

Всероссийский конкурс исследовательских и проектных работ
школьников «Высший пилотаж»

РОБОТ ДЛЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ЛАБИРИНТОВ MICROMOUSE

Проект

Направление «*Технические и инженерные науки*»

Автор: Барболин Тимур Александрович,
учащийся 9 класса,
ГБОУ Школа №2009

2025 г.

АННОТАЦИЯ

Пояснительная записка 45 с, 54 рис, 4 табл, 20 ист, 5 приложений.

MICROMOUSE, СОРЕВНОВАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА, ПРОГРАММИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ.

Цель работы – создание автономного робота для прохождения лабиринтов Micromouse для участия в соревнованиях по регламенту ежегодного Международного фестиваля робототехники «РобоФинист».

В процессе работы были проведены исследования спортивных роботов, участвовавших на фестивале «РобоФинист», был проведен анализ и подбор компонентов, изучен алгоритм для прохождения лабиринтов Flood Fill.

В результате работы был создан робот, способный выступать на Международном фестивале робототехники «РобоФинист» в категории «Лабиринт Micromouse».

Предполагаемые направления использования робота: участие в соревнованиях роботов Micromouse.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о проекте применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Bluetooth модуль – базовый набор микросхем, который объединяет функцию Bluetooth и может использоваться для передачи данных по беспроводной сети

C-rate – единица измерения значения тока, которая используется для оценки и/или определения ожидаемого времени эффективной работы аккумулятора

Micromouse – соревнование, где роботизированные мыши соревнуются в прохождении лабиринта размером 16 на 16

Open source – свободно распространяемое программное обеспечение с открытым исходным кодом

Габаритная модель – копия устройства, соответствующая оригиналу по размерам (габаритам)

Гироскоп – устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела

Драйвер – электронное устройство, предназначенное для преобразования электрических сигналов, целью которого является управление чем-либо

Фототранзистор – оптоэлектронный полупроводниковый прибор, вариант биполярного транзистора

Шип-паз соединение – способ соединения деталей через выемки и углубления

Энкодер – измерительный преобразователь угла поворота вращающегося объекта

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчете о проекте применяют следующие термины с соответствующими определениями:

3D – 3-dimensional (3-мерный)

САПР – Система автоматизированного проектирования

NTF – New Technology Foundation

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers (Институт инженеров электротехники и электроники)

КОР – Кубок образовательной робототехники

ИК – Инфракрасный

ADC – Analog-to-digital converter (Аналого-цифровой преобразователь)

USB – Universal Serial Bus (Универсальная последовательная шина)

I2C – Inter-Integrated Circuit (Последовательная асимметричная шина для связи между интегральными схемами внутри электронных приборов)

ШИМ – Широтно-импульсная модуляция

АЦП – Аналого-цифровой преобразователь

JST – Japan Solderless Terminal (Японский беспаячный терминал)

DIP – Dual in-line package (Двухрядный корпус)

PLA – Polylactic Acid (Полилактид)

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Универсальный асинхронный приёмопередатчик)

TX – Transmit

RX – Receive

ГОСТ – Государственный общесоюзный стандарт

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ПОИСКОВО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЭТАП.....	9
1.1 Изучение регламента соревнований «Лабиринт Micromouse».....	9
1.2 Анализ аналогов.....	9
1.2.1 Анализ аналогов прошлых лет.....	9
1.2.2 Анализ мировых аналогов.....	10
1.2.3 Результат анализа аналогов.....	10
1.3 Поиск возможных идей и оптимальных решений.....	11
1.3.1 Электронная составляющая.....	11
1.3.2 Программный код.....	11
1.4 Теоретические расчеты.....	11
1.4.1 Размеры робота.....	11
1.4.2 Резисторы датчиков расстояния.....	13
1.5 Формирование технического задания.....	14
2 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП.....	16
2.1 Проектирование эскиза устройства.....	16
2.2 Подбор электронных модулей.....	16
2.2.1 Датчики расстояния.....	16
2.2.2 Моторы.....	17
2.2.2.1 Энкодеры моторов.....	18
2.2.3 Драйвер моторов.....	18
2.2.4. Гироскоп.....	19
2.2.5 Управляющий микроконтроллер.....	19
2.2.6 Аккумулятор.....	20
2.2.7 Преобразователи напряжения.....	20
2.2.8 Индикация.....	21
2.3 Проектирование 3D моделей.....	21
2.3.1 Выбор САПР для проектирования моделей.....	21
2.3.2 Поиск 3D моделей необходимых компонентов.....	21
2.3.3 Проектирование габаритной модели робота.....	21

2.3.4 Проектирование креплений моторов.....	22
2.3.5 Проектирование дисков.....	23
2.3.6 Проектирование формы для отливки шин-резинок.....	23
2.3.7 Проектирование опросы.....	24
2.4 Электронная часть и ее составляющие.....	24
2.4.1 Выбор САПР для проектирование электронной части.....	24
2.4.2 Проектирование принципиальной схемы устройства.....	24
2.4.2.1 Схемы различных компонентов.....	24
2.4.3 Разработка печатной платы.....	25
2.4.3.4 Электропитание робота.....	26
2.4.5 Итоговая версия платы.....	26
2.5 Изготовление деталей робота.....	27
2.6 Отливка шин-резинок.....	28
2.7 Сборка устройства.....	28
2.8 Разработка программного кода.....	29
2.8.1 Алгоритм прохождения.....	29
2.8.2 Перемещение на основе полученных данных.....	32
2.8.3 Передача данных.....	33
2.9 Модификации устройства.....	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	34
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	36
Приложение А.....	38
Приложение Б.....	39
Приложение В.....	42
Приложение Г.....	43
Приложение Д.....	44

ВВЕДЕНИЕ

Проблема

В соревнованиях Micromouse существуют строгие ограничения по размерам робота при их высокой производительности. Требуется использовать элементы навигации роботов, чтобы достичь центра лабиринта, с учетом того что все элементы лабиринта одинаковые. Проблема прохождения лабиринта состоит из конструкторской и программной частей.

Цель проекта

Цель проекта – создание автономного робота для прохождения лабиринтов Micromouse для участия в соревнованиях по регламенту ежегодного международного фестиваля робототехники «РобоФинист».

Задачи проекта

1. Ознакомиться с регламентов соревнований Micromouse;
2. Изучить аналоги прошлых лет;
3. Изучить мировые аналоги;
4. Осуществить поиск возможных идей и решений;
5. Разработать концепт устройства;
6. Выбрать материалы;
7. Подобрать компоненты для электронной части;
8. Создать габаритную 3D модель устройства;
9. Спроектировать печатную плату в САПР;
10. Изготовить колеса робота (шины-резинки, диски);
11. Собрать устройство;
12. Разработать алгоритм прохождения;
13. Запрограммировать устройство;
14. Провести тестовые испытания;

Актуальность

Создание робота для прохождения лабиринта Micromouse — это сложное задание из программной и аппаратной частей, которое способствует развитию навыков интеграции и инновационного проектирования. Решения, применяемые в роботах, очень высокотехнологичны и могут быть использованы в промышленности. Данный робот создается для личного участия в фестивале робототехники «РобоФинист» категории «Лабиринт Micromouse».

Новизна

Новизна проекта заключается в том, что данный робот основан на микроконтроллере RP2040, что является нестандартным решением для соревнований Micromouse.

Ожидаемые результаты

Результатом проекта должен стать робот для прохождения стандартных лабиринтов Micromouse, который соответствует регламенту ежегодного Международного фестиваля робототехники «РобоФинист» категории «Лабиринт Micromouse». Устройство должно получиться определенных размеров для прохождения диагональных участков, иметь 6 датчиков расстояния, быть основано на микроконтроллере RP2040, иметь возможность отключения питания без отсоединения аккумулятора от робота. Предполагается, что максимальная скорость робота будет до 1,5 м/с.

Дорожная карта

Разработка данного проекта началась с создания подробной дорожной карты для данного проекта в соответствии с временными рамками конкурса. Дорожная карта представлена на рисунке 1.

1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя
Октябрь				Ноябрь				Декабрь				Январь				Февраль			
	Создание идеи проекта	Разработать габаритную 3D модель		Выбор дизайна презентации, подбор эл. компонентов		Разработка платы в KiCad		Производство плат		Сборка робота			Загрузить материалы			Запасное время		Презентация проекта	
				Разработка принципиальной схемы				Отливка корпуса	Найти лабиринт	Написание документации		Консультация доц.	Отладка робота						
								Подготовка презентации	Перевозка лабиринта в школу	Написание кода									

Рисунок 1 - Дорожная карта проекта

1 ПОИСКОВО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЭТАП

1.1 Изучение регламента соревнований «Лабиринт Micromouse»

Соревнования Micromouse проводятся на ежегодном Международном фестивале робототехники «РобоФинист» [1]. Во время создания робота шло ориентирование на регламент [2] данных соревнований от «РобоФиниста», так как эти соревнования имеют международный статус и проводятся на территории Российской Федерации [3]. Данный регламент в основных аспектах повторяет регламенты прочих международных соревнований, проводимых на территориях Российской Федерации, таких как: NTF [4] (крупнейшее соревнование роботов Micromouse в мире, проводимое в Японии), UKMARS [5] (крупнейшее соревнование роботов Micromouse в Великобритании), IEEE Micromouse [6] (крупнейшее соревнование роботов Micromouse в Соединенных Штатах Америки).

Краткая выписка требований к роботу по регламенту фестиваля «РобоФинист» представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Требования к роботу

№	Критери	Требования
1.	Ширина	Не более 168 мм.
2.	Длина	Не более 168 мм.
3.	Высота	Без ограничений
4.	Масса	Без ограничений
5.	Автономность	Полная автономность
6.	Запреты	Преодоление стенок, полёт, прыжки

В регламенте также прописаны требования к лабиринту. Основные требования к лабиринту представлены в приложении А.

1.2 Анализ аналогов

1.2.1 Анализ аналогов прошлых лет

Робот создавался для фестиваля «РобоФинист», поэтому рассматривались аналоги, принимавшие участие в предыдущие года [7]. Аналоги прошлых лет представлены в приложении Б.

Для анализа аналогов прошлых лет были взяты лучшие роботы, так как прочие имеют менее надежную сборку с непродуманными компонентами. Примеры роботов с ненадежной сборкой представлены на рисунках 2 - 3.

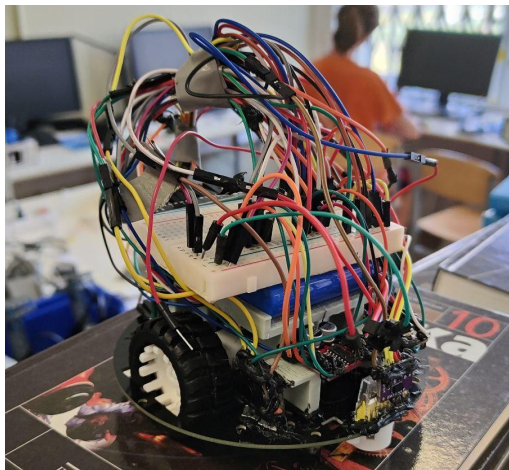


Рисунок 2 - Робот «NotMouse»

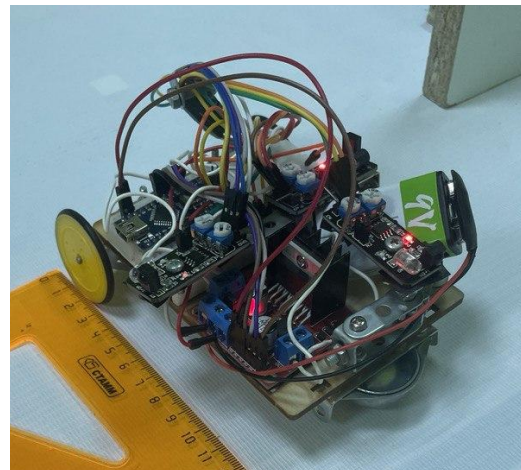


Рисунок 3 - Робот «ЭлектробОТ»

Некоторые роботы, принимавшие участие в фестивале, были собраны из деталей образовательных наборов, характеристики которых практически не подходят под данный вид соревнований.

1.2.2 Анализ мировых аналогов

Роботы, выступающие на мировой арене Micromouse, гораздо более технологичные, так как на территории России данные соревнования по регламенту «РобоФиниста» проводятся только с 2024 года [2] (с 2023 до 2024 года по регламенту КОР [8]), а в мире соревнования берут свое начало с 1970 года [9]. Мировые аналоги представлены в приложении Б.

