

Департамент образования и науки города Москвы

ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ГОРОДА МОСКВЫ «ШКОЛА №1514»

ОТЧЁТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Учебный проект по теме:

СОЗДАНИЕ АВТОНОМНОГО РОБОТА, СПОСОБНОГО ПРОЕХАТЬ ПО
ЧЁРНОЙ ЛИНИИ И СБИТЬ ВТОРУЮ ПО ХОДУ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНКУ

Руководитель НИР

В.М.Кузьмич

Работу выполнила

В.В. XXXXX

Москва 2024

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 24 с., 21 рис, 2 источника, 1 приложение

АВТОНОМНЫЙ РОБОТ, АНАЛИЗ РЕГЛАМЕНТА, САМОСТОЯТЕЛЬНО ИЗГОТОВЛЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ, РАЗРАБОТКА РОБОТА

Целью проекта является создание автономного робота, способного проехать вдоль чёрной линии и сбить вторую по ходу движения планку.

В ходе работы над проектом был проведён анализ Регламента, из которого следует, что большинство компонентов робота должно быть изготовлено самостоятельно.

Для реализации проекта были использованы 3D-принтер, лазерная резка на основе чертежа, травление плат, различные электронные компоненты.

В результате создания проекта был разработан робот, соответствующий большинству требований.

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень сокращений и обозначений4

Введение5

1. Цели и задачи, результат5

2. Сбор и анализ информации по проекту6

3. Разработка элементов робота и выбор материалов9

4. Разработка электрических схем19

5. Сборка19

6. Программирование21

7. Отладка23

Заключение24

Список использованных источников24

ПРИЛОЖЕНИЕ А25

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчёте о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

PLA – Polylactic Acid (тип пластика)

ПИД-регулятор – пропорционально интегрально дифференциальный регулятор

Регламент – регламент проведения Московской командной олимпиады по робототехнике в категории «Юный инженер»

САПР – система автоматизированного проектирования

ВВЕДЕНИЕ

В 2023/2024 учебном году появился Регламент, в связи с этим было принято решение принять участие в соревновании в категории «Юный инженер».

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ, РЕЗУЛЬТАТ

Согласно Регламенту, задачей участника олимпиады является самостоятельно изготовить робота, способного выполнить определённые Регламентом действия. Робота необходимо преодолеть полностью трассу, двигаясь по линии, сбить планку, находящуюся на противоположной от старта зоне, не тронув планку, находящуюся над стартом. Высота планки – 200 мм. Ширина между стойками – 300 мм. Ворота устанавливаются на стартовых линиях, обозначенных метками, симметрично относительно линии. Планка свободно лежит на стойках и не закреплена. Ширина линии 50 мм. Размер полигона 3800 x 2400. Робот стартует на любом участке линии, всеми своими частями находясь до стартовой линии. Отсчет времени начинается после пересечения роботом стартовой линии. На Рисунке 1 представлено изображение полигона.

