino IDE - это мощный инструмент для программирования, работающий на операционных системах Windows, macOS и Linux. Он построен на языках программирования C и C++ и позволяет разработчикам создавать, компилировать и загружать свои программы на платы Arduino и устройства, поддерживающие их.

Программное обеспечение Arduino доступно для свободного использования и распространения по лицензии GNU GPL версии 2. IDE Arduino предоставляет инструменты для написания кода на языках C и C++, при этом применяются особые стандарты организации кода. В среде интегрирована библиотека Wiring, предоставляющая коллекцию универсальных функций для взаимодействия с вводами и выводами.

Чтобы запустить программу (эскиз), необходимо реализовать две ключевые функции: `setup()` и `loop()`, которые интегрируются с главной функцией `main()` и образуют единый исполняемый код при помощи инструментов GNU, являющихся неотъемлемой частью IDE.

Чтобы внедрить программу в микроконтроллер Arduino, применяется программа `avrdude`, которая конвертирует скомпилированный программный код в удобный для загрузки шестнадцатеричный язык и отправляет его в загрузчик, являющийся неотъемлемой частью микроплаты.

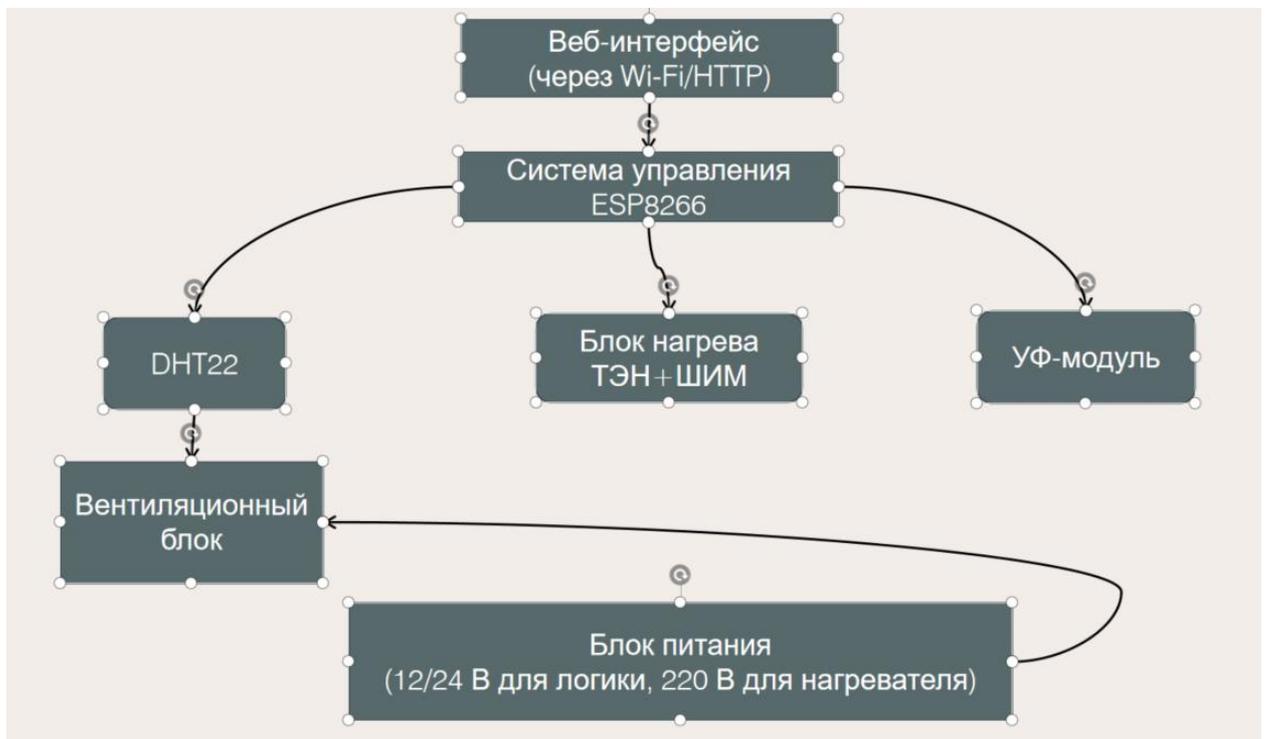


Рисунок 30. Архитектуры системы

Подключение библиотек и определение пинов

```

#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
#include <DHT.h>

```

WiFi.h — подключение Wi-Fi в режиме точки доступа (AccessPoint).

WebServer.h — встроенный HTTP-сервер.

DHT.h — библиотека для работы с датчиком температуры и влажности DHT11.