1.2.3 Результат анализа аналогов

Проанализировав представленные аналоги (прошлых лет мировые), были сделаны выводы:

Требуется провести расчеты и создать робота определенных размеров для прохождения диагональных участков и разворотов внутри ячейки. Конструкция робота должна быть выполнена на основе одной печатной платы для надежности и компактности. Стоит использовать сенсоры на основе фототранзистора TEFT4300 и ИК-светодиода SFH4545, которые считаются эталоном [10] в данных соревнованиях. Четырехколесная компоновка робота подходит для более быстрых и точных перемещений, использования вакуумных присосок; в роботе будет применена двухколесная компоновка, так как подобный робот разрабатывается мною впервые, и в первой версии (текущей) не планируется использование вакуумной присоски. Также в данной версии (текущей) планируется использовать моторы уже со встроенными энкодерами. В роботе должна присутствовать индикация (светодиоды, пьезоэлемент, Bluetooth модуль съемный). Стоит выбирать контроллер с достаточным

количеством ADC пинов для считывания показаний датчиков расстояния и энкодеров. Аккумулятор на 7.4В наиболее оптимален при использовании двух преобразователей: повышающего и понижающего. Так как контроллеры STM32 имеют специфическое программирование, то в первой (текущей) версии будет использован контроллер отличный от STM32.

1.3 Поиск возможных идей и оптимальных решений

Исходя из анализа аналогов (прошлых лет и мировых аналогов) были выявлены положительные идеи, своеобразные версии которых в дальнейшем будет использованы в конструкции моего робота Micromouse.

1.3.1 Электронная составляющая

Таковыми идеями в электронной составляющей являются:

- Датчики расстояния на основе фототранзистора TEFT4300 и ИК-светодиода SFH4545;
- Использование аккумулятора на 7,4В. с использованием двух преобразователей;
- Моторы со встроенными энкодерами;
- Гироскоп;
- Контроллер с достаточным количеством ADC пинов или с использованием мультиплексора для считывания показаний датчиков расстояния и энкодеров;
- Индикация в виде пьезоэлемента и светодиодов.

1.3.2 Программный код

Таковыми идеями в программной составляющей являются:

- Передача отладочной информации через Bluetooth модуль;
- Алгоритм прохождения flood fill;
- Использование данных гироскопа для уточнения показаний энкодеров.

1.4 Теоретические расчеты

Перед созданием робота требовалось провести теоретические расчеты размеров робота для прохождения диагоналей и разворотов внутри клетки, резисторов датчиков расстояния.

1.4.1 Размеры робота

Размеры робота не должны превышать определенных значений для прохождения диагональных участков и разворотов в пределах одной ячейки:

1. Ширина робота должна быть меньше, чем ширина диагонального коридора, в котором может перемещаться робот;
2. Длина робота должна быть меньше стороны квадрата, вписанного во вписанную окружность в ячейку лабиринта.

Таким образом, ширина робота будет равна разности перпендикуляра, опущенного от линии, соединяющей углы столбиков одной стороны коридора, до линии, соединяющей углы столбиков другого коридора, и удвоенного произведения допустимого зазора с одной из сторон робота.

Максимальная длина робота будет равна разности между стороной квадрата, вписанного во вписанную окружность в ячейку лабиринта и удвоенного произведения допустимого зазора с одной из сторон робота.

Расчеты максимальной ширины и длины робота представлены на рисунке 4.

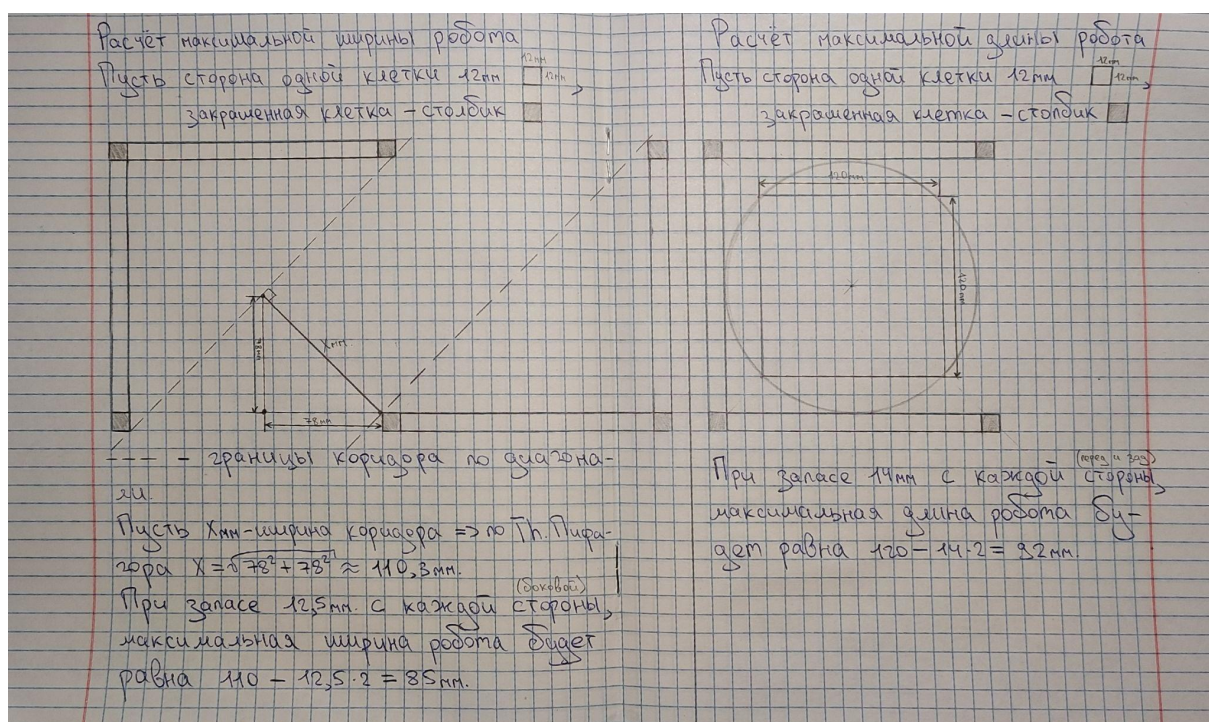


Рисунок 4 - Расчеты максимальной ширины и длины робота

По результатам расчетов, максимальная ширина робота при зазоре $12,5 \text{ мм}$. составляет 85 мм ., максимальная длина при зазоре 14 мм . составляет 92 мм . При этом расстояние от оси моторов до конца робота должно быть не более 60 мм .

1.4.2 Резисторы датчиков расстояния

Так как в схеме датчиков расстояния был использован транзистор для открытия и закрытия излучателя, требовалось рассчитать номинал добавочного и базового резисторов. Будут использованы следующие формулы для расчета номиналов:

$$R_{доб.} = U_{доб.} / I_{треб.} \quad (1)$$

$$R_{б.} = U_{б-з.} / I_{б.} \quad (2)$$

$R_{доб.}$ – номинал добавочного резистора;

$U_{доб.}$ – напряжение на добавочном резисторе;

$I_{треб.}$ – требуемая сила тока на элементе;

$R_{б.}$ – номинал базового резистора;

$U_{б-з.}$ – падение напряжения на сопротивлении;

$I_{б.}$ – ток на базовом резисторе.

Расчеты резисторов датчика расстояния представлены на рисунке 5.

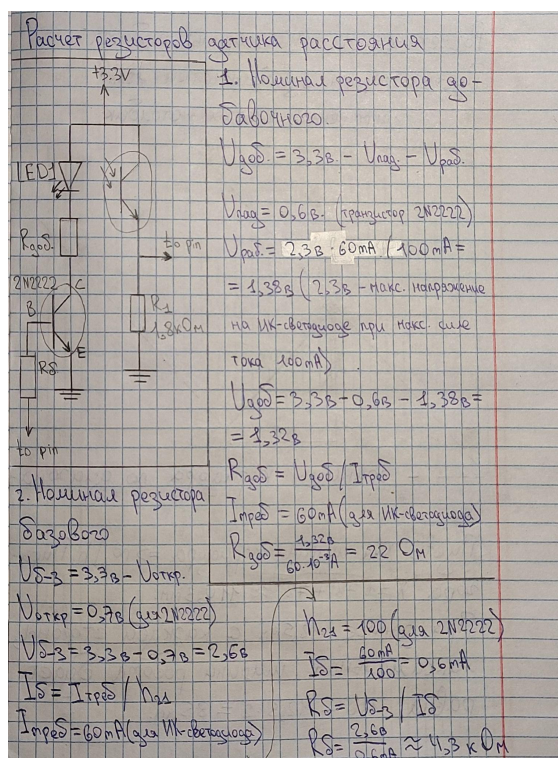


Рисунок 5 - Расчет резисторов датчика расстояния

Из расчетов следует, что номинал добавочного резистора равняется 22 Ома, базового резистора приблизительно 4300 Ом.

1.5 Формирование технического задания

1. Робот должен удовлетворять требованиям, указанным в регламенте категории «Лабиринт Micromouse» ежегодного международного фестиваля робототехники «РобоФинист». Робот должен автономно исследовать лабиринт, размер которого от 5 до 16 квадратных ячеек, внешний размер одной ячейки 192 миллиметров, внутренний размер ячейки 168 миллиметров. После чего робот должен на максимально возможной скорости переместиться от угловой ячейки, зоны старта, до центральной ячейки или нескольких ячеек, зоны финиша. Робот должен преодолевать диагональные коридоры по прямой траектории, выполнять танковые развороты в тупиковых ячейках, ограниченных тремя стенками, на 180 градусов в пределах данной ячейки, совершать скоростные повороты по дуге.

2. Геометрические размеры робота не должны превышать размеров прямоугольника с размерами 85 на 92 миллиметра (Ширина x Длина). Высота датчиков расстояния над поверхностью лабиринта не более 50 миллиметров.

3. Основа робота должна представлять одну печатную плату со всеми необходимыми компонентами на ней. Помимо электронных компонентов, к плате должны крепиться крепления для моторов, две опоры – к задней и передней части.

4. На роботе должны быть закреплены два мотора, расположенных симметрично относительно центральной продольной оси. На моторах должны быть закреплены колеса, составленные из диска и шины.

5. Робот должен иметь 6 датчиков расстояния на основе фототранзистора TEFT4300 и ИК-светодиода SFH4545. Датчики расстояния должны быть расположены на передней части робота, направлены на стены лабиринта под углами 0° (1-ый датчик), 45° (2-ой датчик), 90° (3-ий датчик), 90° (4-ый датчик), 125° (5-ый датчик), 180° (6-ой датчик). Датчики расстояния должны быть расположены симметрично относительно центральной продольной оси. Робот должен быть оборудован двумя магнитными энкодерами на каждом моторе по одному. Управление моторами должно осуществляться при помощи двух одноканальных драйверов. На роботе должны быть установлены три кнопки: перезапуск (reset), загрузка прошивки (boot), старт (start).

6. Должна быть создана печатная плата для робота. На плате должны размещаться все необходимые компоненты: датчики расстояния, мультиплексор (опционально), контроллер, моторы с энкодерами, драйвера, гироскоп, Bluetooth модуль, индикационные светодиоды, пьезоэлемент, повышающий преобразователь напряжения с 7,4 вольт до 12 вольт, понижающий преобразователь напряжения с 7,4 вольт до 3,3 вольт, тумблер включения, DIP-переключатель для отключения линий питания. Преобразователи напряжения, переключатели питания и кнопки должны быть расположены на задней части платы, за моторами. Должна быть

возможность подключения кабеля USB Type-C для прошивки программы робота. Робот должен управляться контроллером, отличным от STM32, с достаточным количеством пинов для работы с датчиками расстояния и устройствами или использовать мультиплексор. Должна быть предусмотрена возможность снятия моторов, физического отсоединения Bluetooth модуля и гироскопа от робота.

7. В конструкцию должны быть внедрены PLS разъемы для отсоединений модулей (гироскоп, Bluetooth модуль), JST RCY разъем для подключения аккумулятора, JST EH разъемы для подключения моторов.

8. Плата робота должна быть выполнена в зеленом цвете с белой шелкографией, поясняющей монтаж компонентов. Печатные детали, как крепления для моторов, опоры и диски робота, должны быть выполнены в белом цвете. Шины должны быть отлиты из силикона белого цвета.

2 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП

2.1 Проектирование эскиза устройства

Из расчетов следует, что ось моторов должна быть не дальше 60 мм. от конца проекции робота. На эскизе также было определено схематичное расположение датчиков расстояния. При составлении эскиза робота был взят масштаб в 1 клетке 7,67 сантиметра. Эскиз робота представлен на рисунке 6.