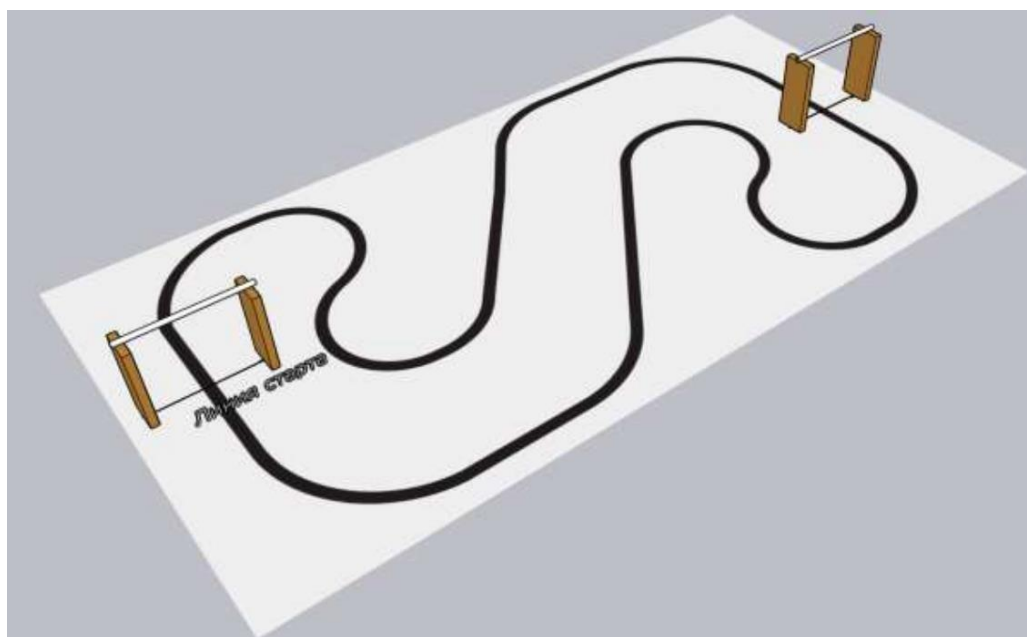


Рисунок 1. Полигон

В процессе выполнения задачи участнику необходимо выполнить учебный проект: изучить программирование, электронику, моделирование, разработать документацию и изготовить все составные части робота.

2. СБОР И АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ ПО ПРОЕКТУ

Регламент предусматривает требования к работоспособности робота, механике и конструкции, электронике, программированию.

2.1 Требования к работоспособности

Требования к работоспособности робота включают в себя проезд по трассе и сбивание планки:

2.1.1. Проезд по трассе. Робот должен преодолеть трассу, проехав целый круг без сходов. Ширина линии 50 мм. Основное время преодоления трассы 2 мин. Допускается максимальное время преодоления 4 мин с уменьшением баллов.

2.1.2. Сбивание планки. Робот сбил вторую по ходу движения планку и не тронул первую планку и опоры.

2.2 Требования к механике и конструкции

Требования к механике и конструкции робота включают в себя требования к каркасу робота, к колёсам робота и к механике сбивания планки:

2.2.1. Каркас робота. Каркас изготовлен самостоятельно при помощи аддитивных технологий, лазерной резки и т.п., или каркас робота изготовлен самостоятельно ручным инструментом по предварительному чертежу. Крепления моторов и иные конструктивные элементы изготовлены самостоятельно (или используются готовые).

2.2.2. Колёса. Диск и/или шина полностью изготовлены самостоятельно. Шина может быть изготовлена самостоятельно при помощи печати на 3D принтере из мягких материалов (Flex, Rubber) или изготовлена только из материала, имеющего повышенное трение с поверхностью (например, литье из силикона или иные способы).

2.2.3. Механика сбивания планки. Представляет собой инженерную систему: отсутствует опорная нагрузка на вал мотора, приводящего в движение систему, то есть если убрать мотор из системы, она может продолжать функционировать, если приводить ее в действие руками.

2.3. Электроника

Требования к электронике включают в себя требования к датчику линии, к драйверу моторов, к контроллеру и монтажу электронных компонентов:

2.3.1. Датчик. Полностью спроектирован и спаян самостоятельно. Или в качестве оптопары взят готовый модуль, но электронный монтаж осуществлялся самостоятельно.

2.3.2. Драйвер моторов. Самостоятельно изготовлен Н-мост. Или в качестве драйвера использован транзистор. Или использован чип Н-моста, монтаж произведен самостоятельно. Или использован готовый драйвер (готовый модуль с обвязкой, коннекторами и тп)

2.3.3. Контроллер. В качестве контроллера использован микроконтроллер (Atmega, STM и тп), монтаж и программирование были осуществлены самостоятельно. Или в качестве контроллера использована отладочная плата (Arduino, ESP32 и т.п.).

2.3.4. Монтаж электронных компонентов. Схема выполнена на электронной плате собственной разработки. Или схема выполнена на макетной плате методом пайки. Или схема выполнена на беспаячной макетной плате жесткими перемычками.