Определяются пины для управления реле и считывания данных с DHT11

```

#define HEATER_RELAY 14 // Реле нагревателя (ТЭН)
#define FAN_RELAY 13 // Реле вентилятора
#define UV_LAMP 12 // УФ-лампа (всегда включена)
#define DHTPIN 2 // Датчик DHT11
#define DHTTYPE DHT11

```

Инициализация переменных и объектов

```

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
const char* ssid = "Greenhouse_Control";
WebServer server(80);
float temperature = 0.0;
float humidity = 0.0;
bool autoMode = false;
unsigned long fanStartTime = 0;
bool fanIsOn = false;

```

- dht — создаётся объект для работы с DHT11.
- ssid — имя Wi-Fi сети.

- server — HTTP-сервер на порту 80.
- Переменные temperature, humidity — для хранения данных.
- autoMode — флаг автоматического режима.
- fanStartTime, fanIsOn — для отслеживания времени работы вентилятора.

Настройка компонентов в setup()

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);
  pinMode(HEATER_RELAY, OUTPUT);
  pinMode(FAN_RELAY, OUTPUT);
  pinMode(UV_LAMP, OUTPUT);
  dht.begin();
  WiFi.softAP(ssid);
  Serial.println("AP IP: " + WiFi.softAPIP().toString());
  digitalWrite(UV_LAMP, HIGH);
  Регистрируются HTTP-обработчики: главная страница, управление,
  данные сенсора.
  server.on("/", handleRoot);
  server.on("/control", handleControl);
  server.on("/sensor", handleSensor);
  server.begin();
}
```

Основной цикл loop()

```
void loop() {
  server.handleClient();
  Обработка входящих HTTP-запросов.
  if (autoMode) {
    temperature = dht.readTemperature();
    if (!isnan(temperature)) {
      if (temperature < 20.0) {
        digitalWrite(HEATER_RELAY, HIGH);
        digitalWrite(FAN_RELAY, LOW);
        fanIsOn = false;
      } else {
        digitalWrite(HEATER_RELAY, LOW);
        if (!fanIsOn) {
          digitalWrite(FAN_RELAY, HIGH);
          fanStartTime = millis();
          fanIsOn = true;
        } else if (millis() - fanStartTime >= 15000) {
          digitalWrite(FAN_RELAY, LOW);
          fanIsOn = false;
        }
      }
    }
  }
}
```

```
}  
}
```

Автоматический режим:

1. Если температура $< 20^{\circ}\text{C}$: включается нагрев, вентилятор выключен.
2. Если $\geq 20^{\circ}\text{C}$: нагрев отключается, вентилятор работает 15 секунд, затем отключается.
3. `millis()` используется для отслеживания времени без `delay()`.

Ответ с данными сенсора — `handleSensor()`

