

**Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение города
Костромы «Средняя общеобразовательная школа № 30»**

Структурное подразделение

«Центр естественно-научного образования «Биополис»

Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды имени
Б.В. Всесвятского

(с международным участием)

Номинация: Зелёная инженерия

Проект на тему:

**«РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ
КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ
ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ВЛАЖНО-ТРОПИЧЕСКИХ РАСТЕНИЙ (НА
ПРИМЕРЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ИЗ СЕМЕЙСТВА ОРХИДНЫЕ)»**

Автор:

Бухарев Василий Георгиевич,
обучающийся Центра естественно-
научного образования «Биополис»

Руководитель:

Корзникова Виктория Геннадьевна,
Педагог дополнительного образования
Центра естественно-научного
образования «Биополис»

Кострома, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	5
1.1. Формирование требований к техническому облику автоматизированной лабораторной климатической камеры роста растений	5
1.1. Обзор существующих технических решений.....	7
1.2. Краткие технические требования	8
ГЛАВА 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	10
2.1. Организация и этапы экспериментальной работы	10
2.2. Материально-техническое обеспечение.....	10
2.3. Практическая реализация проекта	11
ГЛАВА 3. РЕСУРСНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	17
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	18

ВВЕДЕНИЕ

Среди всего многообразия растений людей всегда привлекали орхидеи за их необычный привлекательный вид, за их редкость, за аромат их цветов или за особый пряный вкус [17]. Искусственное культивирование орхидей является крайне перспективным направлением теоретической и прикладной науки. Однако, относительно редкая встречаемость в природных условиях России и Костромской области орхидей, их охранный статус, существенно ограничивает количество исследовательских и прикладных работ [8, 9, 27]. При искусственном выращивании растений из сем. *Orchidacea* данный процесс можно существенно интенсифицировать как на стадии проращивания семян [22], точным подбором режима освещенности [23, 29], а так же температурно-влажностных режимов [18].

В данной работе представлена попытка проработать технический облик соответствующей климатической камеры, пригодной для контролируемого лабораторного выращивания орхидей, что позволит с одной стороны изучать особенности роста и физиологии местных краснокнижных видов орхидей, а также тропических орхидей, а с другой стороны, отрабатывать прикладные задачи отработки технологий искусственного выращивания.

Актуальность обусловлена научной и практической ценностью культивирования орхидей, необходимостью разработки климатически сложностью ухода за орхидеями, требующим строгого контроля условий, и отсутствием на рынке доступных решений для автоматизации этого процесса. Предлагаемое модульное устройство позволит решить проблему автоматизированного и обеспечит оптимальный микроклимат для растений без значительных финансовых затрат.

Цель: разработка технического облика компактной климатической камеры, предназначенной для культивирования тропических орхидей в условиях высокой влажности, многопараметрического контроля и управления внутренних климатических условий.

Задачи:

1. Выработать технические требования к климатической камере
2. Разработать функциональную схему и спроектировать конструкцию корпуса устройства, обеспечивающую размещение всех компонентов и соответствующий эргономический дизайн.
3. Спроектировать и собрать базовые электромеханические модули устройства на основе выбранных компонентов.
4. Разработать и реализовать программный код для управления электромеханическими модулями, обеспечивающий автоматическое поддержание заданных параметров среды.

5. Апробировать работу собранного прототипа устройства и оценить его эффективность по заданным критериям на основании оценки физиологического состояния некоторых видов орхидей.

Объект исследования: фитотроны, как способы автоматизации процесса выращивания растений.

Предмет исследования: технический облик, конструкция, система управления и функциональные параметры фитотронов, обеспечивающие создание и поддержание оптимального микроклимата для культивирования сем. *Orchidacea*.

Гипотеза: возможно разработать автоматизированную климатическую камеру, которая, сохраняя ключевую функциональность для выращивания растений, будет обладать существенно более низкой себестоимостью, делающей её доступной для малого предпринимательства и растениеводов.

Научная новизна исследования заключается в разработке доступной и адаптируемой модульной климатической камеры, созданной на примере требований орхидных, но универсальной по своей концепции. Новизна состоит в целенаправленном проектировании устройства, которое за счёт использования современных, но экономичных компонентов и модульной архитектуры обладает существенно более низкой стоимостью по сравнению с серийными промышленными фитотронами. При этом камера обеспечивает не менее точный многофакторный контроль среды (влажность, температура, свет), что достигается за счёт специализированного программного обеспечения с асинхронным управлением. Таким образом, работа предлагает новое типовое решение, которое снижает финансовый барьер для проведения контролируемых биологических экспериментов, делая технологию выращивания требовательных растений доступной для учебных лабораторий и исследовательских стартапов.