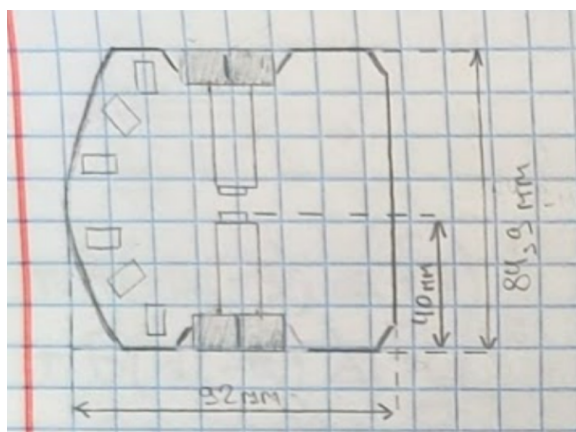


Рисунок 6 - Эскиз робота

2.2 Подбор электронных модулей

2.2.1 Датчики расстояния

Исходя из анализа аналогов, было решено, что будут использованы датчики расстояния на основе фототранзистора TEFT4300 и ИК-светодиода SFH4545. Прочие датчики, большинство которых работают через протокол I2C, имеют задержку в считывании. Самый быстрый способ получения данных – обновление датчиков на частоте процессора, что получается только при использовании аналоговых датчиков. Подобные датчики выпускает компания Pololu, но данных датчиков на территории России не имеется. Датчик от Pololu представлены на рисунке 7.

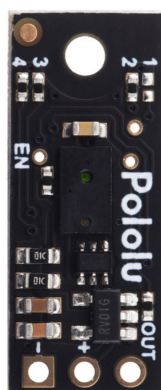


Рисунок 7 - Датчик инфракрасный Pololu 1-50см

2.2.2 Моторы

К моторам имеются два основных требования: определенные размеры, исходя из эскиза, скорость.

При диаметре колеса 3 сантиметра требуется скорость выше, чем у победителя фестиваля «РобоФинист» прошлого года (2024), робота «Радабокс Micromouse» [11]. Скорость его моторов составляла 500 оборотов в минуту, поэтому потребуются моторы со скоростью в два раза выше – 1000 оборотов в минуту. Таким образом скорость будет равна $\pi * 3 \text{ см} * 1000 \text{ об / мин} = 9400 \text{ см / мин} \approx 1,57 \text{ м / с}$, что рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{робот}} = S * U_{\text{мотор}} \quad (3)$$

$U_{\text{робот}}$ – скорость робота;

S – длина окружности колеса;

$U_{\text{мотор}}$ – скорость мотора (об / мин).

Стоял выбор между типом моторов: бесколлекторные, коллекторные или шаговые.

Коллекторные моторы легко управляются с помощью ШИМ сигнала без необходимости сложных драйверов или контроллеров, что снижает сложность схемы управления и является преимуществом над шаговыми моторами. Также шаговые моторы оказались менее подходящими из-за их большой массы.

Бесколлекторные моторы были отклонены из-за их большей сложности в управлении, чем коллекторные, и необходимости сложных контроллеров.

В качестве моторов были выбраны моторы N20 со встроенными энкодерами. Скорость моторов составляет 1000 об/мин. Мотор N20 представлен на рисунке 8.



Рисунок 8 - Мотор N20

2.2.2.1 Энкодеры моторов

На валу моторов, до редуктора с передаточным отношением 1 : 100, изначально установлены магнитные энкодеры с характеристикой 7 импульсов на оборот. Расчет минимального пройденного расстояния, которое сможет засечь энкодер, осуществляется по формуле:

$$D_{\text{к.}} * \pi / (pulse / GR) = Cd. \quad (4)$$

$D_{\text{к.}}$ - диаметр колеса;

$pulse$ - количество импульсов энкодера до редуктора

GR - передаточное отношение редуктора

Таким образом, минимальное пройденное расстояние, которое будет обнаружено энкодером, равно $30 * 3,14 / (7 / 0,01) \approx 0,135$ мм., что по сравнению с клеткой лабиринта, и при учете дополнительных средств локализации, как гироскоп и датчики расстояния, допустимо.

2.2.3 Драйвер моторов

Для моторов N20 с оптимальным рабочим напряжением 12В и силой тока 0,6А, которые были выбраны для этого проекта, требуются драйвер, который будет подходить под данные характеристики и иметь габариты посадочного места HTSOP-8, так как данное посадочное место имеет габариты приблизительно $4,9 \times 8,0$ мм., и существует множество драйверов в подобном корпусе.

Были выбраны драйверы DRV8870 из-за их универсальности и простого принципа работы. Драйверы DRV8870 представлен на рисунке 9. Схема драйвера DRV8870 представлена на рисунке 10.

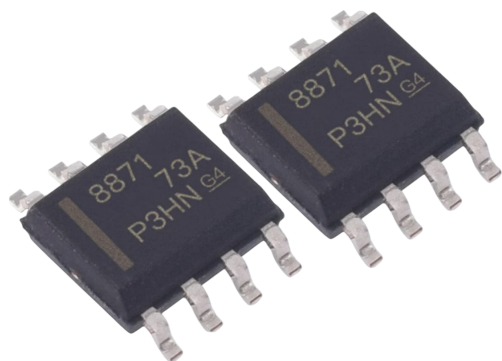


Рисунок 9 - Драйверы DRV8870

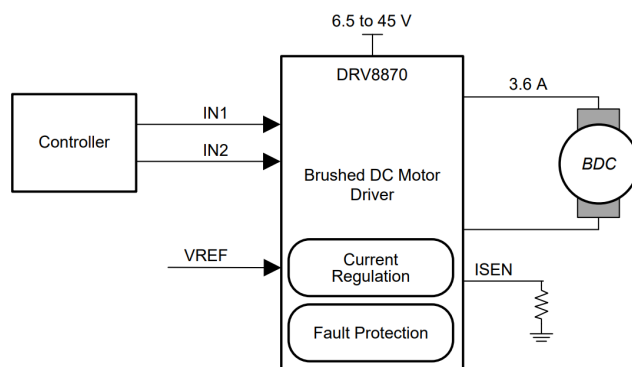


Рисунок 10 - Схема драйвера DRV8870

2.2.4. Гироскоп

К гироскопу не было предъявлено особых требований, так как скорость робота по теоретическим расчетам составит около 1,5 м/с, что можно измерить достаточно простыми моделями. Таким гироскопом послужил MPU6050, который является трехосевым датчиком положения в пространстве. Датчик MPU6050 представлен на рисунке 11.

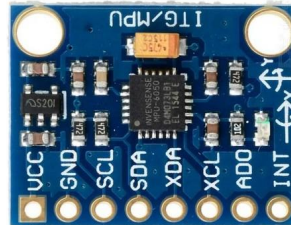
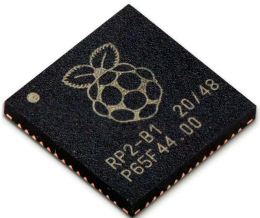
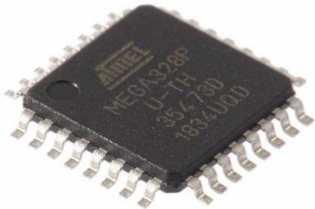


Рисунок 11 - Датчик MPU6050

2.2.5 Управляющий микроконтроллер

К микроконтроллеру было предъявлено требование, что он должен быть отличным от STM32, так как он имеет специфическое программирование. Для первой (текущей) версии робота рассматривались следующие микроконтроллеры. Микроконтроллеры, рассматриваемые для использования, представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Рассматриваемые микроконтроллеры для использования

№	Фото и название	Характеристики
1.	 RP2040	Количество пинов: 30 штук; Тактовая частота: 133 МГц; АЦП: 4 пина; Объем памяти: 16 Мб; Напряжение питания: 1,8 ... 3,3 В.
2.	 Atmega328P	Количество пинов: 23 штуки; Тактовая частота: 20 МГц; АЦП: 8 пинов; Объем памяти: 32 Кб; Напряжение питания: 1,8 ... 5,5 В.

Продолжение таблицы 2

 ESP-WROOM-32	Количество пинов: 37 штук; Тактовая частота: 240 МГц; АЦП: 15 пинов; Объем памяти: 4 Мб; Напряжение питания: 1,8 ... 3,3 В. Особенность: поддержка Bluetooth
---	--

На основе характеристик контроллеров был выбран RP2040, обладающий частотой 133 МГц и имеющий 30 пинов. Так как пинов АЦП 4 штуки, будет использован мультиплексор.

2.2.6 Аккумулятор

Для отладки и тестовых испытаний требовалось подобрать аккумулятор, который мог питать робота в течение получаса. Основные системы робота потребляют в сумме 1,92 ампера: $0,6 * 2$ – моторы, $0,12 * 6$ – ИК-светодиоды и прочие системы, как контроллер или индикационные элементы, потребляющие ток, исчисляемый в микроамперах, которым можно пренебречь. Таким образом, емкость аккумулятора должна быть равна $0,5 \text{ часа} * 1,92 \text{ ампера} \approx 1 \text{ ампер-час}$, а C-rate минимум $1,92 \text{ ампера} / 1 \text{ ампер-час} \approx 2 \text{ C}$. Под данные характеристики подходит аккумулятор 703048, который отличается от прочих на 1 ампер-час тем, что имеет размер 48 x 30 x 7 (Длина x Ширина x Высота). В последующем аккумулятор будет заменен на более компактный с меньшим временем работы. Аккумулятор оборудован JST разъемом для удобства подключения. Аккумулятор 703048 представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 - Аккумулятор 703048

2.2.7 Преобразователи напряжения

В качестве понижающего преобразователя напряжения был выбран импульсный стабилизатор LM2575HVT-3.3, который принимает до 60В и выдает 3,3В с силой тока до 3А.

В качестве повышающего преобразователя напряжения был выбран преобразователь MT3608, выдающий до 28В с силой тока до 2А.

2.2.8 Индикация

Мировые аналоги используют обширную индикацию, как дисплеи, светодиоды, пьезоэлементы и Bluetooth модули.

В качестве индикации для робота были выбраны 6 светодиодов, отображающих состояние каждого датчика расстояния. Также был выбран пьезоэлемент с диаметром 6 миллиметров, а также выводной Bluetooth модуль HC-05.

2.3 Проектирование 3D моделей

2.3.1 Выбор САПР для проектирования моделей

Для проектирования 3D моделей, а именно: габаритной робота, дисков, форм для отливки шин-резинок, было решено использовать САПР Autodesk Fusion, так как она предлагает удобные инструменты для создания объектов и загрузку сторонних моделей. Опыт работы с данной системой является ключевым фактором выбора, который поможет ускорить процесс проектирования. Также использовались дополнительные материалы для разработки моделей [12][13].

2.3.2 Поиск 3D моделей необходимых компонентов

Необходимые модели для создания габаритной 3D модели устройства были взяты из свободных источников в сети интернет [14], так как их проектирование вручную в рамках проекта слишком трудоемкое и неоправданное. Данными моделями являются моторы с энкодером.

2.3.3 Проектирование габаритной модели робота

В габаритной модели требовалось определить точные размеры платы, расположение крепежных отверстий волокуш и креплений моторов, чтобы перенести их в САПР для проектирования печатных плат. Для большей точности различные элементы на модели были составлены в сборку. Габаритная модель в сборке представлена на рисунке 13. Размеры платы и расположение отверстий в САПР представлены на рисунке 14.

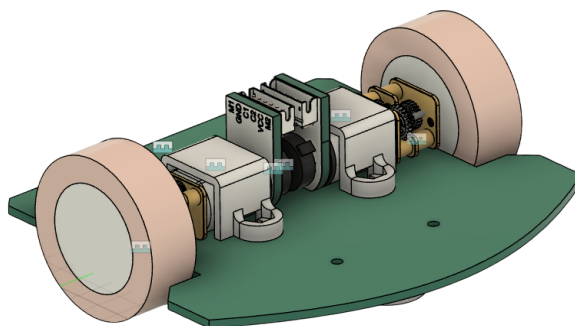


Рисунок 13 - Габаритная модель в сборке

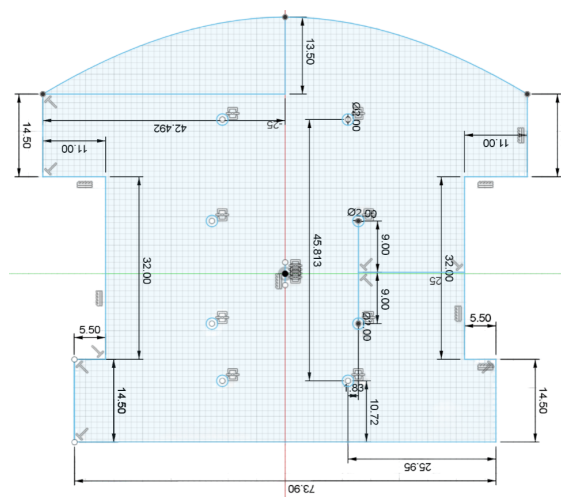


Рисунок 14 - Размеры платы и расположение отверстий в САПР

2.3.4 Проектирование креплений моторов

За основу крепления были взяты стандартные крепления для моторов N20. К ним добавлена дополнительная часть сверху, выступающая местом для установки аккумулятора. Две версии крепления представлены на рисунках 15 - 16.