```
void handleSensor() {  
  float t = dht.readTemperature();  
  float h = dht.readHumidity();  
  String json = "{\"temp\": " + String(t, 1) + ", \"hum\": " + String(h, 1) + "}";  
  server.send(200, "application/json", json);  
}
```

Возвращает данные о температуре и влажности в формате JSON.

Веб-интерфейс

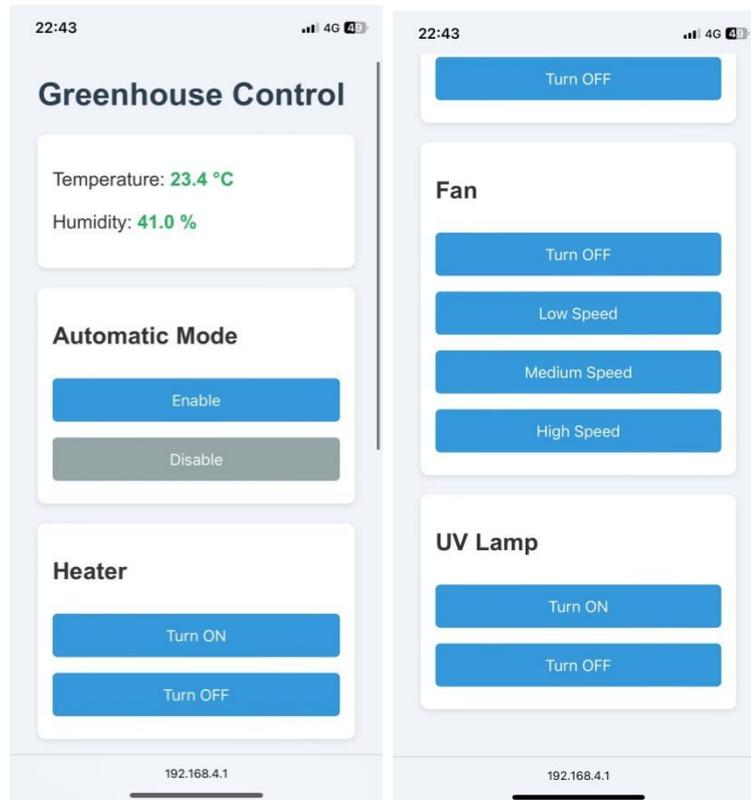


Рисунок 31. Интерфейс управление устройством

4 Моделирование и тестирование системы

Для создание модели я взял за основу катушки от 3Д принтеров, так как они залитый плотным пластиком и имеется отверстие в форме круга, то что надо для прохождения потока воздуха. Как видно на рисунке изначальная модель выглядел таким образом, то есть каждый компонент находился в катушках, но при запуске устройства вентиляции работала не стабильно, она пропускала воздух со сторон самого вентилятора, так как отверстие было маловатым и создавалось давление и она пропускала воздух.



Рисунок 32 – Кулер на бобине

Для решение проблемы с вентилятором, было сделано 3Д модель на программе OnShare, с помощью него, проблема с которой я столкнулся решилась.

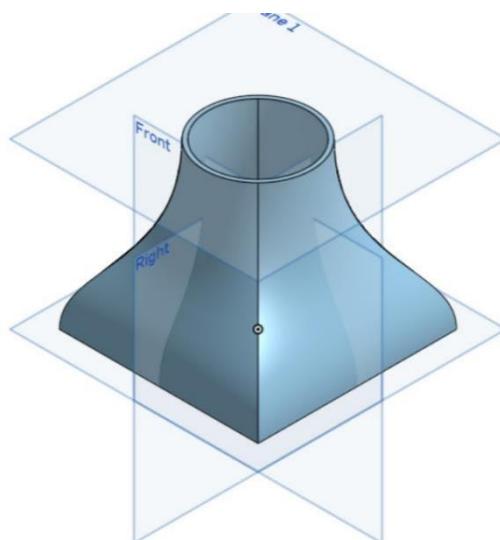


Рисунок 33. Аксинометрия детали

На рисунке показано квадрат и круг, квадрат подключается к вентилятору, а круг соединяется в прямо в катушку, так как размеры были сделаны под них.

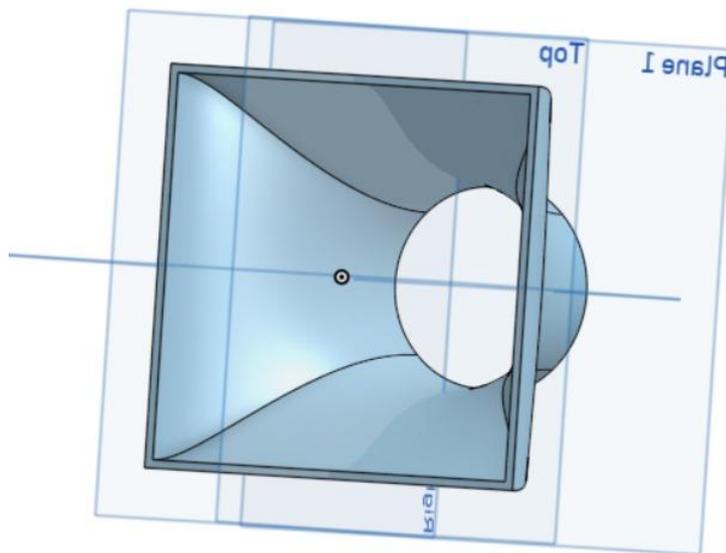


Рисунок 34. Модель детали

На рисунке показана соединение распечатанной модели для вентилятора



Рисунок 35. Распечатанный деталь

Так же, было сделано 3Д модель отсека для ТЭНа, которая позволяет нагретот воздух котораябудет находится в отсеке.

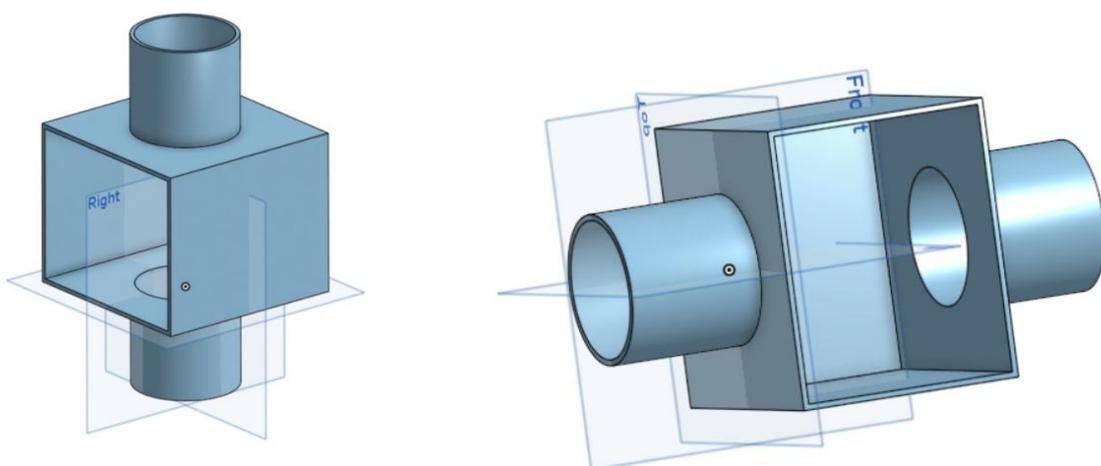


Рисунок 36. Модель детали для ТЭНа



Рисунок 37. Распечатанная модель детали

Экспериментальное подключение ТЭНа к отсеку для нагрева воздуха. ТЭН прикреплен к стойке которая поддерживает ТЭН на воздухе. Это нужно для того чтобы, когда воздух будет проходить она нагревался равномерно.



Рисунок 38. Установка ТЭНа

Так как ТЭН запускается от 220В, было подключена отдельная питания для него. При экспериментальном запуске, все работало правильно. Воздух всасывался, проходил фильтрацию, нагревался и при выдаче дул теплый поток воздуха температурой 26 С.



Рисунок 39. Сборка устройства