2.4. Программирование

Требования к программированию робота включают в себя требования к сложности алгоритма, к структуре программы и оформлению программы:

2.4.1. Алгоритм. Использован “релейный” алгоритм для отслеживания линии. Или использован пропорциональный регулятор для отслеживания линии. Или использован более сложный алгоритм для отслеживания линии

2.4.2. Структура программы. В программе используются библиотеки, написанные самостоятельно. Или в программе используются функции, их структура оптимизирована, нет дублирующих блоков программы. Или программа написана без использования функций, структура не оптимизирована.

2.4.3. Оформление программы. Код отформатирован, читаем, переменные имеют названия, соответственно назначению, есть комментарии.

2.5. В результате анализа Регламента я пришла к выводу, что могу самостоятельно изготовить каркас, колёса с шинами, механизм для сбивания планки и датчик, а драйвер и контроллер возьму готовые. Также необходимы дополнительная точка опоры и крепления конструктивных частей робота.

3. РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ РОБОТА И ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ

Исходя из анализа Регламента, конструкция робота состоит из каркаса, двух дисков колёс, шин для колёс, третьей опоры, механизма сбивания, датчика линии, корпуса и креплений конструктивных частей робота. Все конструктивные элементы робота, разработанные самостоятельно, были спроектированы в САПР Компас-3D.

3.1. Каркас

В качестве каркаса робота выбран фанерный лист толщиной 4мм. Данный материал лёгкий в обработке и прочный. Каркас первоначально выпилен ручным инструментом (пилой). Затем было принято решение выполнить каркас методом лазерной резки на основе чертежа (Рисунок 2).

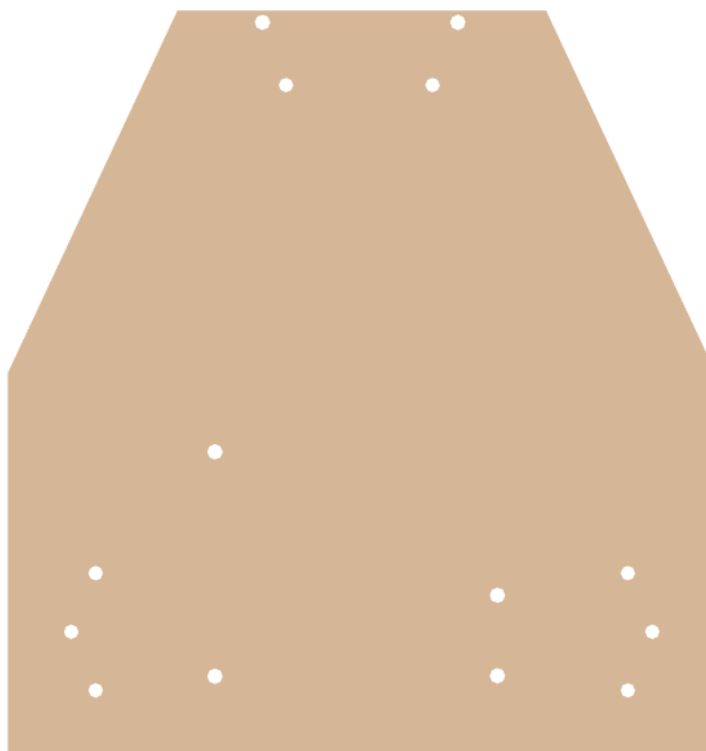


Рисунок 2. Каркас робота

3.2. Диски колёс

Модели колёс (Рисунок 3а) напечатаны самостоятельно на 3D-принтере. Для изготовления дисков использовался PLA-пластик, так как этот материал нетоксичный и имеет низкую температуру плавления. На Рисунке 3б показан готовое колесо с шиной.