Прикладная ценность проекта заключается в создании доступного автоматизированного решения для точного контроля микроклимата при выращивании растений. Устройство имеет многоуровневое применение. Оно может служить недорогим исследовательским инструментом для учебных и научных лабораторий, изучающих физиологию растений. Для малого бизнеса, такого как стартапы или питомники, камера предоставляет профессиональную технологию без больших затрат на промышленное оборудование. Для растениеводов-любителей проект решает проблему сложного ухода, полностью автоматизируя поддержание оптимальных условий для требовательных культур. Таким образом, разработка делает передовые агротехнологии выращивания более демократичными и доступными для широкого круга пользователей.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Формирование требований к техническому облику автоматизированной лабораторной климатической камеры роста растений

Для понимания наиболее предпочтительных условий культивирования орхидей, к сожалению, использование местных видов представляется весьма затруднительным, по причине охранного статуса перспективных ботанических видов, а также в связи с окончанием сезона вегетации.

Для целей формирования предельных технических параметров климатической камеры целесообразно использовать тропические орхидеи, у которых отсутствует обязательный период покоя, и в данном контексте наиболее перспективным представляется рассмотреть и богатый, и изученный с точки зрения разнообразия орхидей макрорегион, например: юго-восточную Азию, в частности Вьетнам, с которым традиционно сильны культурные, научные и политические связи России, более того орхидная флора именно Вьетнама относительно неплохо изучена, в том числе многолетними стараниями одного из ведущих советских и российских ученых мирового уровня Аверьяновым Леонидом Владимировичем, являющимся: учеником А. Л. Тахтаджяна [2].

Л. В. Аверьянов выделил во Вьетнаме 6 флористических провинций: 1. Сикано-Юньнаньская, 2. Южно-Китайская, 3. Северо-Индокитайская, 4. Центральнао-Аннамская, 5. Южно-Аннамская, 6. Южно-Индокитайская [26]. Их географическое распределение представлено на Рис. 1. По результатам последних опубликованных обзорных работ [1, 14, 26], во Вьетнаме достоверно установлено около 865 видов орхидей.

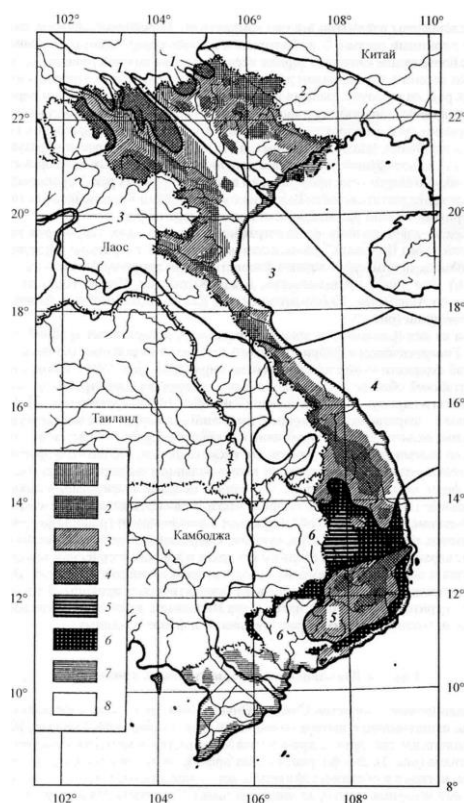


Рис. 1. Карта Вьетнама с обозначением флористических провинций [1, 26].

Флористические провинции обозначены цифрами на карте: 1. Сикано-Юньнаньская, 2. Южно-Китайская, 3. Северо-Индокитайская, 4. Центральнао-Аннамская, 5. Южно-Аннамская, 6. Южно-Индокитайская

При анализе разнообразия, четко прослеживается закономерность: максимальное видовое разнообразие видов орхидей присуще провинциям с максимальным выпадением осадков [14, 26]. Так результаты анализа свидетельствуют, что географическое распределение видов, в том числе видов эндемиков, косвенно свидетельствует о высокой их требовательности к климатическим условиям.

Таким образом, влажные климатические условия коррелируют с большим биологическим разнообразием, особенно этому способствуют неконденсированные осадки, в виде туманов, облаков.