Но при долгой включении ТЭН начал снизу нагревать стойки и ТЭН искривился. Так как это макет устройства сделана из пластика его надо будет обмотать теплостойким материалом.



Рисунок 40. Демонтаж ТЭНа

На рисунке представлена схема системы обогрева и вентиляции теплицы. Снаружи установлен вентилятор (обозначен зелёным кругом с лопастями), который засасывает холодный воздух (показан синим потоком) с улицы внутрь теплицы. Перед поступлением внутрь, воздух проходит через нагревательные элементы — ТЭНы, изображённые в виде оранжевых волнистых линий, расположенных внутри купола. Эти ТЭНы подогревают воздух до заданной температуры. Внутри теплицы размещены растения (зеленая прямоугольная область внизу изображения), которым обеспечиваются благоприятные микроклиматические условия. Система может функционировать автоматически: при понижении температуры ниже установленного порога включается ТЭН и вентилятор, а при достижении необходимой температуры — ТЭН отключается, при этом вентилятор может продолжать работу для равномерного распределения воздуха. Такая система позволяет поддерживать оптимальный тепловой режим в теплице, что способствует стабильному росту растений.

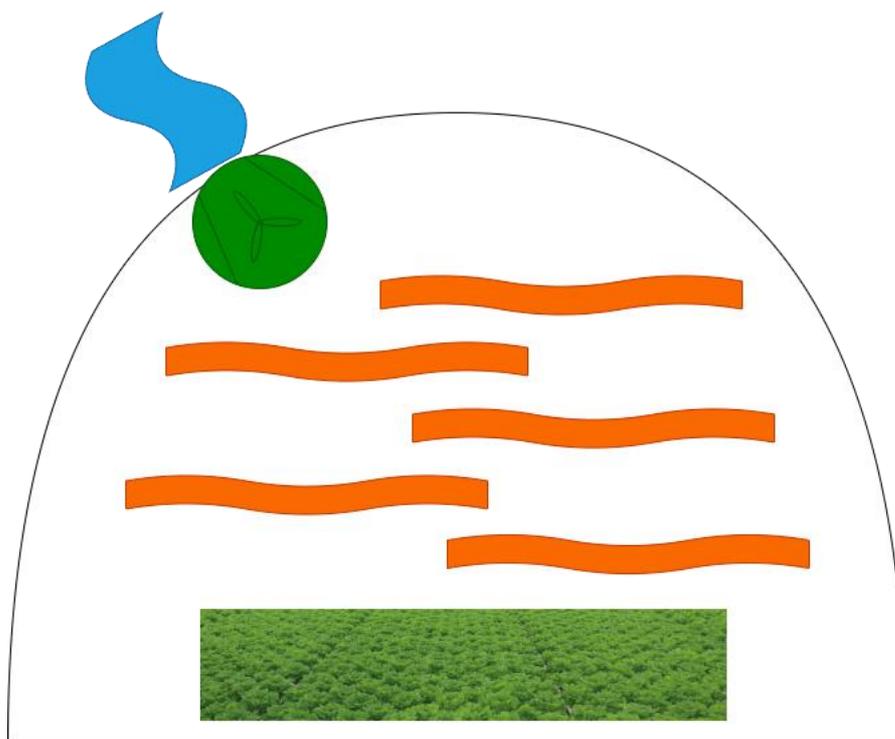


Рисунок 41. Системы обогрева и вентиляции теплицы

4.1 Математическая модель системы вентиляции

Создание модели системы вентиляции:

Вентилятор (подача воздуха)

1. ТЭН (нагрев воздуха)
2. Датчик температуры
3. Микроконтроллер, управляющий включением/выключением ТЭНа и вентилятора

Основные параметры:

- $T_{in}(t)$ — температура в теплице
- T_{out} — внешняя температура
- Q_{heater} — тепловая мощность нагревателя
- F_{air} — поток воздуха от вентилятора
- C — теплоемкость воздуха
- V — объем теплицы
- $\dot{T}_{in}(t)$ — изменение температуры во времени

Дифференциальное уравнение:

$$\frac{dT_{in}}{dt} = \frac{Q_{heater}(t)}{C \cdot V} + \frac{F_{air}}{V} (T_{out} - T_{in}(t)) \quad (2)$$

1. Моделирование температуры в программе Octave:

Octave — это высокоуровневый язык программирования, ориентированный в первую очередь на численные вычисления. Он предлагает удобный консольный интерфейс для решения как линейных, так и

нелинейных задач, а также для проведения различных численных экспериментов. Язык Octave в значительной степени совместим с MATLAB, что облегчает перенос кода между этими платформами.

Скетч для симуляции температуры и рабочая состояние ТЭНа:

