

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»
ПО ПРОФИЛЮ «ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО»

50075

регистрационный номер

Секция: Радиоэлектроника, лазерная и медицинская техника

название секции

Разработка роботизированной адаптивной системы поддержания
жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов с использованием
искусственного интеллекта

название работы

Автор:

Соболев Олег Игоревич

фамилия, имя, отчество

ГБОУ Школа №1514, 10 класс

наименование учебного заведения, класс

Научный руководитель:

Кручинина Елена Викторовна

фамилия, имя, отчество

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

место работы

к.т.н., доцент кафедры БМТ 1

звание, должность

подпись научного руководителя

Москва - 2024

Разработка роботизированной адаптивной системы поддержания жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов с использованием искусственного интеллекта

Аннотация

Проект роботизированной адаптивной системы поддержания жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов призван оказать помощь при проведении научных работ в биологических лабораториях.

Роботизированная система значительно упрощает и ускоряет проведение работ с живыми фотосинтезирующими организмами, а использование искусственного интеллекта делает ее перспективной для дальнейшего развития. В настоящее время системы для поддержания жизнеобеспечения живых организмов стали встречаться нам все чаще. Однако большинство из них не способны подстраиваться под конкретную задачу, расширяться.

Целью данной работы является: разработка роботизированной адаптивной системы для поддержания жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов с использованием искусственного интеллекта.

В результате работы над проектом была создана роботизированная система с искусственным интеллектом, которая автоматически оптимизирует условия окружающей среды для поддержания жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов, анализируя их состояние. Система позволяет проводить исследования со многими видами фотосинтезирующих организмов, подстраиваясь под их индивидуальные требования.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Исследование фотосинтезирующих организмов	6
1.1 Анализ существующих систем.....	6
1.2 Изучение потребностей фотосинтезирующих организмов	6
1.3 Исследование цветовых характеристик популяций одноклеточных водорослей	7
2 Разработка автоматизированной системы поддержки и контроля жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов	9
2.1 Алгоритм работы системы	9
2.2 Реализация алгоритма работы системы	9
2.3 Выбор устройств и изготовления узлов системы	10
2.4 Сборка узлов системы	14
2.5 Разработка программного обеспечения	14
3 Апробация системы поддержки и контроля жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов	17
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	21
Приложение А. Технологическая карта 1	22
Приложение Б. Технологическая карта 2	23
Приложение В. Технические характеристики системы	25
Приложение Г. Электрическая принципиальная схема устройства	26
Приложение Д. Экономическая оценка	27

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время системы для поддержания жизнеобеспечения живых организмов стали встречаться нам все чаще. Однако большинство из них не способны подстраиваться под конкретную задачу, расширяться. Необходимо закупать множество разнообразных установок с разными схемами функционирования, с разными управляющими устройствами. Их невозможно связать в одну систему управления, наблюдения и контроля. Они предусматривают разные способы отслеживания состояния живого организма, но не позволяют автоматически изменять параметры среды. Идеей проекта было разработать несколько роботизированных устройств и объединить их в общую систему, позволяющую управлять ими с помощью единого мобильного приложения.

Актуальность данной проектной работы состоит в том, что она не просто представляет собой проект комплекса IoT систем, а, используя возможности искусственного интеллекта, позволяет создать комплекс, который изменяет параметры среды в зависимости от состояния организма. Таким образом, состояние живого организма становится главным параметром для работы всей системы.

В качестве тестового фотосинтезирующего организма в проекте использована микроводоросль *Chlorella vulgaris*.

В различных научных лабораториях содержится множество фотосинтезирующих организмов, требующих к себе отдельного внимания. Для них необходимо создавать определённые условия содержания, благоприятную окружающую среду. Необходима система, способная влиять на окружающую среду, в зависимости от состояния самого организма.

Целью данной работы является: разработка роботизированной адаптивной системы для поддержания жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов с использованием искусственного интеллекта.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач.

- изучить потребности биологических лабораторий;
- изучить основы жизнедеятельности фотосинтезирующих живых организмов;
- провести исследование аналогов системы;
- разработать конструкцию системы, моделей защитных корпусов и боксов;
- спроектировать узлы системы в САПР;
- выполнить все производственные этапы по изготовлению необходимых узлов и деталей;
- разработать и спаять схемотехнику проекта;
- произвести сборку всех узлов роботизированной системы;
- провести комплексное тестирование системы;
- сделать вывод, выявить направление дальнейшего развития системы.

1 Исследование фотосинтезирующих организмов

1.1 Анализ существующих систем

В лабораториях при работе с микроскопом широко используются наборы готовых микропрепаратов, которые включают в себя следующие образцы по ботанике, общей биологии, зоологии: дафния (*Daphnia*), кончик корня лука (*Onion Root Tip*), инфузория туфелька (*Paramecium caudatum*), дождевой червь (*Earthworm*) и другие. В биологической лаборатории возможно самостоятельно изготовить микропрепараты, для этого живым организмам необходимо создать оптимальные условия для жизнедеятельности.