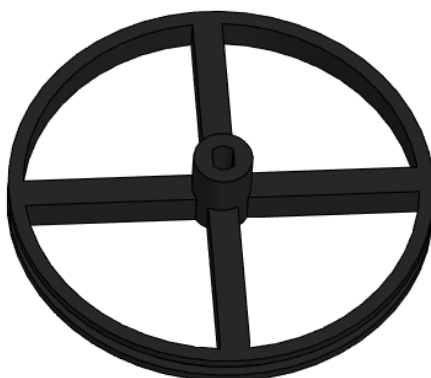


Рисунок 3а. Диски колёс робота



Рисунок 3б. Фотография готового колеса

3.3. Шины для колёс

Шины для колёс выполнены из силикона, для которых предварительно была смоделирована форма (Рисунок 4). Форма напечатана на 3D-принтере

из PLA-пластика и была залита силиконом на основе платины с твёрдостью 40 Шоль.

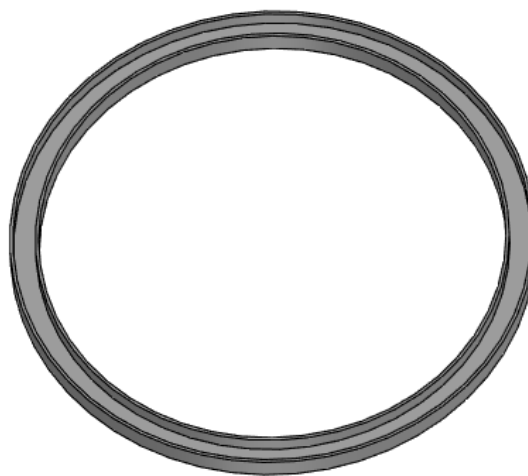


Рисунок 4. Модель формы для отливания шины из силикона

3.4. Дополнительная опора

Для того, чтобы придать устойчивость роботу, была спроектирована дополнительная точка опоры (Рисунок 5). К нижней части опоры была приклеена наклейка из фетра для уменьшения трения с полом.

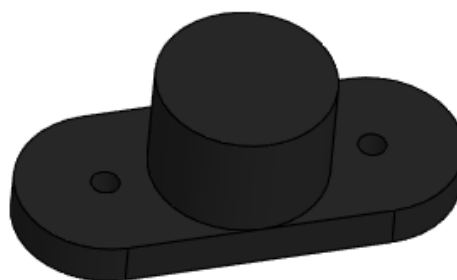


Рисунок 5. Дополнительная опора

3.5. Механизм сбивания

Одним из критериев работоспособности робота является сбивание планки. Разработанный мной механизм представляет собой инженерную систему (без нагрузки на вал мотора), изображённую на Рисунках 6а и 6б. Конструктивные элементы механизма напечатаны на 3D-принтере PLA-пластиком. Для того, чтобы привести систему в движение, используется сервопривод.