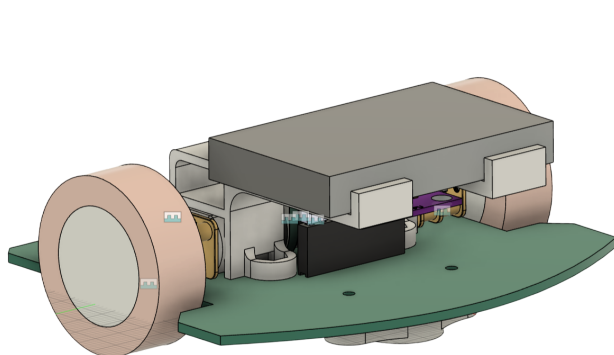


Рисунок 15 - Вариант крепления 1

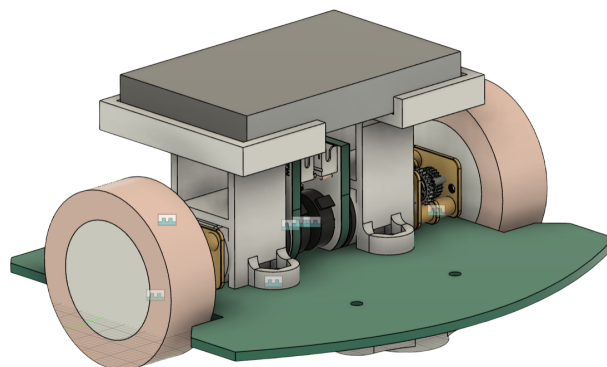


Рисунок 16 - Вариант крепления 2

Была выбрана версия с аккумулятором, смещенным к передней части робота, так как таким образом центр тяжести робота будет находится более низко, что должно уменьшить заносы во время поворотов.

2.3.5 Проектирование дисков

Диски и шины-резинки должны скрепляться при помощи шип-паз соединения. Диск содержит 6 равноудаленных пазов, созданных при помощи массива. Ширина диска составляет 10 миллиметров, диаметр 20 миллиметров; глубина паза 4,6 миллиметра, зазор 0,3 миллиметра. Диск представлен на рисунках 17 - 18.

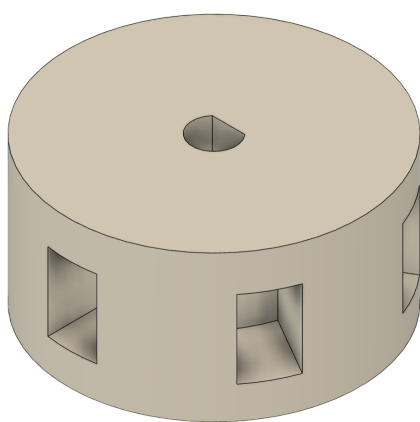


Рисунок 17 - Диск робота

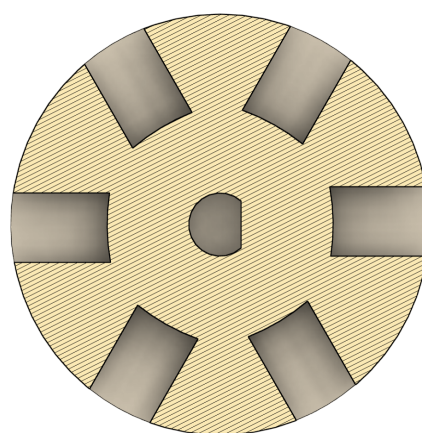


Рисунок 18 - Диск в разрезе

2.3.6 Проектирование формы для отливки шин-резинок

Форма для отливки шин-резинок имеет диаметр 32 миллиметра с толщиной стенки и пола 1 миллиметр. Форма представлены на рисунках 19 - 20.

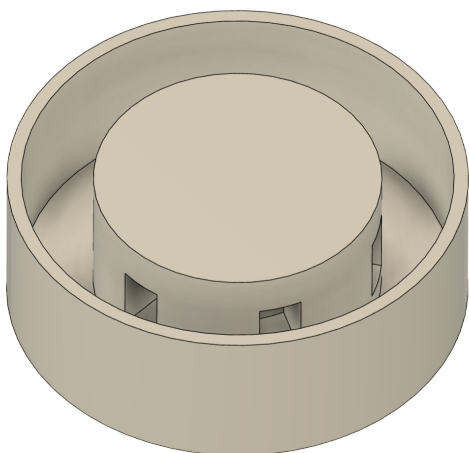


Рисунок 19 - Форма для отливки

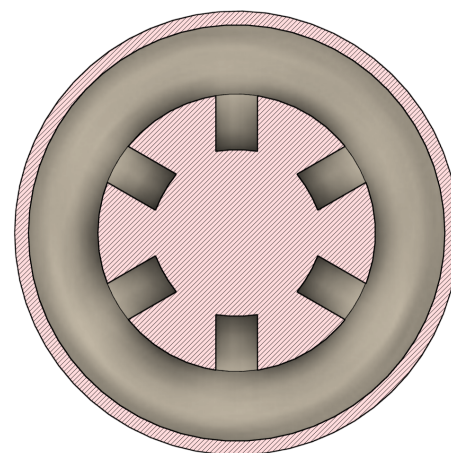


Рисунок 20 - Форма в разрезе

2.3.7 Проектирование опоры

В опоре робота предусмотрены отверстия для винтов M2, а также места для гаек M2. В верхней части опоры расположено круглое углубление диаметром 10 миллиметров для крепления скользящего материала. Чертеж опоры представлен в приложении В. Опора представлена на рисунках 21 - 22.

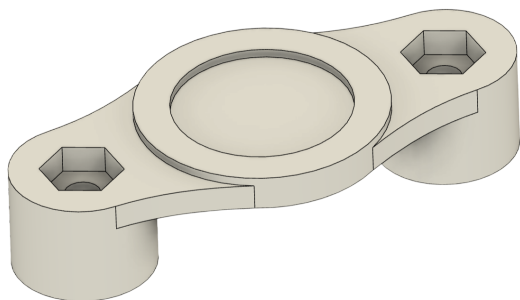


Рисунок 21 - Опора вид 1

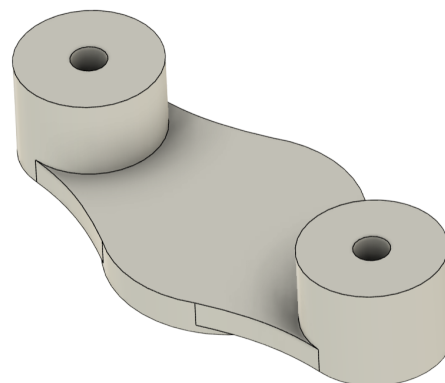


Рисунок 22 - Опора вид 2

2.4 Электронная часть и ее составляющие

2.4.1 Выбор САПР для проектирование электронной части

Для проектирования электронной части устройства и печатной платы была выбрана САПР KiCad, так как она бесплатно распространяется, имеет обширную компонентную базу и разнообразный функционал. Были использованы дополнительные материалы для трассировки печатных плат [15].

2.4.2 Проектирование принципиальной схемы устройства

В принципиальной схеме устройства каждый модуль или подсистема робота разделены сеткой, соединение обозначено при помощи глобальных меток. Принципиальная схема представлена в приложении Г.

2.4.2.1 Схемы различных компонентов

В принципиальной схеме устройства были объединены схемы из технических документаций и open source проектов. Из open source проектов использовались такие схемы как: RP2040 [16], датчика расстояния на основе фототранзистора и ИК-светодиода [10].

2.4.3 Разработка печатной платы

При трассировке платы изначально было определено точное расположение компонентов относительно друг друга по координатам. Изначальное расположение компонентов представлено на рисунке 23.

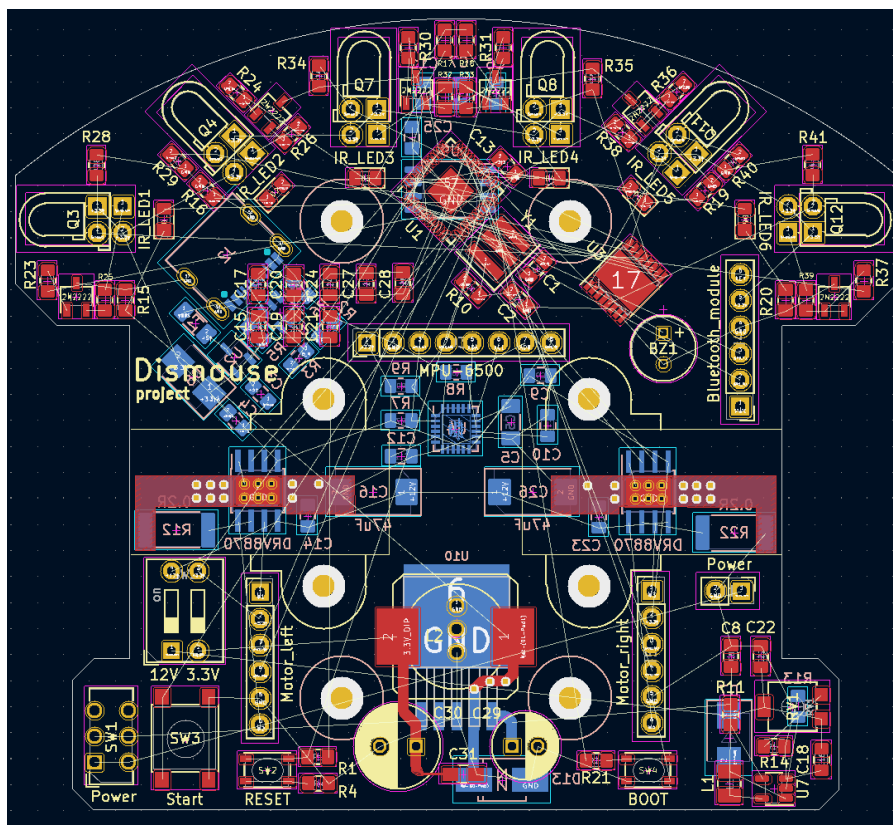


Рисунок 23 - Изначальное расположение компонентов

После расположения компонентов были проведены дорожки, соединяющие их. Соблюдались меры предосторожности: под индуктивными элементами дорожки не проводились, питание и аналоговые сигналы проводились с зазором 0,25 мм. Зазор медной зоны земли был изменен со стандартного 0,2 мм. до 0,5 мм. для дополнительной дистанции между питанием моторов и медной зоной земли. Для драйверов моторов были соблюдены требуемые по технической документации зоны земли и переходные отверстия, отводящие тепло. Дорожки, отвечающие за выходной сигнал управления моторов с драйвера имеют расширение с 0,4 мм. до 1 мм. Итоговый проект платы представлен на рисунке 24.

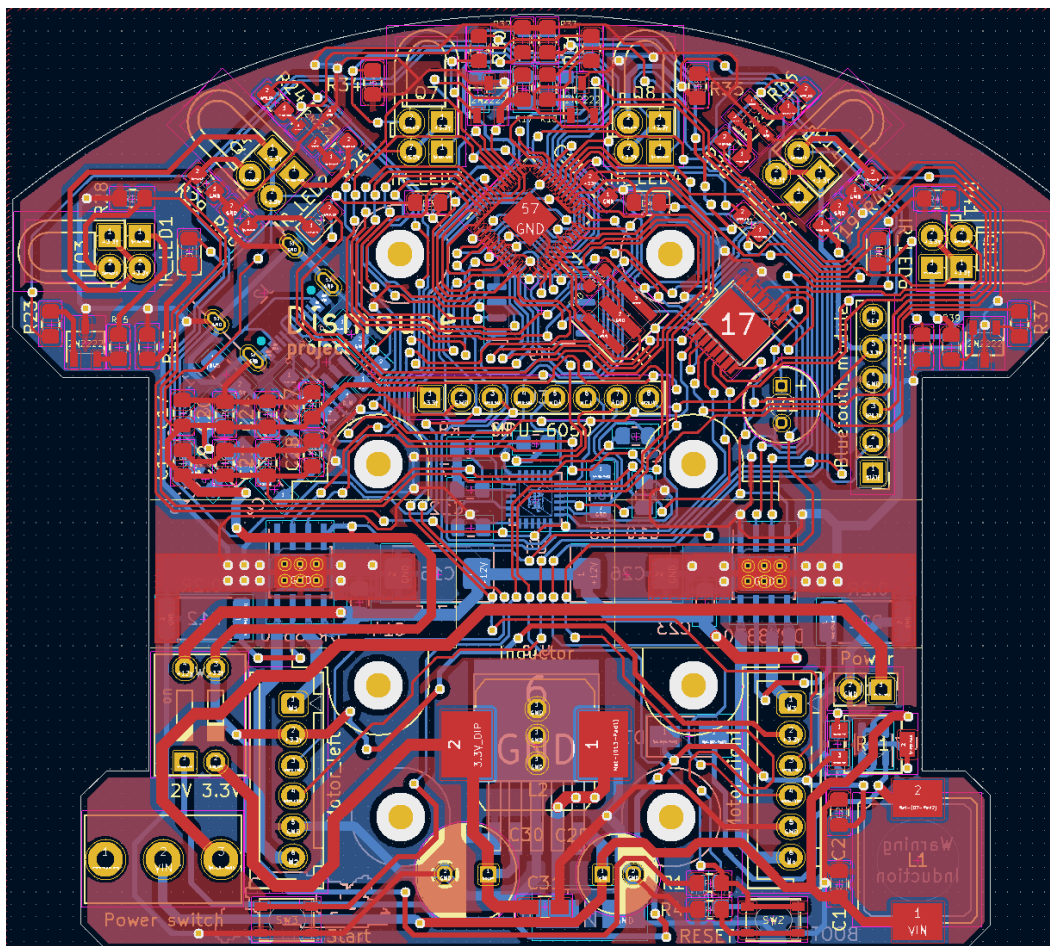


Рисунок 24 - Итоговый проект платы

2.4.3.4 Электропитание робота

Два преобразователя напряжения были расположены в задней части робота максимально удаленно от прочих дорожек. Катушки индуктивности также были расположены удаленно друг от друга и прочих элементов платы.