В ходе выполнения настоящей работы было проведено изучение существующих на рынке систем для поддержания микросреды, которые широко представлены на торговой площадке AliExpress [1]. Большинство из разработанных систем не имеют возможности подстраиваться под конкретную задачу. Необходимо закупать множество разнообразных установок, с разными схемами функционирования, с разными управляющими устройствами. Их невозможно связать в одну систему управления, наблюдения и контроля. Они не способны влиять на окружающую среду, в зависимости от состояния живого организма. В мае 2023 года научный коллектив Пензенского государственного университета представил проект «Умной теплицы», за состоянием растений в которой следит искусственный интеллект. Проект находится на стадии разработки и пока не удаётся получить дополнительную информации об итогах.

1.2 Изучение потребностей фотосинтезирующих организмов

Для изготовления микропрепаратов из живых организмов необходимо создать оптимальные условия для их жизнедеятельности. Основные из них: освещение, влажность, уровни температуры, питательная среда.

При разработке системы для поддержания жизнедеятельности

организмов необходимо учесть все необходимые условия. В таблице 1 представлены оптимальные значения показателей окружающей среды для *Chlorella Vulgaris*.

Таблица 1 – Оптимальные условия окружающей среды для *Chlorella Vulgaris*

Фактор среды	Показатели диапазона нормальной жизнедеятельности	Степень зависимости
Освещение	20 часов в сутки	Высокая
Влажность	100 %	Высокая
Температура	25 ⁰ С - 38 ⁰ С	Низкая
Питательные вещества	Азотсодержащая суспензия	Высокая (+ 50%)





1.3 Исследование цветовых характеристик популяций одноклеточных водорослей

В качестве модельного образца фотосинтезирующего организма была принята одноклеточная зелёная водоросль – хлорелла (*Chlorella vulgaris*), водный раствор. Одноклеточная зелёная водоросль, относимая к отделу *Chlorophyta*. Она в большей степени подходит для исследований, как менее прихотливая, доступная для приобретения и не токсичная [2]. Исследование проводилось в прототипе закрытой системы поддержания жизнедеятельности организмов. Культура *Chlorella Vulgaris* была выращена в открытых чашках Петри. Верхнее досвечивание проводилось с помощью лампы полного светового спектра с преобладанием синего (400-500нм) и красного (600-700 нм) цветов. Температура культивирования – 25⁰С. Влажность – 50 %. Время проведения культивирования – 6 дней. В процессе фотосинтеза водоросли потребляют углекислый газ (CO₂). Содержание CO₂ в воде можно увеличить путем добавления в культуру дрожжей, что и было проведено. Обогащение суспензии проводилось азотсодержащими веществами. В качестве

экспериментальной подкормки использовался жидкий концентрат удобрений для комнатных и балконных цветов “Vito”.

Каждый этап эксперимента фиксировался путем фотографирования на камеру. Разрешение камеры 800x600 пикселей. Цветовые характеристики суспензии водорослей фиксировались ежедневно. В первый день была зафиксирована первоначальная цветовая характеристика суспензии. На второй день было отмечено, что рост замедлился, началось голодание клеток. Был добавлен азотсодержащий питательный раствор. Далее он добавлялся автоматически, для поддержания графика роста хлореллы. В результате уже на 5 день произошло заметное увеличение концентрации биомассы, которое было зафиксировано как максимальное и достаточное. Результаты проведенного опыта отражены в таблице 2.

Таблица 2 – результаты опыта по исследованию цветовых характеристик

День опыта	Усредненное по площади значение цвета	Изображение	Температура, °C
0	rgb(234,237,24)		25
1	rgb(168,199,12)		25
2	rgb(159,183,11)		25
3	rgb(142,177,90)		25
4	rgb(142,179,92)		25
5	rgb(110,144,56)		25
6	rgb(87,127,32)		25

На основе полученных данных было произведено обучение модели распознавания этапа развития фотосинтезирующего организма, согласно цветовым характеристикам популяции.

2 Разработка автоматизированной системы поддержки и контроля жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов

2.1 Алгоритм работы системы

После проведения исследования о потребностях фотосинтезирующих организмов, этапов их жизнедеятельности была разработана структурная схема проекта автоматизированной системы поддержки жизнедеятельности организмов. Схема представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общая структурная схема проекта

2.2 Реализация алгоритма работы системы

Структурная схема устройства состоит из датчиков, управляющего устройства и объектов управления (исполнительных устройств). Обратная связь между объектами управления и датчиками реализуется через алгоритм принятия решений. Блок-схема алгоритма принятия решения приведена на

рисунке 2.