Необходимо отметить, что для флористических провинций с максимальным видовым разнообразием: Южно-Китайская, Центральнао-Аннамская, Южно-Аннамская характерны среднегодовые относительная влажность воздуха выше 85% (а во влажные периоды относительная влажность может стабильно держаться выше 95 %), и время увлажнения поверхностей в размере 4000 — 6000 ч/год, что составляет 45 — 75 % от общей продолжительности года [20].

Исходя из всего вышеописанного следует, что при выращивании большинства видов тропических и субтропических орхидей, необходимо поддерживать достаточно высокую влажность, причем для многих видов водное питание необходимо обеспечивать в виде тонкодисперсного полива,

например, путем туманообразования, что соотносится с тем, что очень многие орхидеи имеют жизненную форму эпифитов [15] и хорошо адаптированы к такому водному режиму.

Высокие значения влажности воздуха и почвы тропических орхидей, также характерны для условий произрастания некоторых орхидей европейской части России, в том числе для Ятрышника шлемоносного [3].

Необходимо отметить, что столь высокие значения влажности, ставят особые требования к оборудованию, предназначенному для контролируемого искусственного выращивания орхидей, о чем будет сказано позднее.

В части теплового режима, необходимо учитывать, что многие орхидеи растут в горных условиях на высотах от 1000 м над уровнем моря [14], соответственно для нормального роста, для обеспечения полного вегетативного цикла необходимо хотя бы часть времени соблюдать относительно прохладные условия. При этом горные и предгорные условия характеризуются также значительными суточными температурными колебаниями. В основном контроль температурных условий необходим для стимуляции цветения взрослых растений [18]. Для орхидей костромской области для нормального роста и развития также необходимо обеспечивать витрификацию: период относительного покоя, связанного с понижением температуры.

В части обеспечения освещенности, необходимо учитывать, что большинство тропических орхидей приурочены к экваториальному региону [18], где наблюдаются относительно малые или вовсе отсутствуют колебания продолжительности дня и ночи в течение года [18]. Регулированием продолжительности освещения, возможно добиться смещения вегетативного цикла или в сторону наращивания биомассы, или формирования цветоносов и длительного цветения [18]. Так же на рост и развитие влияют спектральные характеристики искусственного освещения [23, 29], что является важным для выращивания тенелюбивых растений, которых достаточно много среди орхидей [15].

1.1. Обзор существующих технических решений

При рассмотрении доступных лабораторных климатических камер, специально адаптированных для выращивания растений, обращает внимание дефицит готовых решений, удовлетворяющих всем вышеназванным требованиям, что отчасти подтверждается обзорами технических решений [11]. Несмотря на то, что обзор является достаточно устаревшим, в общих чертах картина сохраняется:

1. Далеко не все климатические камеры способны поддерживать влажность выше 95%. Такие требования важны даже в условиях выращивания орхидей в условиях 85 — 90% влажности: фактически это означает функционирование камеры в предельных параметрах,

что гарантированно ведет к ускоренному истощению работоспособности; только лишь 1 модель из 11, способна поддерживать относительную влажность равной 98%; Такие высокие значения влажности неизбежно ведут к повышенным требованиям по электробезопасности оборудования, в том числе предусмотренной влагозащищённости всех блоков электропитания, контроля и управления;

2. Очень малое количество моделей, в которых предусмотрена возможность изменения интенсивности и спектра освещения;
3. Фактически ни у одной из приведенных моделей камер не предусмотрены системы туманообразования, или замкнутого контура ультрадисперсного распыления воды для культивирования эпифитных растений;
4. Также необходимо отметить небольшое количество более или менее подходящих климатических камер отечественного производства [7];
5. Особенностью всех представленных камер: они имеют большие внешние габариты. Это обусловлено использованием компрессорной схемы обогрева и охлаждения климатических камер роста растений. В условиях дефицита места в небольших помещениях, значительные внешние габариты являются существенным недостатком, особенно если есть необходимость проводить параллельные эксперименты с разделением опытных растений по отдельным условиям эксперимента;
6. Потенциально существуют камеры, лишенные 2 последних недостатков, использующие в качестве нагревательного элемента, и, одновременно, элемента охлаждения внутреннего объема, биметаллические элементы Пельтье, а также имеющие конструктивно заложенную возможность устанавливать одну камеру поверх другой: камеры производства Memmert, серия *HPP* [19, 33]. Такое техническое решение позволяет уменьшить внешние габариты климатической камеры, но у данных камер отсутствует техническая возможность поддерживать относительную влажность выше 80%, не предусматривается система полива и регулировка спектральных характеристик опционально устанавливаемого освещения.