```
% Параметры теплицы
V = 20;           % Объем, м^3
C = 1005;        % Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°C)
rho = 1.225;     % Плотность воздуха, кг/м^3
Q_heater = 1500; % Мощность ТЭНа, Вт
F_air = 50 / 3600; % Расход воздуха, м^3/с
T_set = 25;      % Целевая температура, °C
% Временные параметры
dt = 1;         % Шаг, сек
t_end = 3600;   % Время, сек (1 час)
time = 0:dt:t_end;
% Начальные условия
T_in = zeros(size(time));
T_out = zeros(size(time));
heater_log = zeros(size(time));
T_in(1) = 15;
% Температура на улице: колебания от 5 до 15°C в течение часа (синусоида)
T_out = 10 + 5 * sin(2 * pi * time / t_end);
heater_on = false;
% Основной цикл моделирования
for i = 2:length(time)
    % Управление ТЭНом по гистерезису
    if T_in(i-1) < T_set - 1
        heater_on = true;
    elseif T_in(i-1) > T_set + 1
        heater_on = false;
    end
    Q = heater_on * Q_heater;
    dT = (Q / (rho * C * V) + F_air * (T_out(i-1) - T_in(i-1)) / V) * dt;
    T_in(i) = T_in(i-1) + dT;
    heater_log(i) = heater_on;
end
% Визуализация
subplot(2,1,1);
plot(time / 60, T_in, 'b', 'LineWidth', 2); hold on;
plot(time / 60, T_out, 'k--', 'LineWidth', 1.5);
xlabel('Время (минуты)');
ylabel('Температура (°C)');
legend('Температура внутри', 'Температура снаружи');
title('Температурная динамика в теплице');
grid on;
```