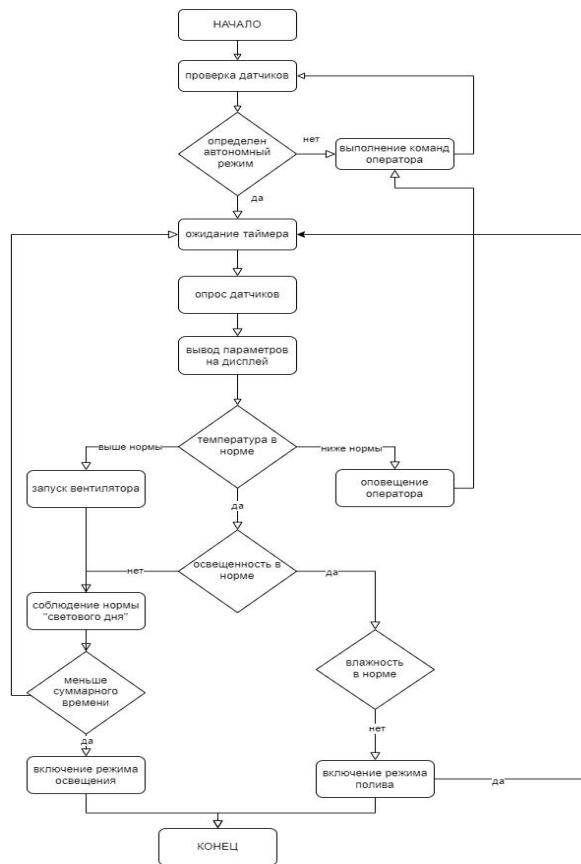


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма принятия решения

Основной программной особенностью реализации системы является возможность параллельной работы исполнительных устройств неблокирующим способом на основании применения программных таймеров собственной разработки, реализованных в качестве функций [3].

В связи с тем, что система получает большое количество информации с различных датчиков, а в закрытой системе изменение показателей взаимосвязаны, то для принятия решения о включении того или иного исполнительного устройства, необходимо использовать алгоритм оптимизации.

2.3 Выбор устройств и изготовления узлов системы

Комплекс, в соответствие с целью, ориентирован на поддержание в

течение длительного времени жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов. Для этого необходимо организовать подачу влаги, света и питательного раствора. В начале технологического этапа был проведён расчет и выбор компонентов.

Выбор насоса основывался на двух самых важных параметрах это: производительность в литрах и высота напора. Было принято решение установить мембранный вакуумный насос.

В проекте использованы лампы SMD 2835 -60d 60 светодиодов на метр (300шт на 5 метров: красных (660nm)-250шт, синих(445nm)-50шт).

Причины выбора фитоламп: экономия электроэнергии, наибольшая эффективность для растений, что представлено на рисунке 3.



Рисунок 3 - Эффективная длина световой волны

Система состоит из блока управления, комплекта датчиков для считывания различных параметров окружающей среды и исполнительных устройств (включая манипулятор). Блок управления базируется на контроллере ESP32 [4]. В настоящей модификации к контроллеру подключены 7 различных датчиков: температуры воздуха, влажности воздуха, атмосферного давления, фоторезистор, влажности грунта, датчик уровня жидкости, датчик расстояния.

Для поддержания заданных параметров температуры, влажности и освещённости был разработан и изготовлен бокс из органического стекла ГОСТ 17622-72, 4 мм, представленный на рисунке 4. В качестве среды проектирования была выбрана САПР Компас.

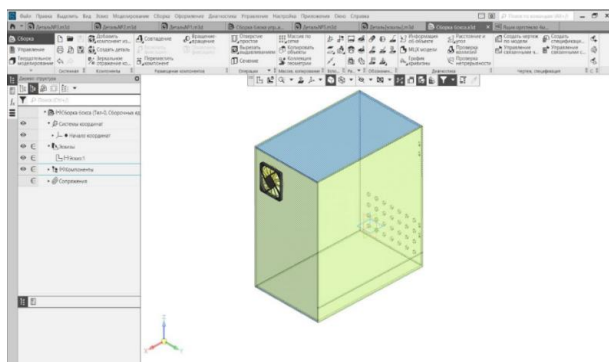


Рисунок 4 – Проектирование в САПР Компас 3D

Защитные корпуса были изготовлены на станке лазерной резки и доработаны на сверлильном станке. Технологическая карта изготовления защитного корпуса управляющего блока представлена в Приложении А. Процесс изготовления корпусов представлен на рисунке 5.