1.2. Краткие технические требования

Все климатические требования, которые необходимо выдержать, для эффективного культивирования орхидей, фактически соответствуют параметрам аэропонных систем, особенно для выращивания эпифитных видов [21], адаптированных для высокой влажности окружающей среды. В климатической камере должны быть предусмотрены следующие возможности:

1. Поддержание заданной влажности воздуха, со значениями до 98%, Rh, возможности автоматического изменения параметров по заданному циклу, с независимым контролем;
2. Поддержание заданной температуры воздуха в диапазоне от 0 до 40 °С, регулировка температуры должна быть независима от внешней температуры, в которых находится сама камера;
3. Поддержание условий освещенности, с автоматическим изменением параметров по заданному циклу;
4. Поддержание полива, с автоматическим изменением параметров по заданному циклу, с контролем влажности грунта, в котором произрастают растения

ГЛАВА 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Организация и этапы экспериментальной работы

Для реализации поставленных задач работа была выполнена в логической последовательности, от проектирования до экспериментальной проверки. Основные этапы работы включали:

1. Формирование требований к техническому облику автоматизированной лабораторной климатической камеры роста растений, предназначенной для культивирования растений из семейства Орхидные
2. Разработка функциональной схемы климатической камеры роста растений
3. Выбор компонентов, создание функциональных модулей
4. Разработка программного обеспечения с использованием асинхронного программирования
5. Тестирование и отладка ПО
6. Экспериментальная проверка климатической камеры роста растений.

2.2. Материально-техническое обеспечение

В качестве камеры, в которой происходит рост растений, использовалась готовая мини-теплица, с фронтальным расположением дверцы, и стенками, выполненными из органического стекла, обеспечивающего достаточное светопропускание.

Для нагрева и охлаждения внутреннего объема камеры роста растений использовались Элементы Пельтье, TEC1-12704 2 шт., силой тока 5 вольт.

Управляющее ядро климатической камеры роста растений: микроконтроллер «Arduino UNO».

В микроконтроллер «Arduino UNO», загружен исполняющий код, написанный в специальной среде «Arduino IDE» код.

Датчик влажности воздуха DHT11.

Датчик температуры DHT11.

Жесткая пластиковая сетка с размером ячеек 100×100 мм для пространственного размещения растений и датчиков влажности и температуры.

Вентиляторы, с рабочими лопастями диаметром 50 мм.

Источник освещения: фитолампа OLEX FG-148, с защитой от попадания воды класса IP68, со светодиодными источниками света, нужной мощности и спектральной характеристикой.

Полимерная емкость с механическим аэрозольным распылителем воды.

Механические сервоприводы с кулачковым приводом, для автоматизированной срабатывания аэрозольного распылителя.

Вспомогательные расходные материалы:

1. Герметик кремнийорганический, для гидроизоляции внутреннего объема климатической камеры, технических отверстий ввода питающих кабелей, ввода датчиков, ввода патрубка водного питания;
2. Теплопроводная паста КПТ-8, для обеспечения эффективного теплообмена от элементов Пельтье;
3. Подготовленная очищенная вода, для аэрозольного полива растений.

Для проверки функциональности климатической камеры были использованы следующие эпифитные виды орхидей: *Dendrobium crumenatum*, *Oxystophillum sp.*, *Vanilla planifolia*.

2.3. Практическая реализация проекта

Готовая мини-теплица была загерметизирована кремнийорганическим герметиком по всем стыковочным узлам для предотвращения теплообмена с окружающей средой, а также в целях удержания воздушной влаги. Так же была выполнена герметизация технического отверстия, через который производился ввод патрубка водного аэрозоля (рисунок 2).



Рис.2. Герметизация камеры

На прозрачной верхней крышке была смонтирована фитолампа. На боковой стенке минитеплицы были смонтированы элементы Пельтье, выполняющие функции поддержания необходимого теплового режима, их установка была выполнена на теплопроводную пасту, выполняющую 2 функции: отвод тепла при охлаждении внутреннего объема климатической

камеры, или приток тепла при нагреве; фиксация элементов Пельтье на боковой поверхности.