```

subplot(2,1,2);
plot(time / 60, heater_log, 'r', 'LineWidth', 2);
xlabel('Время (минуты)');
ylabel('Состояние ТЭНа');
yticks([0 1]); yticklabels({'Выкл', 'Вкл'});
title('Работа нагревателя');
grid on;

```

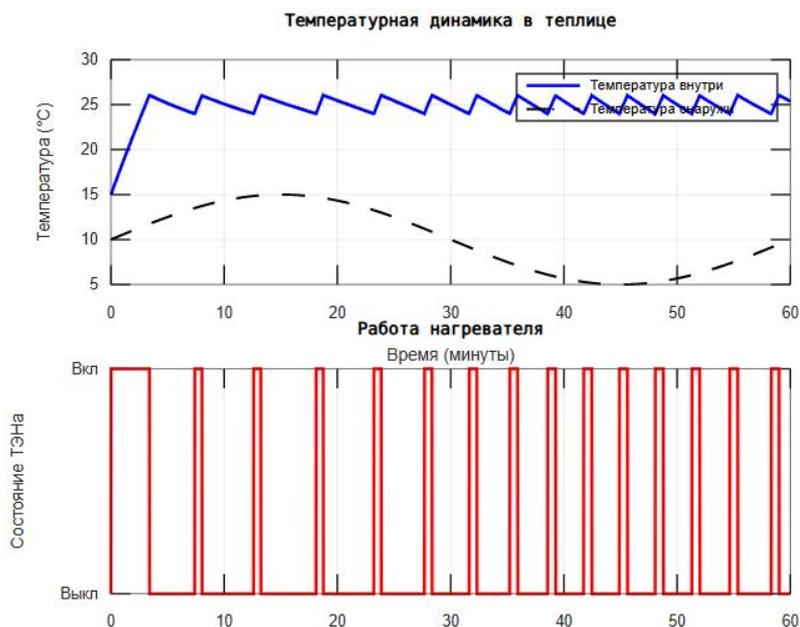


Рисунок 42. График изменения температурных параметров ТЭНа

4.2 Оценка эффективности

Оценка эффективности системы нагрева воздуха с вентилятором и ТЭНом в теплице:

1. Быстрый прогрев воздуха:
 Благодаря тому, что холодный уличный воздух сразу направляется через нагревательные элементы, теплица быстро прогревается до заданной температуры. Это особенно важно в холодное время суток и при резких перепадах температуры.
2. Равномерное распределение тепла:
 Вентилятор не только подаёт воздух, но и обеспечивает его циркуляцию, что предотвращает образование холодных зон внутри теплицы и создает равномерный температурный фон вокруг растений.
3. Энергосбережение:
 Управление системой на основе показаний температурного датчика позволяет экономить электроэнергию: ТЭН включается только при необходимости. В сочетании с кратковременной работой вентилятора после отключения нагрева (для выравнивания температуры) это повышает общую энергоэффективность.

4. Улучшение микроклимата:

Система не только подогревает, но и обеспечивает постоянное обновление воздуха, снижая влажность и уровень углекислого газа, что способствует предотвращению грибковых заболеваний и улучшению фотосинтеза.

5. Надежность и простота конструкции:

Используемые компоненты (вентилятор, ТЭН, контроллер, датчик температуры) доступны и легко заменяемы. Управление системой может быть реализовано на базе ESP32/ESP8266, обеспечивая автоматизацию и удалённый контроль.

Вывод: Представленная система является эффективным и доступным решением для поддержания комфортных условий в теплице, особенно при автоматизированном управлении. Она позволяет существенно улучшить рост растений за счёт стабильного микроклимата и может быть адаптирована под различные размеры и типы теплиц.

4.3 Достижение целей разработки

Достижение целей разработки системы нагрева воздуха в теплице:

Целью разработки было создание автоматизированной системы, обеспечивающей стабильную температуру в теплице с использованием нагревательного элемента (ТЭНа), вентилятора и датчика температуры. По результатам проектирования, сборки и тестирования устройства можно сделать следующие выводы:

Автоматическое поддержание температуры:

Система успешно поддерживает заданный температурный диапазон: при снижении температуры ниже порогового значения ТЭН включается, а при достижении нужного уровня — отключается. Вентилятор обеспечивает циркуляцию воздуха и работает дополнительно после отключения ТЭНа для выравнивания температуры по всему объёму теплицы.

Реакция на изменение внешних условий:

Устройство корректно реагирует на изменения температуры окружающей среды, автоматически адаптируя свою работу без вмешательства пользователя, что повышает автономность системы.

Повышение энергоэффективности:

Использование релейного управления, а также кратковременная работа вентилятора после нагрева позволяют снизить общее энергопотребление при сохранении эффективности.

Безопасность и стабильность:

Применение микроконтроллера (ESP32/ESP8266) и проверенного алгоритма управления обеспечивает устойчивую и безопасную работу устройства в течение длительного времени.

Простота конструкции и доступность компонентов:

Система собрана из распространённых элементов (ТЭН, вентилятор,

реле, датчик температуры, микроконтроллер), что делает её легко воспроизводимой и обслуживаемой.

Цели разработки полностью достигнуты: создана недорогая, надёжная и автоматическая система для нагрева воздуха в теплице, способная эффективно поддерживать оптимальные условия для роста растений при минимальном участии человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система нагрева воздуха для автоматизации теплицы обладает высокой практической применимостью как в частных, так и в малых фермерских хозяйствах. Благодаря сочетанию нагревательного элемента (ТЭНа), вентилятора, управления через реле и датчика температуры обеспечивается автоматическое регулирование внутреннего микроклимата, что особенно важно в холодное время года или в условиях нестабильной погоды. Это способствует созданию оптимальных условий для роста растений и повышению урожайности.

Система автоматизирована, что снижает необходимость постоянного контроля со стороны человека и позволяет эффективно расходовать электроэнергию за счёт точного управления процессом нагрева. Использование доступных и распространённых компонентов делает её легко воспроизводимой и адаптируемой под различные условия эксплуатации. Наличие веб-интерфейса и подключения по Wi-Fi повышает удобство использования и позволяет удалённо контролировать параметры микроклимата в теплице.