(а)

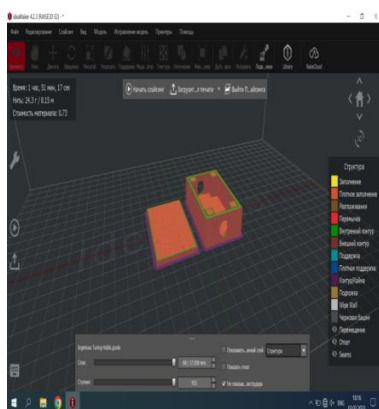


(б)

а – работа на станке лазерной резки, б – работа на сверлильном станке

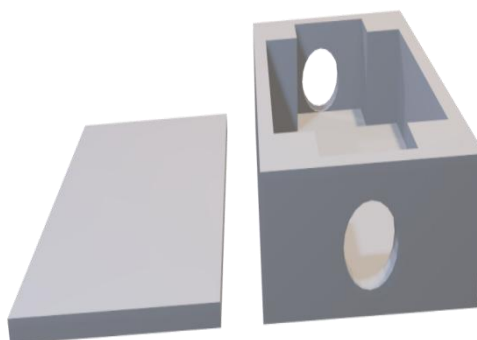
Рисунок 5 – Работа над изготовлением защитных корпусов

Для наиболее удобного соединения была разработана коробка-разветвитель шин, показанная на рисунке 6. Она позволяет надёжно защитить соединения от влажности.



(a)

а – слайсинг модели



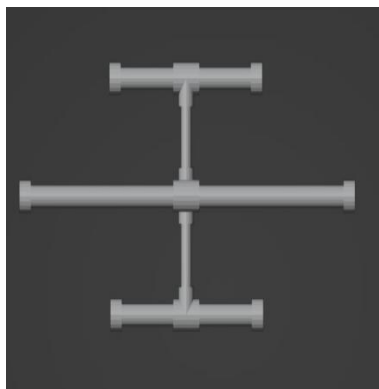
(б)

б – 3D эскиз

Рисунок 6 – Коробка-разветвитель шин разработанная в САПР

Она была изготовлена на 3D принтере. Технологическая карта изготовления представлена в Приложении Б.

Для разных способов освещения фотосинтезирующий организмов был разработан светильник со светодиодной лентой, позволяющий устанавливать разную высоту освещения. Модель стойки освещения представлена на Рисунке 7.



(a)

а – эскиз «вид сверху»,



(б)

б – 3D эскиз

Рисунок 7 – Стойка освещения

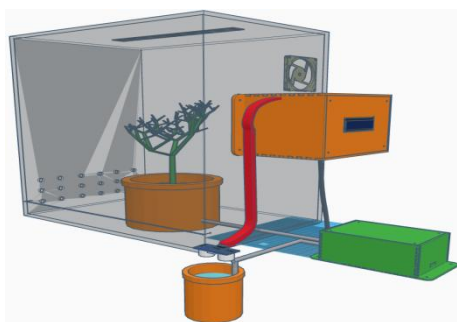
Он был разработан и изготовлен из фитингов ПВХ 20D и трубы

ПВХ20D, с технологической доработкой фитингов, для возможности сборки без применения дополнительного оборудования.

Технические характеристики выбранных компонентов и датчиков представлены в таблице В1 Приложения В, принципиальная электрическая схема приведена в Приложении Г [5].

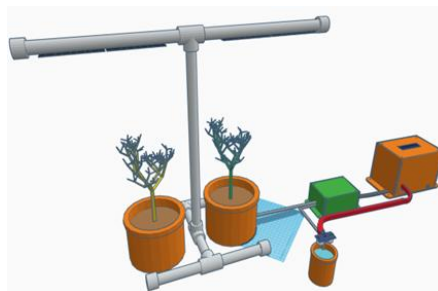
2.4 Сборка узлов системы

На базе основных узлов и компонентов были собраны 2 варианта комплектации центральных узлов, отвечающих потребностям живых организмов. Закрытая и открытая системы представлены на рисунке 8.



(a)

а – закрытая система



(б)

б – открытая система

Рисунок 8 – Варианты комплектации

В закрытой системе поддерживается стабильная окружающая среда. Она состоит из: бокса, корпуса управляющего модуля, корпуса насоса, датчиков, светодиодной ленты, вентилятора. Для подкормки живых организмов, контроля показателей их жизнеспособности в закрытый бокс было добавлено исполнительное устройство – манипулятор.

2.5 Разработка программного обеспечения

При работе манипулятора применялись современные технологии ИИ.

Обнаружение объектов при помощи ИИ — это область компьютерного зрения, которая определяет местоположение и классифицирует различные объекты на изображении. Подготовка и обучение модели проводилась во фреймворке по работе с нейросетью EDGE IMPULSE. На рисунке 9 приведён этап тестирования модели по определению объектов.



Рисунок 9 – Определение чашки Петри обученной моделью

На рисунке 10 показаны результаты обучения модели. Она использует 66 килобайт оперативной памяти и определяет расположение чашки Петри с точностью 83%. Продолжаются эксперименты для улучшения результатов.