На сетке были установлены: датчики влажности воздуха, датчики температуры воздуха, вентиляторы.

Растения были установлены следующим образом:

- *Vanilla planifolia* находилась в горшке, размещенным на дне климатической камеры;
- *Dendrobium crumenatum* и *Oxystophillum sp.* находились в подвешенном состоянии на жесткой сетке.

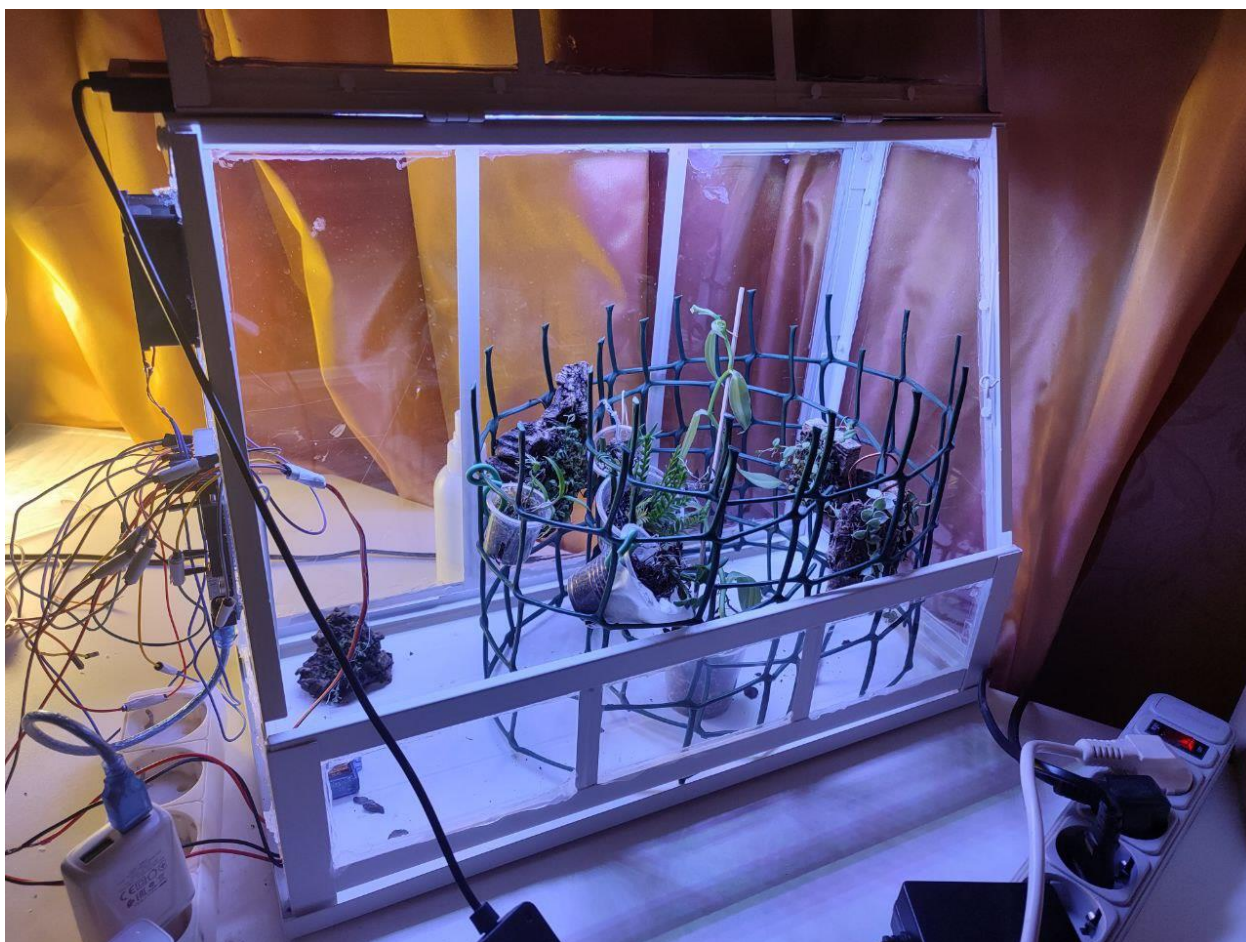


Рис.3. Расположение растений в камере

Управление лампой, элементами Пельтье, вентиляторами осуществлялось микроконтроллер «Arduino UNO» на основании показаний датчика влажности и температуры. Автоматическое включение освещения выполнялось по следующему суточному графику: включение в 13:00, выключение в 23:00, обеспечивая автономное непрерывное освещение в течение 10 ч.