На плате имеется тумблер, отвечающий за подачу электропитания на всего робота. При помощи DIP-переключателя есть возможность отдельно отключить все питание на 3,3 вольта или на 12 вольт.

2.4.5 Итоговая версия платы

Плата изготавливалась по технологии травления в компании Резонит [17]. Для тестов и демонстрации было заказано пять плат. Итоговая версия плат представлены на рисунке 25.

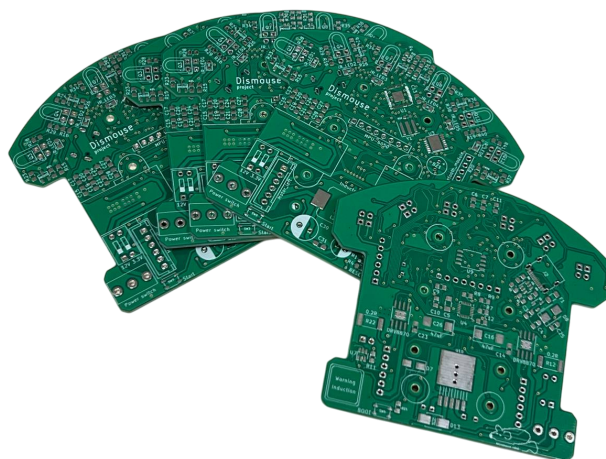


Рисунок 25 - Итоговая версия плат

2.5 Изготовление деталей робота

Детали робота, такие как опоры, крепления моторов и диски, а также формы для отливки силикона были напечатаны на 3D-принтере из PLA-материала, который является экологичным, биоразлагаемым и безопасным при контакте с человеком. Использование 3D-печати ускорило процесс изготовления, занимая не более нескольких часов. Готовые модели опор представлены на рисунке 26.

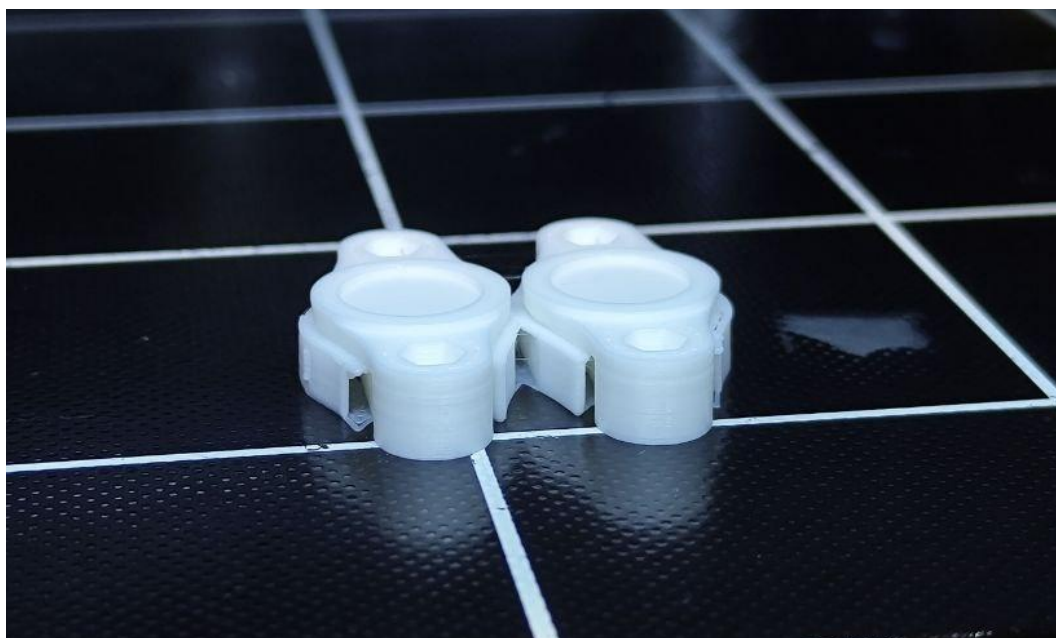


Рисунок 26 - Готовые модели опор

Формы для отливки силикона были напечатаны в количестве четырех штук для отливки основного комплекта шин-резинок и запасного. Формы для шин-резинок представлены на рисунке 27.

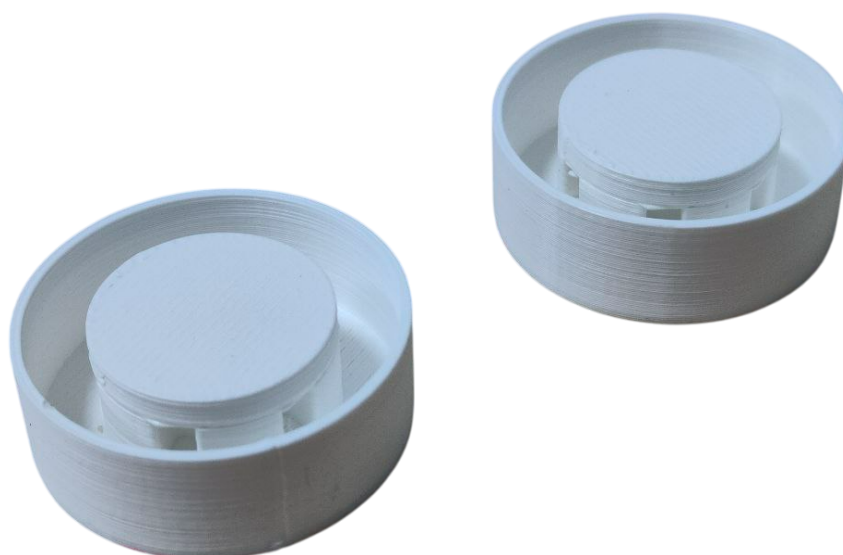


Рисунок 27 - Формы для шин-резинок

2.6 Отливка шин-резинок

Шины-резижки изготавливались из двухкомпонентного силикона на основе олова с твердостью 10 по шкале Шора А. Данное решение позволило сделать шины-резижки с высоким коэффициентом трения, что уменьшает проскальзывание колес. Силикон смешивался в пропорции 100А : 2Б, а после при помощи шприца заливался в формы. Процесс отливки представлен на рисунке 28. Готовые шины-резижки представлены на рисунке 29.

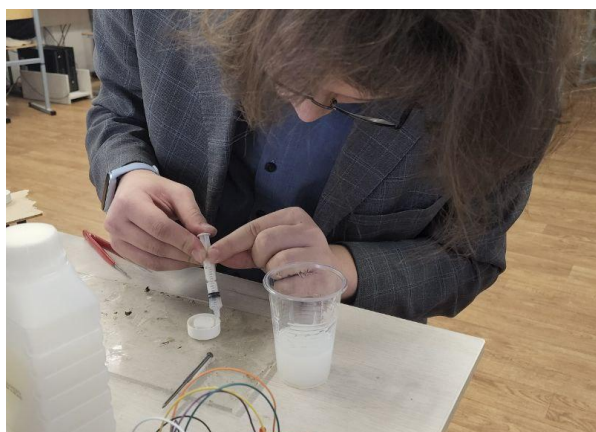


Рисунок 28 - Процессе отливки



Рисунок 29 - Готовые шины-резижки

2.7 Сборка устройства

При сборке предстояло припаять все элементы на плату, обжать провода для моторов, механические откалибровать датчики расстояния (направить излучатель и приемник в одну точку), закрепить напечатанные элементы на основу.

Одним из самых сложных этапов при пайке являлось припаять чип RP2040. Это делалось при помощи паяльного фена, а в дальнейшем паяльника. Процесс пайки чипа представлен на рисунке 30. Припаянный чип представлен на рисунке 31.



Рисунок 30 - Процесс пайки чипа

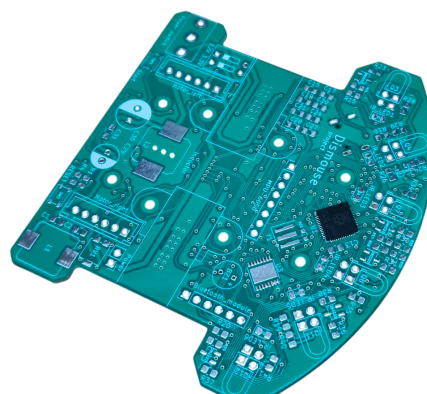


Рисунок 31 - Припаянный чип

Версия робота к 24.01.25 представлена на рисунках 32 - 33.

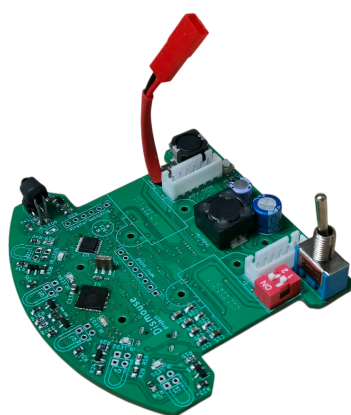


Рисунок 32 - Робот вид сверху

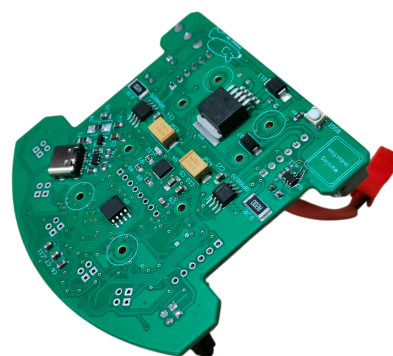


Рисунок 33 - Робот вид снизу

2.8 Разработка программного кода

2.8.1 Алгоритм прохождения

Существует множество алгоритмов для прохождения лабиринта, начиная от прохождения по правилу левой или правой руки, заканчивая алгоритмами Дейкстры, A*, Flood Fill и их модификация. Было решено реализовать алгоритм Flood Fill, который использует меньше памяти, чем A* и проверяет все клетки лабиринта [18].

Алгоритм состоит из двух частей: построение карты стоимостей, поиск оптимального маршрута. Он предполагает присвоение значений каждой из клеток лабиринта, где эти значения представляют собой расстояние от любой клетки лабиринта до клетки назначения, указанной пользователем. Клетке назначения присваивается значение стоимости 0. Если робот стоит в клетке со значением 1, то он находится на расстоянии 1 клетки от цели. Если робот стоит в

клетке со значением 3, то он находится в 3 клетках от цели и т.п. Предполагается, что робот не может двигаться по диагонали. Лабиринт представлен в памяти в виде массива 16x16. Центру присваивается значение (0, 0). Всем клеткам в непосредственной близости от него присваивается значение 1, клеткам рядом с ним – 2 и так далее. Массив делится на 4 симметричные области, после чего выполняется присваивание.

В верхней левой четверти цикл уменьшает столбец (переменная C), увеличивает строку (переменная R): $R=R+j$, $C=C-i$. В правой верхней четверти цикл увеличивает столбец, увеличивает строку: $R=R+j$, $C=C+i$. В нижней левой четверти цикл уменьшает столбец, уменьшает строку: $R=R-j$, $C=C-i$. В нижней правой четверти цикл увеличивает столбец, уменьшает строку: $R=R-j$, $C=C+i$. В каждом из случаев i и j варьируются от 0 до 8 (половина лабиринта).

Чтобы объединить все случаи, используется математическое выражение:

$$MAZE[R-(i \cdot decr)+(i \cdot incr)][C-(j \cdot decc)+(j \cdot incc)] = i+j \quad (5)$$

R, C - текущие индексы строки и столбца;

$decr, incr$ - коэффициенты уменьшения/увеличения для строки;

$decc, incc$ - коэффициенты уменьшения/увеличения для столбца;

i, j - текущие шаги в цикле (от 0 до 8).

Значение переменных $decr, incr$ и $decc, incc$ по частям лабиринта (декремент и инкремент для строки и столбца) представлено на рисунке 34.