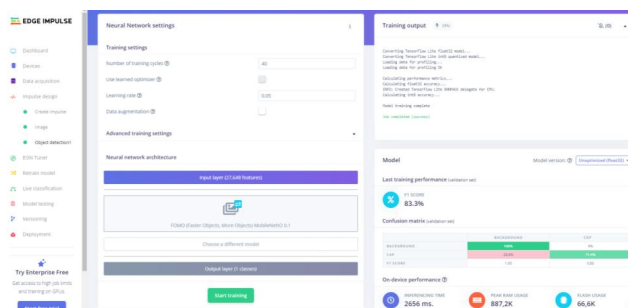


Рисунок 10 – Результаты обучения модели

Для удобной работы пользователю необходимо взаимодействовать с системой, оперативно получать информацию с датчиков. Разработан интерфейс пользователя для взаимодействия с системой по смартфону [6]. В ходе

реализации интерфейса были реализованы функции, которые направлены на мониторинг среды жизни растения, обработку и передачу данных в программной среде.

На рисунке 11 представлена диаграмма вариантов использования приложения взаимодействие между контроллером и приложением на телефоне пользователя [7].

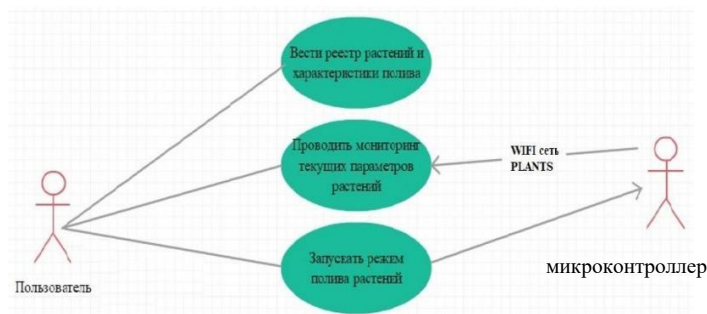


Рисунок 11 – Диаграмма вариантов использования приложения по WIFI

На рисунке 12 представлены элементы управления приложением.

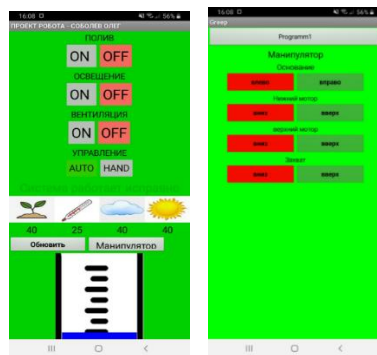


Рисунок 12 – Окно обработки данных в приложении

3 Апробация системы поддержки и контроля жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов.

Верхний температурный предел у разных организмов сильно различается. Перегрев приводит к гибели культуры, в то время как снижение температуры ниже оптимальной приводит только к замедлению процесса фотосинтеза.

Система предполагает установку в закрытом помещении, где работают люди. Температуру окружающей среды в диапазоне 18°C–26°C. В зимний период, при возможном периодическом проветривании, температура в помещении отклоняется от стандартных значений. Для таких отклонений было проведено исследование колебаний температуры и влажности внутри закрытой системы. Результаты исследования приведены на рисунке 13.

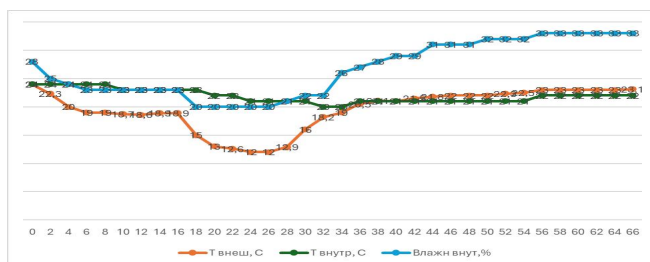


Рисунок 13 - Исследование стабильности температуры и влажности в закрытой системе.

При проведении апробации температурный диапазон внешней среды был в диапазоне 12°C– 24°C.

Изменения температуры внутри системы составило 24°C–20°C, влажности 28%–33%. Исследование проводилось при выключенном вентиляторе. Обновление воздуха происходило через боковые отверстия.

Принудительно подаваемый воздух в горизонтальном и нисходящем направлениях (при помощи вентилятора) обеспечивает снижение влажности и температуры. Воздушный поток вентилятора – 35м³/час. Объем закрытой системы $V = 0,04 \text{ м}^3$. Обновление воздуха происходит за 4 секунды, что полностью подходит для поддержания необходимой температуры внутри

закрытой системы.

Если по заданным условиям необходимо снизить уровень влажности внутри бокса, то автоматически происходит запуск вентилятора, который работает до достижения системой заданных значений. Уровень влажности возможно поддерживать в диапазоне от 25 % до 70 %. Высокий уровень влажности позволяет проводить микробиологические исследования с открытыми чашками Петри. Это дает возможность отслеживать состояние живых объектов при помощи камеры с ИИ. Тестирование показало, что в закрытой чашке на крышке образуется конденсат, что мешает производить оценку состояния живого организма.