Опрос датчиков влажности и температуры выполняется 1 раз в час, с записью всех значений на энергонезависимую память для возможности анализа условий роста растений.

Температура внутри климатической камеры поддерживалась в диапазоне 20 — 25 °С. Срабатывание элементов Пельтье осуществлялась на основании показаний датчиков тепла, при отклонении значения от заданного температурного диапазона.

Срабатывание приводов аэрозольного распылителя осуществляется на основании информации о влажности воздуха, при достижении относительной влажности 90% или менее.

Срабатывание вентиляторов было запрограммировано после завершения аэрозольного полива растений, в течение 30 мин.

После запуска собранной опытной модели климатической камеры роста растений, все указанные растения были помещены внутрь. Оценка роста выполнялась в течение 1 мес. (33 сут.). У растений наблюдался рост, формирование нового побега. В совокупности все внешние характеристики растений свидетельствуют об удачно выбранных климатических параметрах. Результаты оценки и описание приведены в Главе 3.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА РОСТОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

По результатам роста растений в контролируемых условиях в течение 1 мес. Была произведена оценка состояния всех орхидей. Результаты приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

Оценка роста характеристик орхидей в климатической камере после экспериментального культивирования в течение 1 мес.

№	Название вида	Приблизительное увеличение размера растения, см	Визуальная оценка признаков тургора	Визуальная оценка изменения цвета листьев
1	<i>Dendrobium crumenatum</i>	0,5	хороший	Изменение окраски листьев не обнаружено
2	<i>Oxistophilullum sp.</i>	1,0	хороший	Изменение окраски листьев не обнаружено
3	<i>Vanilla planifolia</i>	2,5	Слабая потеря тургора	Обнаружено слабое изменение окраски в сторону желтого цвета, особенно заметное в нижней части листа

Таким образом, из таблицы 2 можно заметить следующее: у *Dendrobium crumenatum* и *Oxistophilullum sp.* отсутствуют видимые признаки обезвоживания, и стабильном физиологическом состоянии; у *Vanilla planifolia* наблюдаются существенный прирост, с формированием нового побега на 28 сут. роста, но при этом наблюдаются легкие признаки обезвоживания в виде слабой потери тургора.

Предположительно, подобная ситуация с недостатком влаги у *Vanilla planifolia* может обуславливаться несколькими факторами:

1. Расположение растения в фитотроне. Возможно, из-за положения в камере на растение 1 приходилось недостаточное количество влаги из-за его удаленности или из-за перекрытия другими растениями.
2. Также вторым вероятным фактором могла послужить неподходящие условия полива к данному виду растений, об этом свидетельствует тот факт, что остальные растения не проявляют признаков обезвоживания. Это может быть связано с особенностями физиологии данных видов.

На основании п.1 и 2 можно сделать вывод, что *Vanilla planifolia* требует изолированных от остальных орхидей, используемых в данной работе, условий культивирования и адаптации климатических условий именно под данный вид.

ГЛАВА 4. РЕСУРСНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

Для реализации проекта и изготовления опытного образца был составлен перечень и рассчитана стоимость необходимых комплектующих и материалов. Расчёт сметы представлен ниже в таблице 1.

Таблица 1. Смета проекта

№	Статьи расхода	Детализация	Руб.
1	Комплектующие	Мини-теплица, готовая	8 500
2		Фитолампа OELX FG	4 200
		Макетная плата для быстрого прототипирования Breadboard Mini (170 точек / белый)	60
2		Элементы Пельтье, 2 шт.	500
3		Управляющие плата «Arduino UNO»	400
4		Транзисторы P-n-P, 5 V, 2 шт.	100
5		Датчики влажности	300
6		Датчики температуры	300
7		Вентилятор	250
		Сетка жесткая	2200
8		Аэрозольный распылитель	2000
9		Сервопривод	250
10		Расходные материалы	Кремнийорганический герметик
11	Дистиллированная вода для полива орхидей		1 100
12	Трубка для подвода водного аэрозоля		100
13	Теплопроводная паста		300
14	Провода		250
15	Припой		320
16	Электроизолирующие материалы		300
17	Накладные расходы	Электричество, вода, транспортные расходы	1 500
	Итого		24530