В практическом плане система способствует снижению эксплуатационных затрат, увеличению продолжительности вегетационного периода и стабилизации условий выращивания, что напрямую влияет на повышение продуктивности. Конструкция устройства также делает его полезным в образовательных целях, позволяя студентам и исследователям изучать технологии регулирования микроклимата и реализовывать практические проекты на основе микроконтроллеров.

Таким образом, система не только успешно выполняет поставленные задачи, но и демонстрирует эффективность, универсальность и простоту реализации, что делает её ценным инструментом для современного управления тепличным хозяйством.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР

- 1 Климат в теплице: решение проблем - Hortidaily.
- 2 Особенности системы вентиляции в теплицах - РегулВент
- 3 Нурлыбаев, А. Н. Использование углекислого газа в сельскохозяйственных теплицах: новый подход, основанный на биоэнергетике с системами улавливания углерода в рамках взаимосвязи энергии, воды и продуктов питания / А. Н. Нурлыбаев. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 34 (481). — С. 42-45.
- 4 Тепловая завеса: что это, как работает, какие бывают?//ADS-Vent.
- 5 Водяные калориферы//Отработка.
- 6 Приточно-вытяжная установка, Vents//Аквилон.
- 7 Уорли Дж. У. Greenhouses: Heating, Cooling and Ventilation– Bulletin 792. – University of Georgia Cooperative Extension, Poultry Science Department.
- 8 Модуль датчика температуры и влажности DHT22// Arduino Parts.
- 9 2-канальный модуль реле (5 В) с выбором уровня сигнала// Arduino Parts.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Студент образовательной программы 7М07107 – «Робототехника и мехатроника»

Магистерская диссертация

Бекташов Айбек Шаукатович

**Тема: «Разработка мехатронной системы вентиляции теплицы со встроенным
подогревом воздуха для автоматического контроля температуры»**

Разработан:

- а) графическая часть 2 листов
- б) пояснительная записка 55 страниц

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Магистерская диссертация посвящена решению актуальной задачи — разработке мехатронной системы вентиляции теплицы со встроенным подогревом воздуха для автоматического контроля температуры, что особенно важно в условиях нестабильного климата и повышенных требований к энергоэффективности сельскохозяйственного производства.

Целью работы являлось создание надёжной и энергоэффективной системы, способной автоматически поддерживать оптимальный температурный режим в закрытом грунте. В ходе исследования автором проведён анализ существующих решений в области климат-контроля тепличных хозяйств, выделены их ключевые недостатки, такие как высокая стоимость и сложность обслуживания. Разработана и протестирована конструкция устройства, включающая вентилятор, нагревательный элемент на основе ТЭНа, ультрафиолетовую лампу для борьбы с вредителями, а также микроконтроллерную систему управления на базе ESP8266 с функцией беспроводного мониторинга.

В работе представлены детализированные схемы электрических соединений и логики управления, проведено математическое и имитационное моделирование работы системы в среде Оставе. Особое внимание уделено алгоритму включения нагревателя и вентилятора в зависимости от показаний датчика температуры: нагрев активируется при температуре ниже 20 °С, отключается при достижении 25 °С, после чего вентилятор продолжает работу в течение заданного времени для выравнивания микроклимата.

Автором предложена конструкция с высокой технологичностью и возможностью тиражирования. В процессе испытаний система показала устойчивую работу и эффективность в условиях, приближенных к реальным. Результаты разработки были представлены в сборнике статей Международной научно-практической конференции SCIENCE AND TECHNOLOGIES - 2025 и международной конференции студентов и молодых учёных «ФАРАБИ ЭЛЕМИ». В дальнейшем возможно расширение функционала системы с интеграцией датчиков влажности, освещённости и интеллектуальных алгоритмов управления.

Разработанная система может быть использована в малых и средних фермерских хозяйствах, а также в учебных агропарках и тепличных лабораториях, не требующих высокотратной автоматизации.

ОЦЕНКА РАБОТЫ

Магистерская диссертация Бекташова А.Ш., на тему «Разработка мехатронной системы вентиляции теплицы со встроенным подогревом воздуха для автоматического контроля температуры» выполнена на высоком уровне, обладает практической ценностью и научной обоснованностью. Представленные материалы соответствуют требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам магистров.

Рекомендую оценить работу на 4 баллов и допустить автора к защите с присуждением академической степени магистра.

Рецензент

Доктор PhD, Ассоциированный профессор кафедры физики плазмы,
Нанотехнологий и компьютерной физики
НАО «КазНУ им. аль-Фараби»



Муратов М. М.

« 09 » 05 2025 ж