В открытой системе в автоматическом режиме поддерживается влажность почвы, что позволяет проводить длительные эксперименты по выращиванию живых организмов без участия человека [8].

Полученные климатические условия окружающей среды (в закрытой системе) оптимально подходят для большинства фотосинтезирующих растений. Закрытый бокс подходит для работ требующих защитить образцы от внешней среды. Закрытая система с манипулятором представлена на рисунке 14 [9].



Рисунок 14 - Закрытая система

Открытая система больше подходит для выращивания мхов и лишайников, растений нетребовательных к уровню влажности воздуха. Она может быть использована при создании среды обитания для живых организмов

- дождевого червя, тихоходки. Комплекс систем представлен на рисунке 15.



Рисунок 15 – Комплекс систем

С помощью ИИ был разработан логотип проекта, который представлен на рисунке 16.



Рисунок 16 – Логотип проекта

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы над проектом были решены все поставленные задачи, проведена экономическая оценка проекта Приложение Д. Система позволяет проводить исследования со многими видами фотосинтезирующих организмов, подстраиваясь под их индивидуальные требования.

Закрытая система с искусственным интеллектом автоматически оптимизирует условия окружающей среды для поддержания жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов, анализируя их состояние. На сегодняшний день закрытая система адаптирована под выращивание хлореллы (*Chlorella Vulgaris*). Запланировано дальнейшее развитие проекта для использования в микробиологических лабораториях. Также планируется использовать систему в качестве учебного материала, для дополнительного обучения основам робототехники с использованием искусственного интеллекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Электронный ресурс:
https://aliexpress.ru/item/1005001533435830.html?sku_id=1200001650340559
(05.01.2023);
2. Левин В.С. Промысловая биология морских донных беспозвоночных и водорослей. СПб.: ОЮ-92, 1994г. 240 с;
3. Доусон М. Изучаем C++ через программирование игр. СПб.: Питер, 2020 г.352 с;
4. Нил Кэмерон Электронные проекты на основе ESP32 и ESP32. Создание приложений и устройств с поддержкой WIFI. ДМК Пресс 2022 456с;
5. Александров К. К., Кузьмин Е. Г. Электротехнические чертежи и схемы. М.: Энергоатомиздат, 1990 г. 288с.;
6. Ерохин С. Java Script для умного дома. Arduino устарел, да здравствует ESP32! // Научно-популярный журнал Амперкот- 2018 г.-N01.-с. 6–12;
7. Мельников В. П., Клейменов С. А., Петраков А. М. Информационная безопасность и защита информации: учеб. пособие. М.: Флинта, 2006. 251 с.;
8. Электронный ресурс: <https://nplus1.ru/news/2022/05/16/synechocystis-power> (09.02.2023)
9. Промышленный робот [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.

Приложение А.
Технологическая карта 1

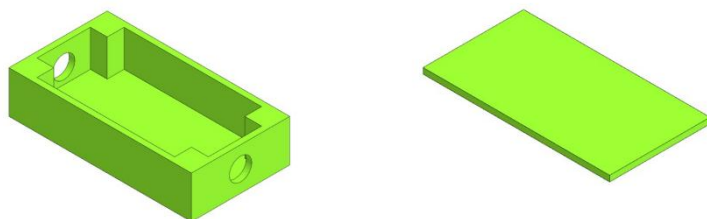


Рисунок А1 – Модель изделия спроектированная в САПР

Таблица А1 Технологическая карта 1 «Коробка-распределитель шин»

Наименование технологических операций	Наименование оборудования, материалов, инструментов, приспособлений
Создание 3D модели	T-FLEX Cad
Экспорт 3D модели в STL формат	T-FLEX Cad
Оптимизация расположения модели на рабочем поле 3d принтера	IdeaMaker
Слайсинг 3D модели	IdeaMaker
Перевод STL модели в модель для 3 D принтера	IdeaMaker
Подготовка поверхности 3D принтера к печати	Шпатель
Ожидание нагрева сопла и стола 3D принтера, проверка количества филамента в 3 D принтере.	
Запуск печати на 3D принтере	Панель управления 3D принтера
Печать детали	3D принтер
Удаление детали с рабочего поля 3 D принтера	Шпатель
Выключение 3D принтера, его охлаждение	
Чистка рабочего поля 3D принтера	Щетка пластиковая
Обработка детали перед использованием	Наждачная бумага, надфиль.