Таким образом, из таблицы 1 мы видим, что стоимость всех комплектующих и материалов обошлась нам в 24 530 руб. Самыми дорогими частями проекта были: мини-теплица 8 500 руб., фитолампа OELX 4 200 руб. Однако расходы на мини-теплицу можно сократить, заменив ее на самодельные варианты из оргстекла, или иного материала. При этом альтернативные установки стоят от 100 000 руб., если заказывать у частных специалистов, а у компаний от 80 000 руб., при этом в большинстве предлагаемых коммерческих вариантов настраиваются только температура, без возможности охлаждения, и полив и без технической возможности принудительной циркуляции воздуха. Таким образом экономическая составляющая нашего проекта вышла около 25 000 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На данном этапе проекта была отработана принципиальная схема компоновки климатической камеры для роста требовательных к внешним условиям растений, подтвердившая свою работоспособность.

Была отработана схема подключения и управления режимом нагрева, охлаждения, обдува и освещения, с обратной связью от контролирующих датчиков температуры и влажности.

По результатам растения показали хороший рост и развитие, кроме ванили, для которой необходимо специально настраивать климатические условия, отличные от таковых для остальных орхидей, использовавшихся в работе.

Таким образом, мы доказали возможность разработки автоматизированной климатической камеры, которая, сохраняя ключевую функциональность для выращивания растений, обладает существенно более низкой себестоимостью в 24530 рублей, что делает её доступной для малого предпринимательства и растениеводов-любителей.

На основании полученного положительного опыта будет прорабатываться компоновка опытно-промышленного экземпляра климатической камеры для выращивания орхидей, будет выполнен углубленный патентный анализ, а также по результатам проработки теоретического обоснования планируется опубликовать научную статью в российском цитируемом научном журнале, входящего в ядро РИНЦ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянов, Л.В. Анализ эндемизма Орхидных (Orchidaceae) и фитогеографическое деление восточной части полуострова Индокитай / Л.В. Аверьянов // Ботанический журнал. – 2005. – Т.90, №6. – С.802–824.
2. Аверьянов, Л.В. Орхидные Вьетнама / Аверьянов Леонид Владимирович; Ботанический институт АН СССР. – Ленинград, 1991.
3. Варлыгина, Т.И. Представители семейства Orchidaceae на ключевых минеротрофных болотах средней России / Т.И. Варлыгина, М.А. Голубева, А.И. Сорокин: Охрана и культивирование Орхидей. – Минск: А. Н. Варакин, 2015. – С.44–49.
4. Вышневецкая, Д.Н. Характеристика климата Краснодарского Края по линиям профилей / Вышневецкая Д. Н.; Российский госудасртвенный гидрометеорологический университет. – г. Туапсе, 2016. – 63 с.
5. Государственная фармакопея Российской Федерации. XV изд. ОФС.1.1.0005 «Отбор проб лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов», 2023.
6. Ефимов, П.Г. Орхидные России: систематика, география, вопросы охраны / Ефимов П. Г.; Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН. – Санкт-Петербург, 2022. – 43 с.
7. Камеры роста растений. – <https://awt.ru/product/rastenievodstvo/kamery-rosta/>.
8. Красная книга Костромской области / В.И. Бондаренко, А.С. Дюкова, Д.Н. Зонтиков, М.В. Сиротина. – Кострома: Костромской гос. ун-т, 2019. – 431 с.
9. Лазарева, Н.С. Флора окрестностей Костромской таежной научно-опытной станции ИПЭЭ РАН и Мантуровского участка заповедника «Кологривский лес» / Н.С. Лазарева, Е.С. Преображенская, С.Ю. Попов. – Москва, Санкт-Петербург: ИЦ Интермедия, 2012. – 84 с.
10. Минеева, Т.И. Изучение особенностей орхидной микоризы на примере зелёной наземной орхидеи *Goodyera repens* (L.) R. Br.: корневые эндофиты и азотное питание / Минеева Т. И.; МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2011. – 111 с.
11. Семенова, Н.А. Аналитический обзор климатическх камер для выращивания овощных культур / Н.А. Семенова, А.А. Гришин, А.А. Дорохов // Вестник НГИЭИ. – 2020. – №1 (104). – С.5–15.
12. Справочник по физической географии Сахалинской области / ред. З. Н. Хоменко: Сахалин. кн. изд-во, 2003.