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию

магистранту специальности 7М07107 – Робототехника и мехатроника

Бекташов Айбек Шаукатулы

Тема: «Разработка мехатронной системы вентиляции теплицы со встроенным
подогревом воздуха для автоматического контроля температуры»

Данная работа посвящена разработке автоматизированной системы нагрева воздуха для теплицы с использованием микроконтроллера ESP8266. Актуальность темы обусловлена растущими потребностями в энергоэффективных и доступных решениях для управления микроклиматом в тепличных хозяйствах. Автором проведена проработка теоретических аспектов, обоснован выбор аппаратной части, реализована система управления нагревательным элементом и вентилятором, а также обеспечено дистанционное управление через веб-интерфейс.

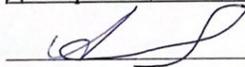
Особо следует отметить самостоятельность автора при проектировании схемы, разработке программного обеспечения и выполнении практических испытаний. Работа демонстрирует умение применять современные технологии микроконтроллерного управления, навыки программирования и интеграции различных компонентов системы. Представлены рекомендации по дальнейшему расширению функциональности, что свидетельствует о перспективности разработки.

Работа оформлена на высоком техническом и методическом уровне, содержит все необходимые структурные элементы, наглядные схемы, графики. Полученные результаты имеют практическую ценность и могут быть внедрены в реальных условиях малого фермерского хозяйства.

Научно-исследовательская работа по содержанию и качеству оформления полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, доказана ее научная новизна и практическая значимость. Поэтому считаю работу достойной оценки «отлично» (90 баллов, А) и автора можно рекомендовать к защите диссертации.

Научный руководитель

Доктор Ph.D. Ассоциированный профессор



Алимбаев Ч.А.

«11» июнь 2025 г.



Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Разработка мехатронной системы вентиляции теплицы со встроенным подогревом воздуха для автоматического контроля температуры

Автор

Научный руководитель / Эксперт

Бекташов Айбек Шаукатулы Чингиз Алимбаев

Подразделение

ИАИИТ

Объем найденных подоби

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.


25

Длина фразы для коэффициента подоби 2


10690

Количество слов


84142

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		4
Интервалы		0
Микропробелы		26
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		68

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подоби не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://arduino-parts.kz/p110480567-kanalnyj-modul-rele.html	159 1.49 %
2	https://express-agro.ru/2020/11/12/klimat-v-teplitse-resheniye-problem/	104 0.97 %
3	https://express-agro.ru/2020/11/12/klimat-v-teplitse-resheniye-problem/	98 0.92 %

4	https://iarduino.ru/shop/boards/nodemcu-lua-wi-fi-na-esp8266.html	93 0.87 %
5	https://iarduino.ru/shop/boards/nodemcu-lua-wi-fi-na-esp8266.html	69 0.65 %
6	https://arduino-parts.kz/p110480567-kanalnyj-modul-rele.html	68 0.64 %
7	https://arduino-parts.kz/p110480567-kanalnyj-modul-rele.html	43 0.40 %
8	https://iarduino.ru/shop/boards/nodemcu-lua-wi-fi-na-esp8266.html	33 0.31 %
9	https://express-agro.ru/2020/11/12/klimat-v-teplitse-resheniye-problem/	32 0.30 %
10	https://express-agro.ru/2020/11/12/klimat-v-teplitse-resheniye-problem/	31 0.29 %

из базы данных RefBooks (0.12 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
Источник: https://arxiv.org/		
1	Directionality of contact networks suppresses selection pressure in evolutionary dynamics Naoki Masuda;	13 (2) 0.12 %

из домашней базы данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из программы обмена базами данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (8.14 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://express-agro.ru/2020/11/12/klimat-v-teplitse-resheniye-problem/	341 (11) 3.19 %
2	https://arduino-parts.kz/p110480567-kanalnyj-modul-rele.html	280 (4) 2.62 %
3	https://iarduino.ru/shop/boards/nodemcu-lua-wi-fi-na-esp8266.html	201 (4) 1.88 %
4	https://mbuy24.com/prod/2253628-upower-up12025hb34-15.html	20 (1) 0.19 %
5	https://ru3dnn.jimdofree.com/radio/%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80%D1%8B/%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8/	18 (3) 0.17 %
6	https://wiki.amperka.ru/slot-box:climate-control	10 (1) 0.09 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---



СЕРТИФИКАТ

настоящим удостоверяется, что

БЕКТАШОВ АЙБЕК

магистрант

Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

принял(а) участие
в Международной научно-практической конференции

SCIENCE AND TECHNOLOGIES - 2025

22 апреля 2025 г.
Российская Федерация
г. Петрозаводск



Директор
МЦНП «НОВАЯ НАУКА»
И.И. Ивановская



НОВАЯ НАУКА
Международный центр
научного партнерства