Приложение Б.
Технологическая карта 2

Таблица Б1 – Технологическая карта 2 «Защитный корпус управляющего блока»

Наименование технологических операций	Наименование оборудования, материалов, инструмента, приспособлений
Создание 3D модели	T-FLEX Cad
Создание проекций модели в SVG формате	T-FLEX Cad
Построение детали для станка лазерной резки, на основе чертежей 3 D модели.	Corel Draw
Выбор оптимального расположения детали на полотне материала	LazerWeb
Создание задач для станка лазерной резки	LazerWeb
Обрезка листового материала в соответствии с рабочим полем станка.	Усиленный резак OLFA для пластика OL-PC-L, металлическая линейка, карандаш, универсальный стол для резки.
Чистка рабочего поле станка от посторонних деталей и мусора	Щетка пластиковая
Подготовка станка лазерной резки, ожидание выхода станка на заданный температурный режим	Станок лазерной резки
Закрепления материала на поле станка	Груз для прижима материала
Пробная резка детали на тестовом материале (оргалит, картон, бумага)	Станок лазерной резки
Доработка детали согласно выявленным недостаткам	Corel Draw
Закрепления материала на поле станка	Груз для прижима материала
Проверка настроек работы станка лазерной резки с выбранным материалом, путем выреза пробной детали	Станок лазерной резки
Корректировка настроек станка лазерной резки (мощность резки, скорость резки, фокусное расстояние)	LazerWeb
Закрепления материала на поле станка	Груз для прижима материала

Окончание таблицы Б1

Итоговый разка детали	Станок лазерной резки
Перемещение головки лазера в безопасную зону, отключение лазера, выжидание достижения лазером температуры окружающей среды.	
Извлечение готовой деталей из листового материала	
Извлечения отработанного материала, очистка поля лазерного станка	Щетка пластиковая
Доработка детали	Наждачная бумага, надфиль

Приложение В. Технические характеристики системы

Таблица В1 - Технические характеристики датчиков и компонентов

Датчики и компоненты	Технические характеристики
Микроконтроллерная плата ESP 32	однокристалльная схема, включающая 32-битный микроконтроллер Tensilica Частота ядра: 80/160 МГц
Силовой модуль MOSFET IRF540 на 4 транзистора	Модуль 4-х полевых транзисторов IRF540 предназначен для управления 4 независимыми нагрузками с большим током. Для разделения цепей управления и нагрузки каждый канал модуля оборудован оптопарой.
Цифровой индикатор HJ1602A 16x2 с I2C	Модуль 16-сегментного 2-х строчного цифрового дисплея, с драйвером I2C HJ1602A 16x2 Рабочее напряжение: 3.3 - 5.5В;
Преобразователь PCF8591 AD/DA	Модуль АЦП/ЦАП, построенный на микросхеме PCF8591. Конвертер имеет 4 аналоговых входа (АЦП, он же ADC), 1 аналоговый выход (ЦАП, он же DAC), разрешение каждого входа/выхода 8 бит. Управляется по шине I2C с помощью
Камера	AI-Thinker ESP32-CAM представляет собой DIP печатную плату с размерами 27*40.5*4.5. На ней стационарно крепится микроконтроллер ESP32-S и камера OV2640 2МП 1600x1200 с размером объектива 1/4
Компоненты манипулятора	Коллекторные моторы — электромоторы, используемые в роботостроении. Скорость вращения мотора зависит от силы тока, которая на него поступает. Для вращения оси двигателя в противоположном направлении достаточно подключить контакты от источника питания к двигателю наоборот. Характеристики: Питание: 5 В; Рабочий ток (5В): 500мА; Скорость вращения 5000 об/мин Мотор в сборе с редуктором. Используется понижающий редуктор 1:90

Приложение Г.