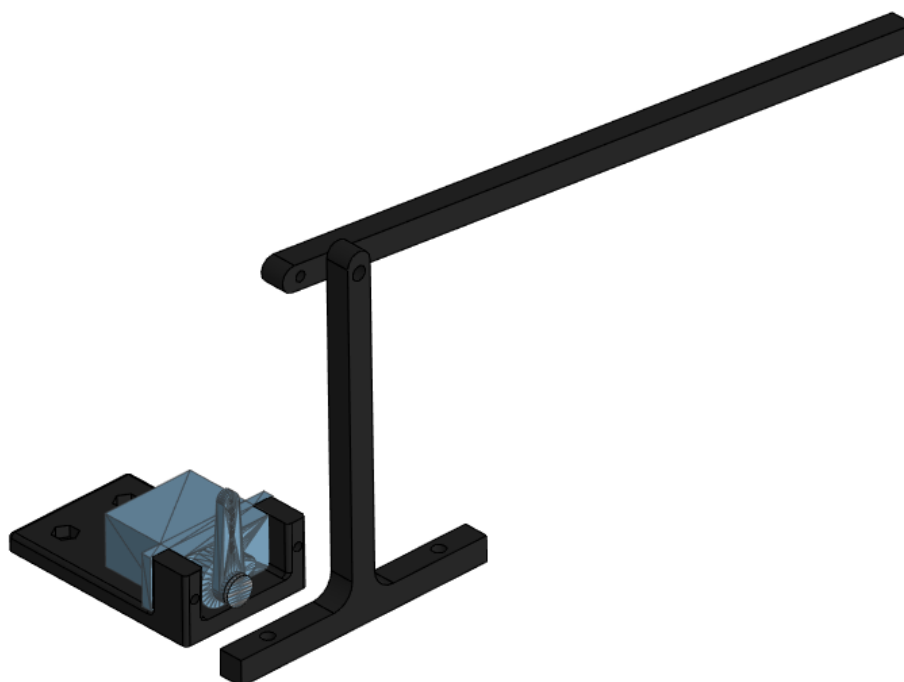


Рисунок 6а. Модель механизма сбивания

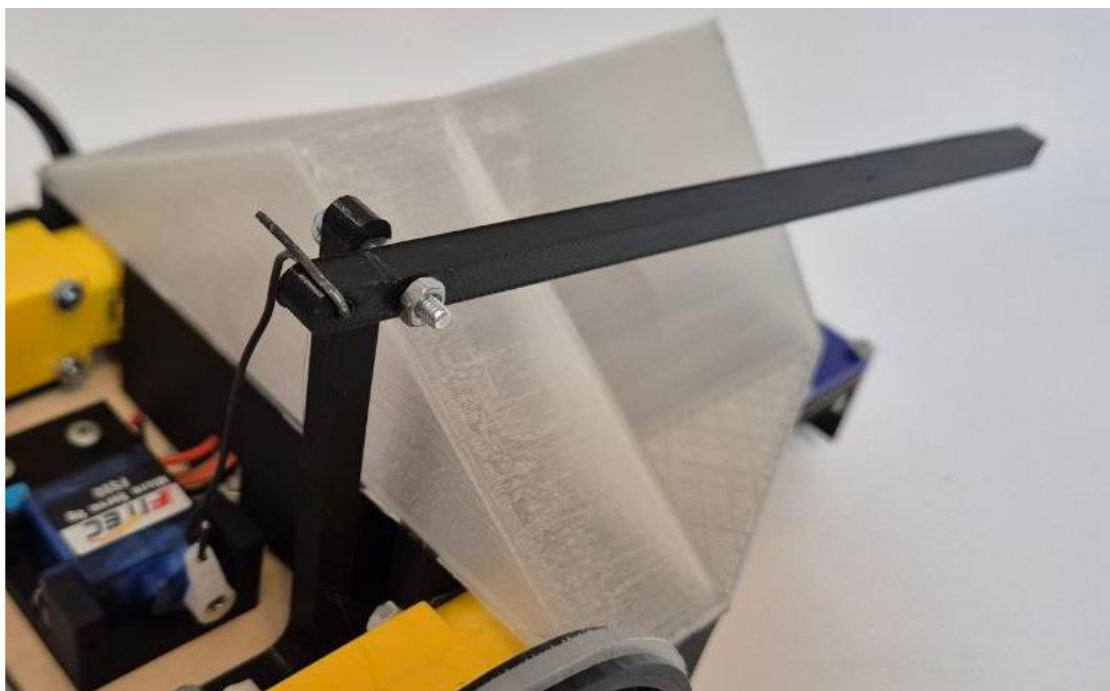


Рисунок 6б. Фотография механизма сбивания

3.6. Датчик линии

Вторым критерием работоспособности робота является проезд по трассе – движение вдоль чёрной линии. Сначала было принято решение сделать два отдельных датчика на платах методом пайки (Рисунок 7).

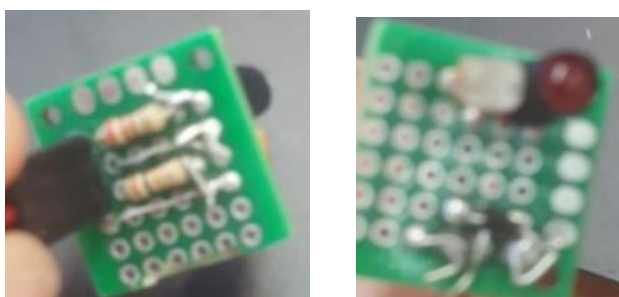


Рисунок 7. Один из датчиков линии на макетной плате методом пайки

После тестирования датчиков был обнаружен дефект в виде несущественной разницы в показаниях на чёрном и на белом цвете, поэтому было принято решение сделать два датчика на одной плате методом травления. Плата была самостоятельно спроектирована в САПР и вытравлена. На Рисунке 8 представлена принципиальная схема датчиков линии, а на Рисунке 9 – модель платы для травления.