13. Advances in orchid conservation: biotechnology applications and global trade dynamics / D. Sarmah, N. Gurung, P. Saini [и др.] // *Frontiers in Conservation Science*. – 2025. – Т.6. – С.2303.
14. Averyanov, L.V. Updated Checklist of Orchids of Vietnam / L.V. Averyanov, A.L. Averyanova. – 45 с.
15. Bhatti, S.K. An Overview on Orchids and their Interaction with Endophytes / S.K. Bhatti, M. Thakur // *The Botanical Review*. – 2022. – Т.88, №4. – С.485–504.
16. Efimov, P.G. Orchids of Russia: annotated checklist and geographic distribution / P.G. Efimov // *Nature Conservation Research*. – 2020. – Т.5, №Suppl.1.
17. *Exploring Medicinal Orchids* / ред. А. Husen, М. Pant: CRC Press, December 18, 2024. – 302 с.
18. In vitro flowering of orchids / J.A. Teixeira da Silva, G.B. Kerbauy, S. Zeng [et al.] // *Critical reviews in biotechnology*. – 2014. – Vol. 34, №1. – P.56–76.
19. Kolb, R. Klimaschrank / R. Kolb, 04.02.2011. – 6 с. – F25B21/02. – T.F25B21/02, №DE 10 2011 010 395 A1.
20. Lien, L.T.H. Summarize the Results of Study on Atmospheric Corrosion in Vietnam / L.T.H. Lien // *Vietnam J. Sci. Technol.* – 2013. – Т.51, №3. – С.379–391.
21. Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics / I.A. Lakhiar, J. Gao, T.N. Syed [и др.] // *Journal of Plant Interactions*. – 2018. – Т.13, №1. – С.338–352.
22. Nabieva, A.Y. Asymbiotic seed germination and in vitro seedling development of *Orchis militaris*, an endangered orchid in Siberia / A.Y. Nabieva // *Journal, genetic engineering & biotechnology*. – 2021. – Vol. 19, №1. – P.122.
23. Naderi Boldaji, H. Use of Light Spectra for Efficient Production of PLBs in Temperate Terrestrial Orchids / H. Naderi Boldaji, S. Dianati Daylami, K. Vahdati // *Horticulturae*. – 2023. – Т.9, №9. – С.1007.
24. *Orchids Phytochemistry, Biology and Horticulture*. – Cham: Springer International Publishing, 2022. – 661 с.
25. Orchids: their antimicrobial metabolites / S. Agustin, A.S. Nugraha, A.N.W. Pratama [и др.] // *Phytochemistry Reviews*. – 2025. – Т.62. – С.3730.
26. Phytogeographic review of Vietnam and adjacent areas of Eastern Indochina / L.V. Averyanov, K.L. Phan, T.H. Nguyen, D.K. Harder // *Komarovia*. – 2003. – Т.3. – С.1–83.
27. Sechin, E.N. AMINO ACID COMPOSITION OF VEGETATIVE ORGANS *DACTYLORHIZA MACULATA* (L.) SOÓ (ORCHIDACEAE) / E.N. Sechin,

- O.A. Marakaev, G.B. Gavrilov // chemistry of plant raw material. – 2019. – №2. – С.135–143.
28. Teoh, E.S. Medicinal Orchids of Asia / E.S. Teoh. – Cham: Springer International Publishing, 2016.
29. The influence of light spectrum on morphogenesis of orchid germs in vitro / L.V. Khotskova, G.Y. Stepanyuk, M.S. Yamburov [и др.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Т.510. – С.12032.
30. Tiwari, P. Advances in Orchid Biology, Biotechnology and Omics / P. Tiwari, J.-T. Chen. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. – 293 с.
31. Vanilla / M. Divakaran, R. Suseela Bhai, R. Menchaca Garcia [и др.] // Handbook of Spices in India: 75 Years of Research and Development / под ред. P. N. Ravindran, K. Sivaraman, S. Devasahayam [и др.]. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. – С.2591–2685.
32. Vanilla: Culture, Reproduction, Phytochemistry, Curing, Pest, and Diseases / K. Mahadeo, T.L. Palama, B. Côme, H. Kodja // Orchids Phytochemistry, Biology and Horticulture. – Cham: Springer International Publishing, 2022. – С.329–340.
33. Walter, U., et al. Klimaschrank / U. Walter, C. Natsios, 20.02.2012. – B01L 1/00. – Т.В01L 1/00, №DE102012003237B3.
34. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2024: FAO, 2024.