$decr = 0, incr = 1$ $decc = 1, incc = 0$	$decr = 0, incr = 1$ $decc = 0, incc = 1$
$decr = 1, incr = 0$ $decc = 0, incc = 1$	$decr = 1, incr = 0$ $decc = 0, incc = 1$

Рисунок 34 - Значение переменных $decr, incr, decc, incc$ по частям лабиринта

Таким образом, для лабиринта 5 на 5 без стен с центральной клеткой, являющейся клеткой назначения, можно построить следующую карту стоимости. Карта стоимости для лабиринта 5 на 5 представлена на рисунке 35.

4	3	2	3	4
3	2	1	2	3
2	1	0	1	2
3	2	1	2	3
4	3	2	3	4

Рисунок 35 - Карта стоимостей для лабиринта 5 на 5

Стоит учесть, что для лабиринта с четной стороной центром будут выступать 4 центральные клетки и их стоимость будет является 1.

Изначально в памяти робота указан только размер лабиринта и клетка, к которой он должен добраться. По мере прохождения лабиринта робот узнает, куда он может продвигаться, а куда не может. Эти данные записываются во второй массив, каждая ячейка которого занимает 4 бита, по биту на сторону (вверх – старший бит, вправо, влево, вниз – младший бит). Значение 1 – стена есть, значение 0 – стены нет. К примеру, смоделируем произвольный лабиринт 5 на 5, пометив жирными линиями стены. Произвольный лабиринт 5 на 5 представлен на рисунке 36.

		Цель (клетка (3, 3))		
Старт (клетка (0, 0))				

Рисунок 36 - Произвольный лабиринт 5 на 5

Изначально робот предполагает, что стен в лабиринте нет, массив стен заполнен нулями, а карта стоимости заполнена по общей формуле $MAZE[R-(i \cdot decr)+(i \cdot incr)][C-(j \cdot decc)+(j \cdot incc)] = i+j$. По мере продвижения робота по лабиринту происходит пересчет карты стоимостей. Блок схема алгоритма представлена в приложении Д. К примеру, в приведенном произвольном лабиринте робот сделает три действия до перерасчета карты стоимостей:

Первое действие. Перемещение с клетки (0, 0) до клетки (0, 1); запись в массив стен по индексу (0, 0) значение 0b0110 (стена справа, слева); карта стоимостей не обновляется, стоимость клетки (0, 0) равна 4.

Второе действие. Перемещение с клетки (0, 1) в клетку (0, 2); запись в массив стен по индексу (0, 1) значение 0b0110 (стена справа, слева); карта стоимостей не обновляется, стоимость клетки (0, 1) равна 3.

Третье действие. Перемещение с клетки (0, 2) в клетку (0, 3); запись в массив стен по индексу (0, 2) значение 0b0110 (стена справа, слева); карта стоимостей обновляется, стоимость клетки (0, 3) равна 5, клетки (0, 2) равна 6, клетки (0, 1) равна 7, клетки (0, 0) равна 8. Обновленная карта стоимости представлена на рисунке 37 (красная клетка – местонахождение робота в момент перерасчета).

4	3	2	3	4
5	2	1	2	3
6	1	0	1	2
7	2	1	2	3
8	3	2	3	4

Рисунок 37 - Обновленная карта стоимости

2.8.2 Перемещение на основе полученных данных

Для локализации робота в лабиринте использовались энкодеры, показания гироскопа и датчиков расстояния. На основе показаний энкодеров рассчитывался пройденный путь – показания энкодеров сопоставлялись с формулой длины окружности. Так как колеса могут проскальзывать, и погрешность со временем накапливается, было принято решение упираться в

стены в тупиковых клетках и обнулять энкодеры, что дает более точный результат. Часть кода, отвечающая за пройденное расстояние, представлена на рисунке 38.

```
void distance_en1(int encoder1){  
    dist = (500 * encoder1) / (3,1415 * 2 * 2);  
}
```

Рисунок 38 - Часть кода, отвечающая за пройденное расстояние

При поворотах использовались данные энкодеров, а также они уточнялись данными, полученными от гироскопа. Таким образом, бралось среднее значение воздействия между углом, рассчитанным при помощи энкодеров, и углом, отображаемым гироскопом. Часть кода, отвечающая за поворот робота представлена на рисунке 39.

```
void turn(int angle, int speed, float k){  
    int en1_need = encoder1 + base_s * angle / r_wheel / 360 * 100;  
    while(encoder1 < en1_need){  
        move(speed, - speed);  
    }  
    long int t = millis();  
    while(millis() - t < 300){  
        move(speed + (k * err), speed - (k * err));  
    }  
}
```

Рисунок 39 - Часть кода, отвечающая за поворот робота

2.8.3 Передача данных

Для отладки робота, помимо индикационных элементов, использовался Bluetooth модуль HC-05. Данные передаются по протоколу UART, модуль соединен через пины TX и RX. Для отправки информации требуется использовать команду *Serial.println()*, указав параметр для передачи. На мобильном устройстве требуется установить любой Bluetooth терминал, а после в настройках выбрать Bluetooth модуль HC-05. После в приложение будет выводиться передаваемая информация.

2.9 Модификации устройства

После проведение тестов планируется заменить аккумулятор на менее емкий для облегчения массы. Планируется разработать усовершенствованное крепление моторов, которое

бы держало провод питания. Алгоритм планируется изменить таким образом, чтобы робот мог проходить диагональные участки лабиринта и совершать повороты по дуге.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эстетический вид и качество работы

Робот получился эстетичным и эргономичным. Для прохождения диагональных участков и разворотов в пределах одной клетки все элементы были подобраны с минимальными габаритами и расположены на плате размером 75 (длина) на 85 (максимальная ширина) миллиметров. Разъем USB Type-C вынесен на нижнюю часть платы. Для загрузки программного кода требуется подключить через данный разъем.

На задней части робота, за моторам, расположен повышающий и понижающий преобразователи напряжения, тумблер подачи питания, DIP-переключатель двух линий питания (12 вольт и 3,3 вольт), разъемы подключения моторов, провод подключения аккумулятора. Преобразователи напряжения имеют максимальный выходной ток минимум на 20% превышающий суммарный ток потребления систем 3,3 вольт, 12 вольт. Тумблер подачи питания взят с запасом рабочего тока в 50% от потребляемого. DIP-переключатель предназначен для тестовых испытаний систем во время сборки робота. Разъемы подключения моторов выбраны JST-B6B-XH для надежного крепления моторов к плате. Провод подключения аккумулятора выбран JST RCU для надежного подключения аккумулятора.

На передней части робота, перед моторами, расположены шесть датчиков расстояния на основе ИК-светодиодов и фототранзисторов, Bluetooth модуль, датчик положения в пространстве MPU6050, контроллер RP2040, мультиплексор, индикационные светодиоды и пьезоэлемент.

Количество проводов минимизировано до двух – напряжение и земля от аккумулятора. Остальные соединения выполнены разъемами и проводящими дорожками на печатной плате.

Колеса крепятся непосредственно на вал моторов. Шины-резинки при помощи 6 шип-паз соединений закреплены на диске.

Для индикации использованы 6 светодиодов, расположенных под каждым датчиком расстояния, пьезоэлемент и Bluetooth модуль.

Перезагрузка робота возможна при помощи кнопки REBOOT, обновление загрузчика возможно при нажатии кнопки BOOT, запуск робота осуществляется по кнопке START.

Новизна и креативность

Проект является оригинальной разработкой. Конструкция робота и печатные платы разработаны самостоятельно, создан алгоритм именно для данного робота с данным набором

датчиков и моторов. В качестве контроллера используется RP2040, вместо STM32, зачастую используемых в роботах Micromouse.

Итоговый результат

В результате проделанной работы продолжается процесс создания робота для достижения поставленной цели и решения всех задач. Будет создан робот, способный выступать на соревнованиях «Лабиринт Micromouse» по регламенту ежегодного Международного фестиваля робототехники «РобоФинист». В конструкции робот воплощены достоинства аналогов и учтены их недостатки. Работа робота будет протестирована на половинчатом поле размером 8 на 8 ячеек, которое соответствует требованиям, прописанным в регламенте.

В процессе работы над проектом был изучен САПР для проектирования печатных плат KiCad. Также был изучен ГОСТ Р 60.0.0.4-2023, касающийся понятий «робот» и «роботизированное устройство», ГОСТ 7.32-2017, касающийся структуры и правил оформления научных работ, а также ГОСТ 2.702 о единой системе конструкторской документации. Работа позволила улучшить свои навыки проектирование печатных плат, 3D-моделирования в САПР Autodesk Fusion 360 и создания чертежей в Компас 3D.

По результатам проделанной работы самооценка проекта отличная.

В дальнейшем планируется выступить на международном фестивале робототехники «РобоФинист» сезона 2025 года и КОР сезона 2025 года.

На данный момент исправно работают все системы робота, кроме датчиков расстояния, что не позволяет запустить робота в лабиринте. Лабиринт был взят с соревнований МТС True Tech Champ, размер лабиринта 8 на 8 ячеек. Все модели, подготовленные для проекта, представлены на рисунке 40. Все материалы по проекту представлены на рисунке 41. Лабиринт представлен на рисунках 42 - 43.

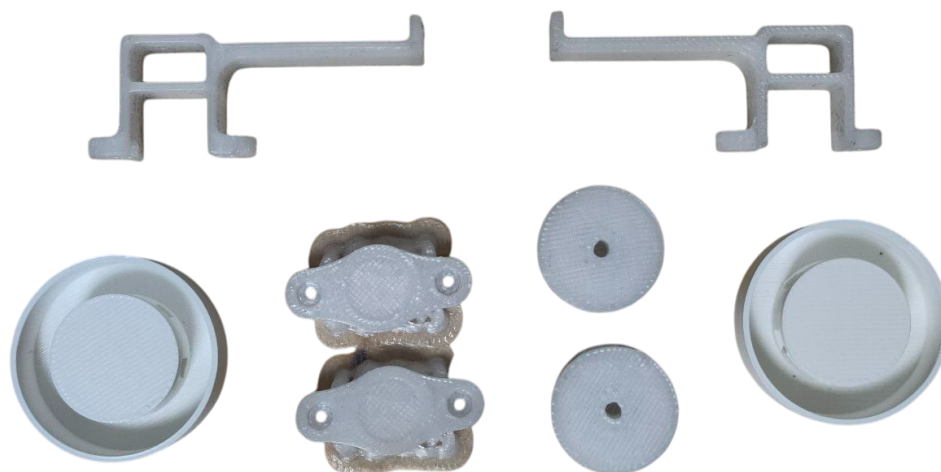


Рисунок 40 - Все модели, подготовленные для проекта

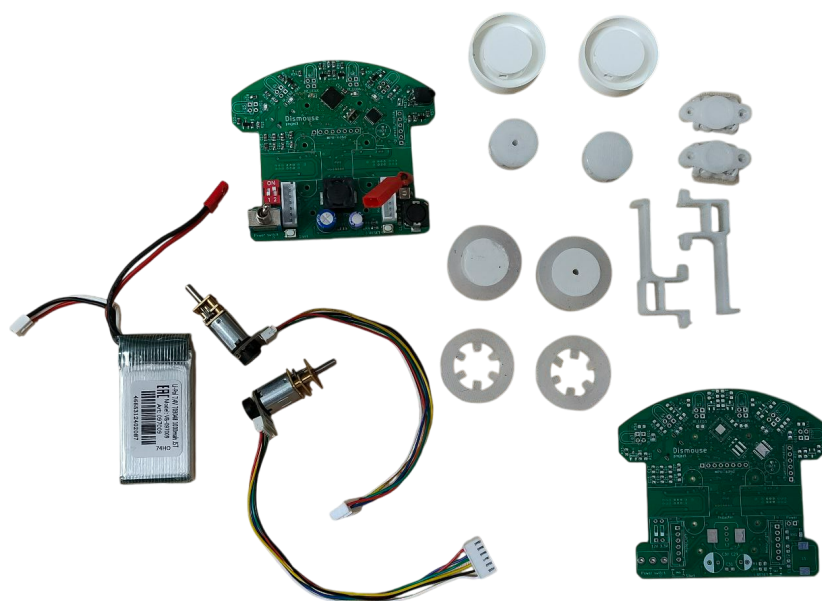


Рисунок 41 - Все материалы по проекту



Рисунок 42 - Лабиринт (вид сверху без стенок)