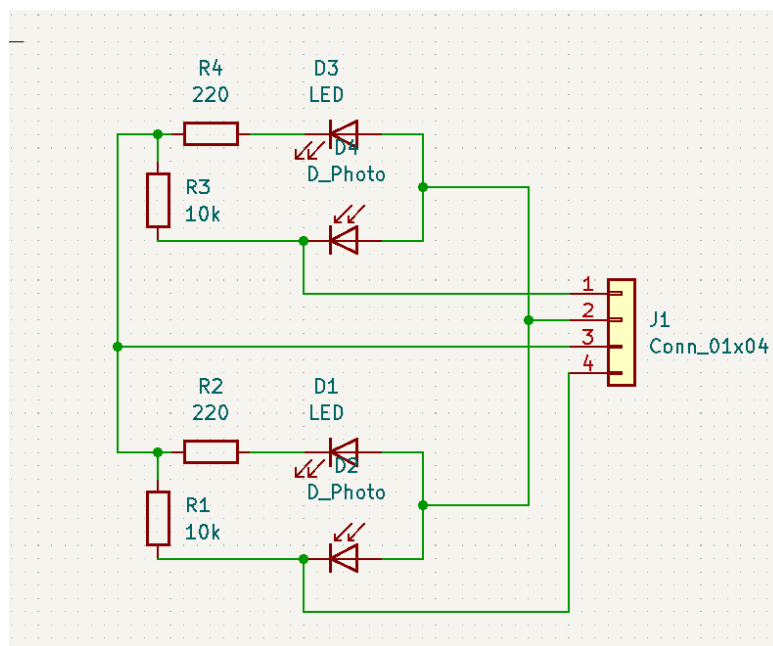


Рисунок 8. Схема датчиков линии

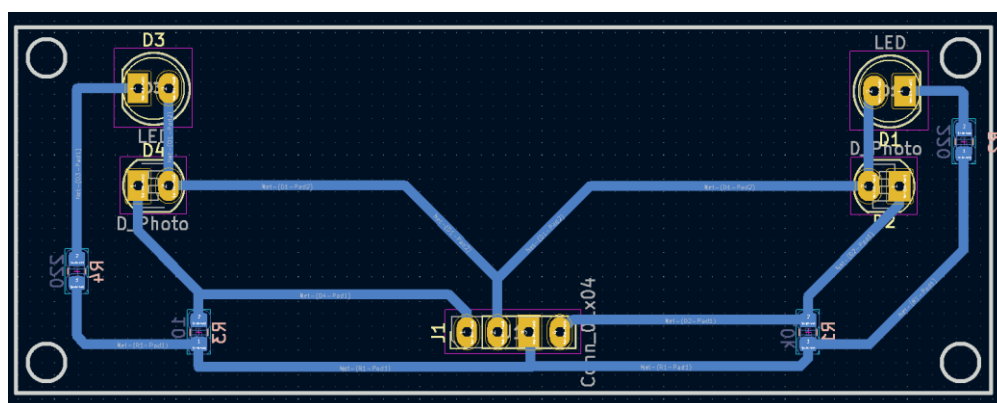


Рисунок 9. Плата для датчиков в САПР

На Рисунке 10а показан внешний вид датчика в САПР, на котором синим цветом показано стекло, которое нужно для эстетически красивого внешнего вида, бежевым – деревянная рамка, за которую датчик крепится к каркасу, зелёный – текстолит, на котором вытравлена плата, а чёрным – бампер, который не позволяет упавшей планке заходить под каркас робота и мешать его движению.