Электрическая принципиальная схема устройства

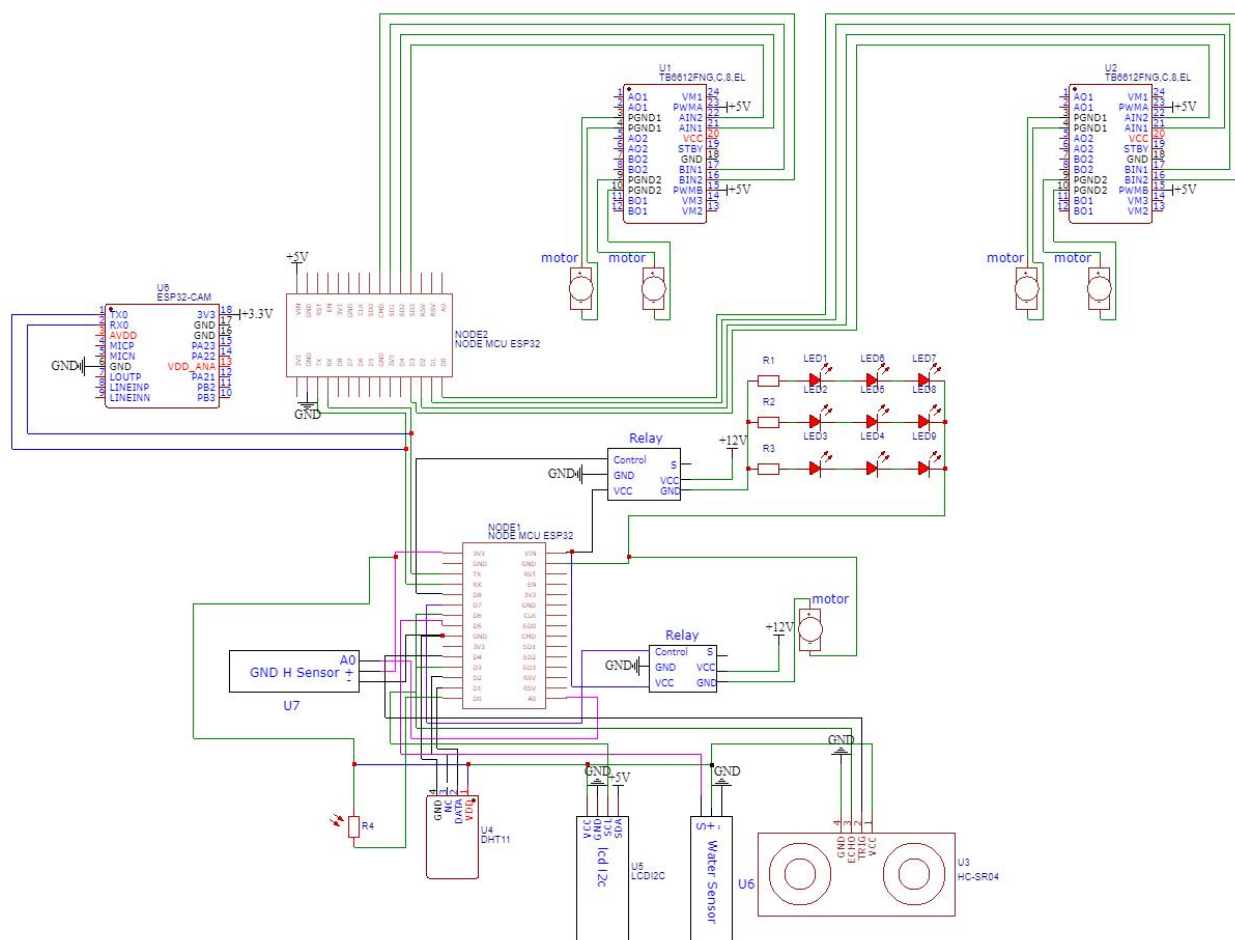


Рисунок Г1 – Электрическая принципиальная схема

Приложение Д. Экономическая оценка

Таблица Д1– Расчёт себестоимости материалов системы

Комплектующие	Кол-во	Цена(руб.) за шт.	Общая стоимость (руб.)
Микроконтроллер ESP 32	2	360	1600
Плата расширения	1	150	150
Силовой модуль MOSFET IRF540 на 4 транзистора	1	220	220
USB разъем	1	25	25
Монитор HJ1602A 16x2 с I2C	1	290	290
Преобразователь PCF8591 AD/DA конвертер	1	220	220
Модуль датчика температуры, влажности и давления на чипах АНТ20+BMP280 с интерфейсом I2C	1	230	230
Модуль датчика влажности почвы FC-28	1	65	65
Датчик уровня воды	1	65	65
Ультразвуковой датчик расстояния US-100	1	390	390
Лента светодиодная	1x 1 м	263	263
Мембранный насос 385	1	328	328
Оргстекло на короб	1 м2	750	1100
Пластик на управляющий блок	1 м2	800	800
Шланги	2м	700	700
Наконечники для полива	4	50	200
Провода набор	5м	300	300
Пластик для 3d-принтера, "Star Plast", Nylon	1,75мм,	1600	1600
Труба PPR 20D	2.1 м	280	280
Заглушка PPR 20D	6 шт	16	96
Уголок PPR 20D	4 шт	25	100

Окончание таблицы Д1

	Наждачная бумага	20листов	20	400
	Мотор-редуктор	4 шт	120	480
	Камера	1 шт	760	760
	ИТОГО МАТЕРИАЛОВ			10662

Таблица Д2 – расход электроэнергии при изготовлении системы

Устройство	Мощность (кВт)	Время работы(ч)	Электроэнергия (цена руб. за кВт/ч)	Стоимость (руб)
3D принтер	1	48	5,93	284,64
Станок лазерной резки	1,5	3	5,93	26,69
Паяльная станция	0,06	10	5,93	3,56
Сверлильный станок	2	2	5,93	23,72
Освещение	0.12X6	150	5,93	890
ИТОГО расход электроэнергии:				1228,61

Общая стоимость проекта составляет: 11890,61 рублей.