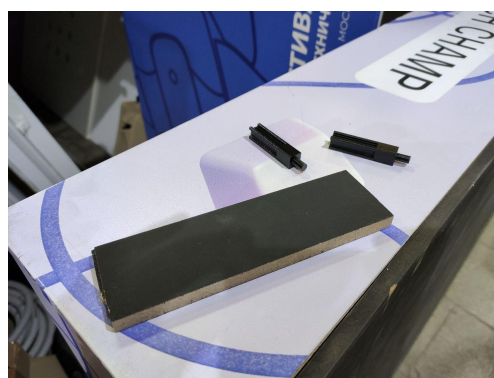


Рисунок 43 - Лабиринт: стенки и крепления

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фестиваль «РобоФинист» сезон 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://robofinist.ru/event/1000> (дата обращения: 18.10.2024).
2. Регламент соревнований «Лабиринт Micromouse» [Электронный ресурс]. URL: <https://robofinist.ru/files/240492/filename/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%20%D0%9B%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82%20Micromouse.pdf> (дата обращения: 18.10.2024).
3. Главная страница фестиваля «РобоФинист» [Электронный ресурс]. URL: <https://robofinist.ru/> (дата обращения: 18.10.2024).
4. Японские соревнования Micromouse «NTF» [Электронный ресурс]. URL: https://www.ntf.or.jp/?page_id=118 (дата обращения: 11.11.2024).
5. Британские соревнования Micromouse «UKMARS» [Электронный ресурс]. URL: <https://ukmars.org/contests/contest-rules/micromouse-classic/#:~:text=A%20micromouse%20must%20not%20leave,placed%20on%20the%20floor%20surface> (дата обращения: 11.11.2024).
6. Американские соревнования Micromouse «IEEE Micromouse» [Электронный ресурс]. URL: <https://ieee.berkeley.edu/about/> (дата обращения: 11.11.2024).
7. Заявки в категорию «Лабиринт Micromouse» фестиваля «РобоФинист» сезон 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://robofinist.ru/event/info/bids/id/1000/cid/7964> (дата обращения: 24.11.2024).
8. Регламент КОР для соревнований «Micromouse» [Электронный ресурс]. URL: <https://robofinist.ru/files/129936/filename/%D0%9A%D0%9E%D0%A0.%20%D0%9B%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82.%20%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%20011122.pdf> (дата обращения: 24.11.2024).
9. История соревнований «Micromouse» [Электронный ресурс]. URL: <https://micromouseonline.com/micromouse-book/history/#:~:text=IEEE%20Spectrum%20magazine%20introduced%20the,10%E2%80%B2%20by%2010%E2%80%B2%20maze> (дата обращения: 08.12.2024).
10. Датчики расстояния для робота Micromouse [Электронный ресурс]. URL: <https://micromouseonline.com/2015/11/03/zeetah-sensor-design/> (дата обращения: 08.12.2024).
11. Победитель соревнований «РобоФинист» сезон 2023 в категории «Лабиринт Micromouse» [Электронный ресурс]. URL: <https://robofinist.ru/event/robot/view/id/77042> (дата обращения: 24.11.2024).
12. Курс по работе во Fusion 360 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.com/learn/catalog/microlearning/tutorials,curatedlist> (дата обращения: 20.10.2024).

13. Описание программы Fusion 360 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview> (дата обращения: 20.10.2024).
14. Библиотека 3D-моделей «GrabCAD» [Электронный ресурс]. URL: <https://grabcad.com/library> (дата обращения: 20.10.2024).
15. Документация по KiCAD [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.kicad.org/> (дата обращения: 02.11.2024).
16. Схема платы на основе RP2040 [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/Sleepdeadr/RP2040-designguide/tree/main> (дата обращения: 02.11.2024).
17. Производитель печатных плат «Резонит» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rezonit.ru/> (дата обращения: 28.11.2024).
18. Алгоритмы решения лабиринтов Micromouse [Электронный ресурс]. URL: <https://swati-mishra.com/wp-content/uploads/2020/02/advanced-algorithms-for-micro-mouse-maze-solving-las-vegas.pdf> (дата обращения: 27.12.2024).
19. Самый быстрый робот Micromouse [Электронный ресурс]. URL: <https://spectrum.ieee.org/meet-the-new-worlds-fastest-micromouse> (дата обращения: 11.11.2024).
20. Робот Green Giant 5.19V [Электронный ресурс]. URL: <http://www.greenye.net/> (дата обращения: 11.11.2024).

Приложение А

Лабиринт и его ячейки имеют определенные размеры, которые регламентированы во всем мире, в том числе и в России. Размеры ячейки лабиринта представлены на рисунке А.1.

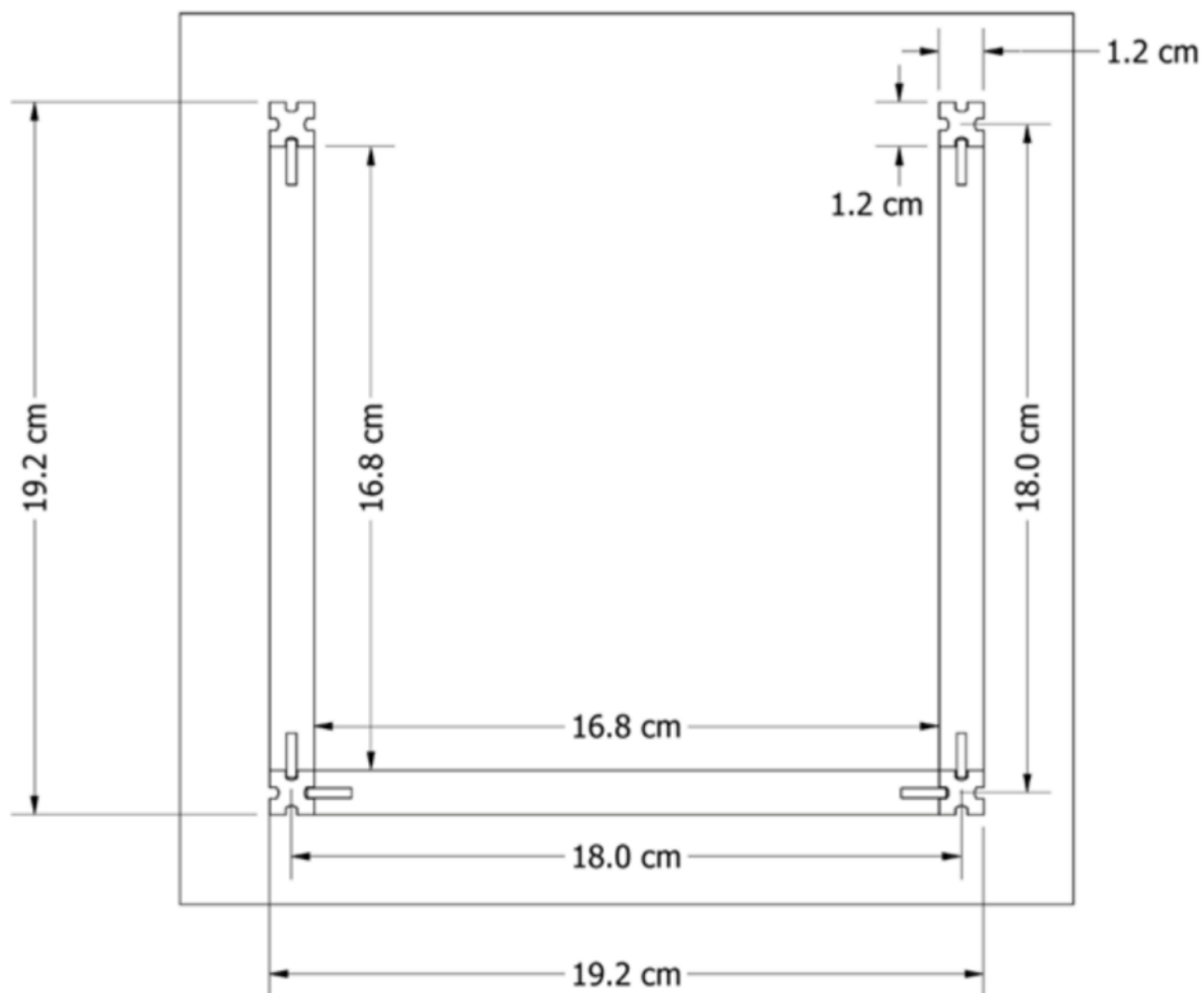


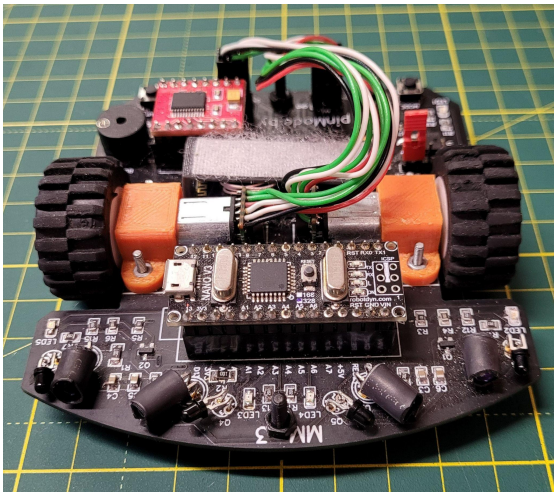
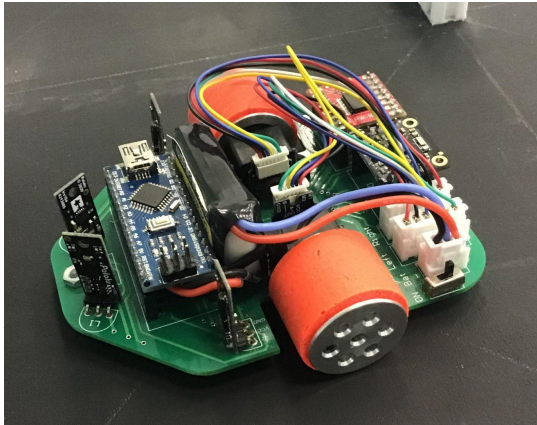
Рисунок А.1 - Размеры ячейки

К общим характеристикам лабиринта также относят:

- Высота стенок и столбцов 50 мм;
- Сторона лабиринта от 8 до 16 ячеек;
- Основание лабиринта – прямоугольник матового черного цвета;
- Лабиринт окружен непрерывной внешней стенкой.

Приложение Б

Таблица Б.1 - Аналоги прошлых лет

№	Фото и название	Анализ (достоинства и недостатки)
1.	 робот «pinMode»	Достоинства: - Печатная плата в основе; - Аналоговые датчики расстояния (самодельные); - Индикационные пьезоэлемент и светодиоды. Недостатки: - Резиновые покрышки; - Отсутствие гироскопа; - Отсутствие модуля связи; - Ширина робота более 10 см.
2.	 робот «кУ_2»	Достоинства: - Печатная плата в основе; - Аналоговые датчики расстояния (покупные); - Ширина робота до 10 см; - Металлические диски; - Силиконовые шины-резинки. Недостатки: - Отсутствие индикации (светодиоды, пьезоэлемент); - Отсутствие модуля связи.

Продолжение таблицы Б.1

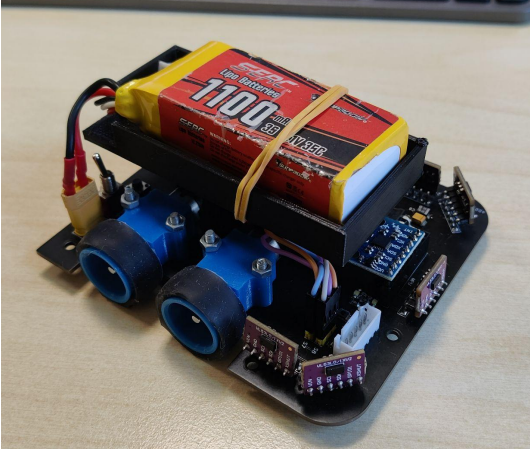
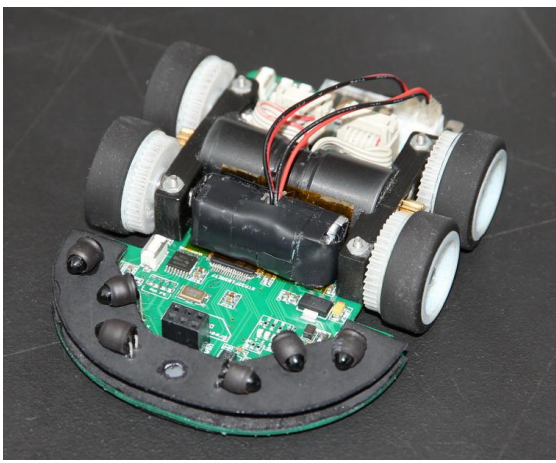
3.	 робот «Кантоградец v9.11»	Достоинства: - Печатная плата в основе; - Четырехколесная база; - Силиконовые шины резинки. Недостатки: - I2C датчики расстояния; - Отсутствие индикации; - Ширина робота более 10 см.
----	--	--

Таблица Б.2 - Анализ мировых аналогов

№	Фото и название	Описание
1.	 робот «Min7.1» [19]	1. Максимальная скорость – 12 км/ч или 3,3 м/с; 2. Длина 10 сантиметров; 3. Масса 90 грамм; 4. Имеет вакуумную присоску; 5. Мировой рекорд прохождения лабиринта 16 x 16 – 3,921 секунды; 6. Произведен в 2011 году.

Продолжение таблицы Б.2

2.	 робот «Green Giant 5.19V» [20]	1. Размеры 75 x 105 x 37 мм. (Ширина x Длина x Высота); 2. Сила вакуумной присоски 151 Ватт; 3. Контроллер STM32F405RG; 4. Максимальная скорость 5.3 м/с; 5. Сенсоры SFH4545 + TEFT4300 (6 штук); 6. Ускорение до 18 м/с²; 7. Аккумулятор 7.4В, 300 mAh; 8. Понижающий конвертер 3.3V, повышающий 12V; 9. Индикация: дисплей, 18 светодиодов, bluetooth модуль, пьезоэлемент.
3.	 робот «Green Giant V2.2» [20]	1. Размеры 75 x 100 x 24.5 (Ширина x Длина x Высота); 2. Вертикальное расположение датчиков расстояния; 3. Контроллер STM32F103RET6; 4. Максимальная скорость 4.5 м/с; 5. Ускорение 13.5 м/с²; 6. Датчики на основе элементов SFH4545 + TEFT4300; 7. Батарея 120 mAh.

Приложение В

Чертеж опоры представлен на рисунке В.1.

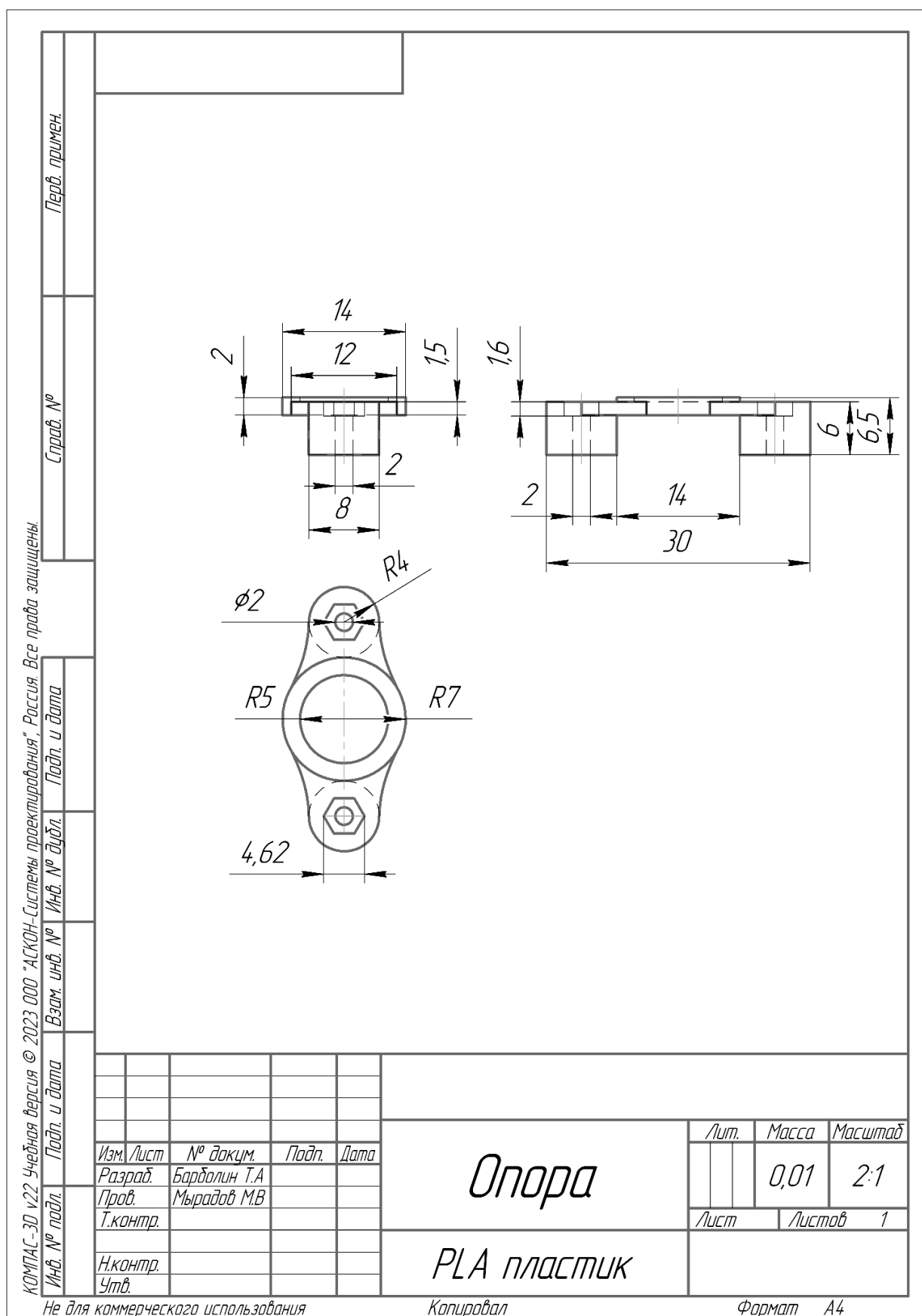


Рисунок В.1 - Чертеж опоры

Приложение Г

Принципиальная схема устройства представлена на рисунке Г.1.

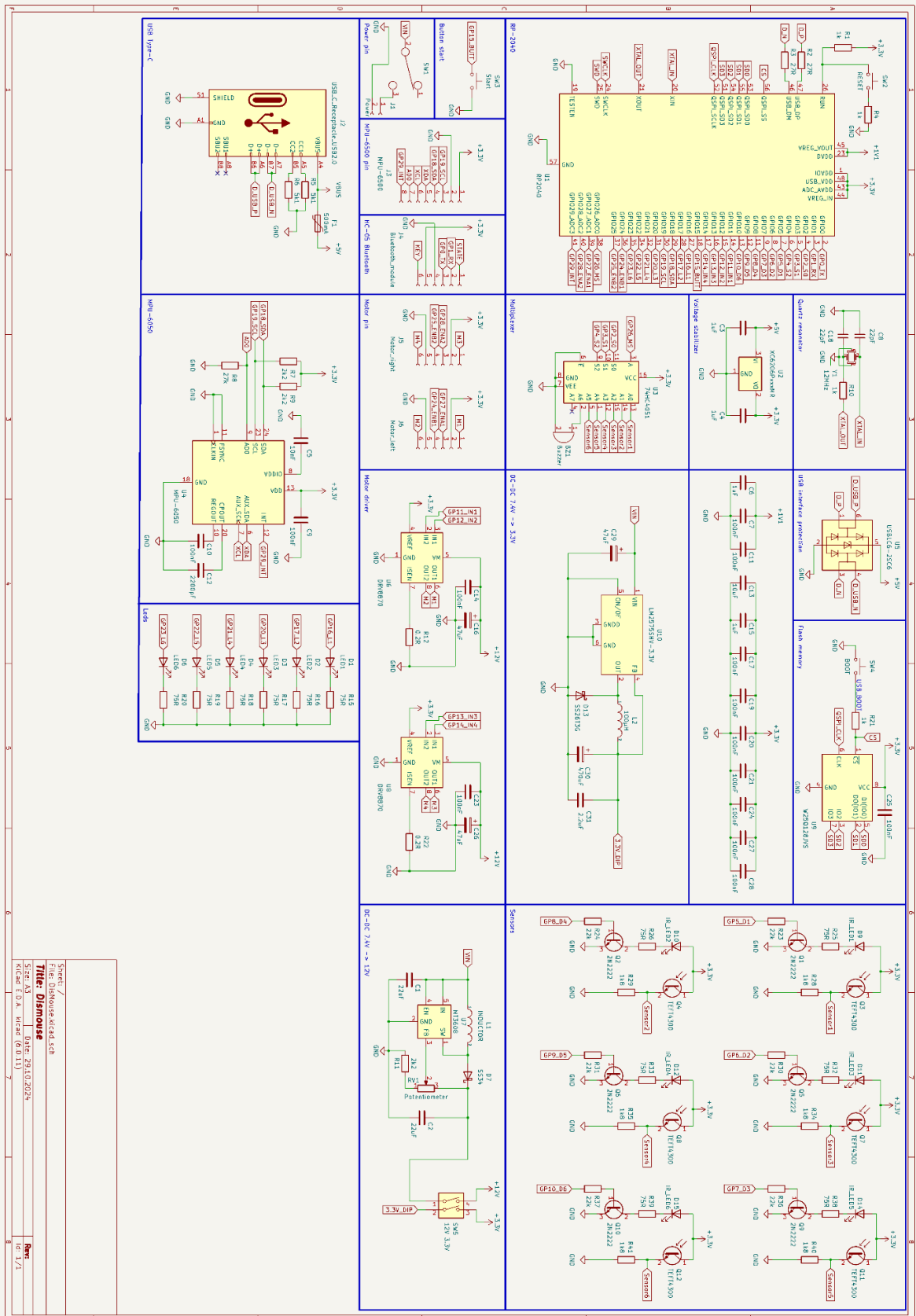


Рисунок Г.1 - Принципиальная схема устройства

Приложение Д

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке Д.1

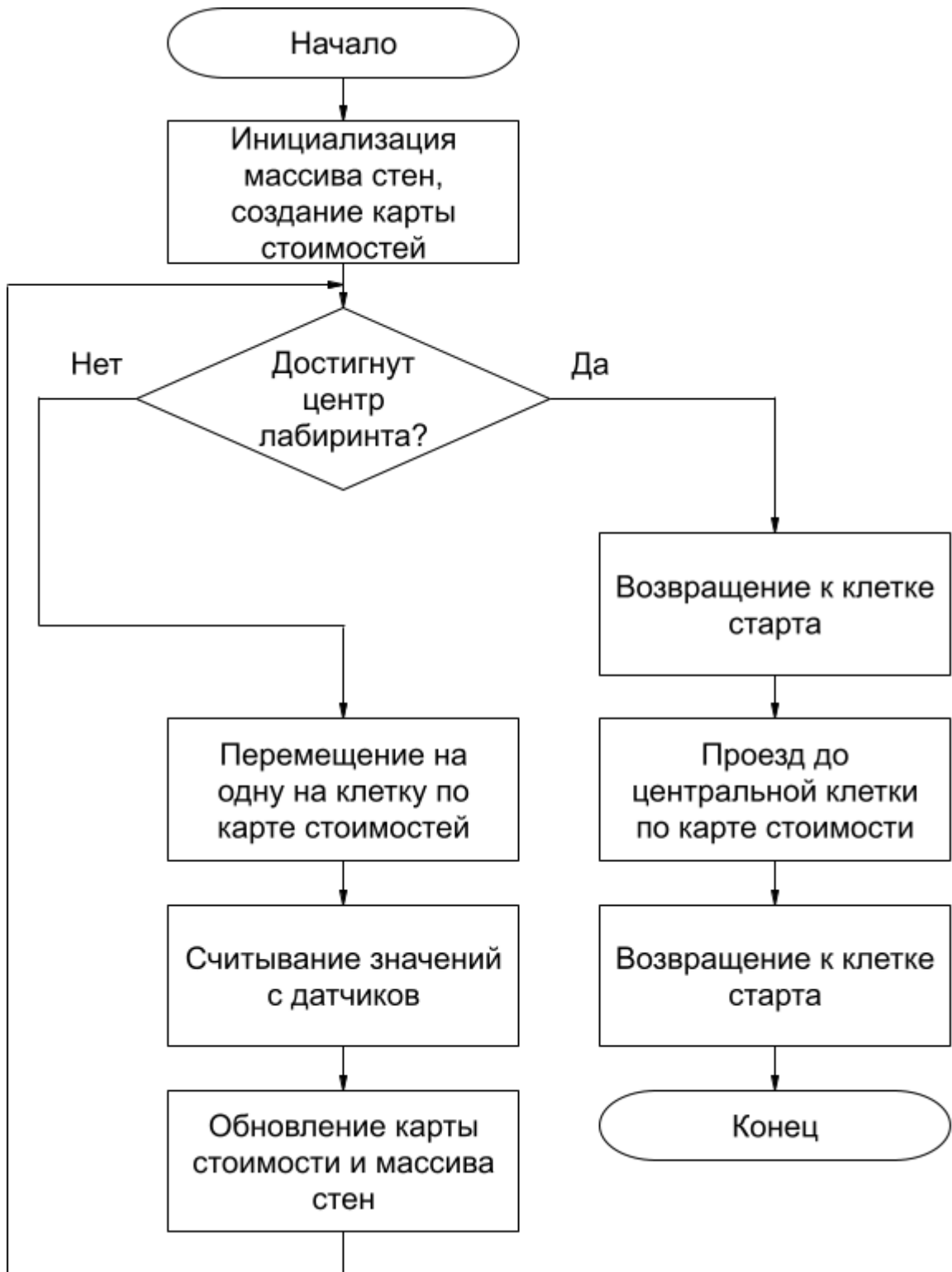


Рисунок Д.1 - Блок схема алгоритма