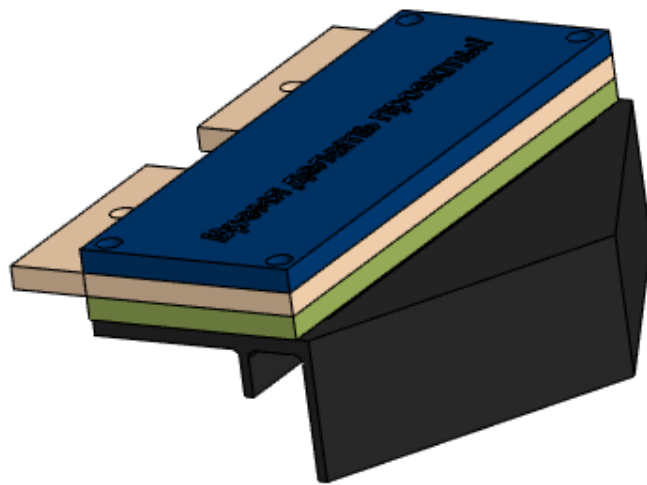


Рисунок 10а. Внешний вид датчика в САПР.

На Рисунках 10б и 10в представлен внешний вид готового датчика линии.

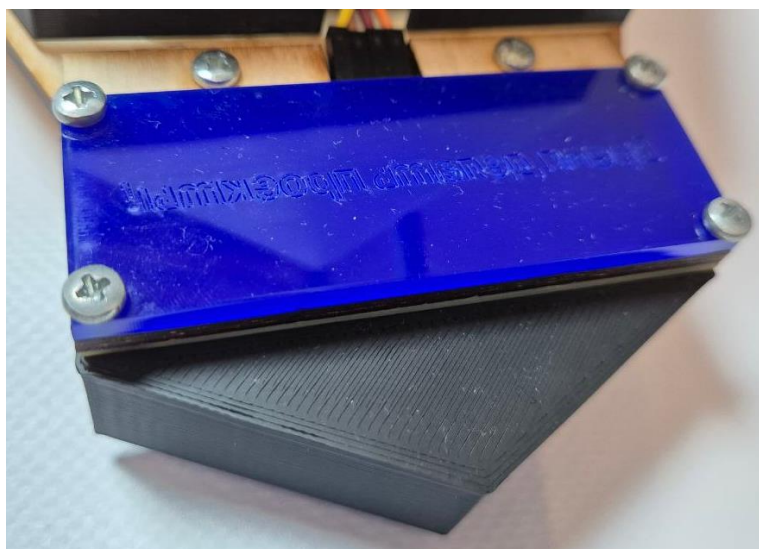


Рисунок 10б. Фотография датчика сверху

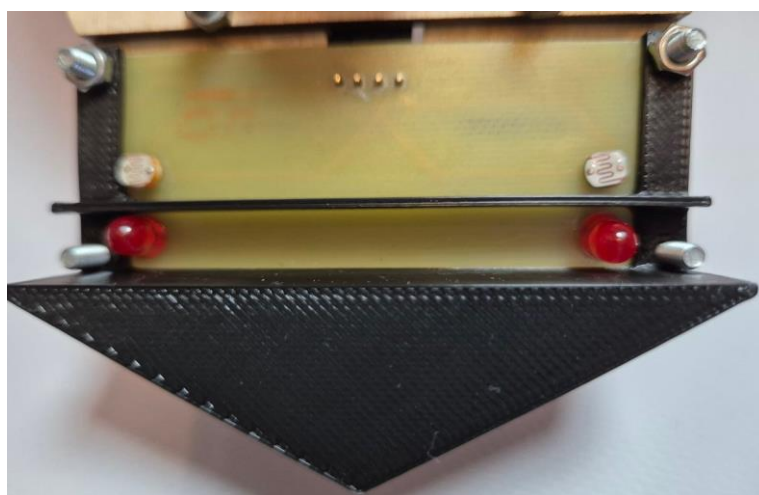


Рисунок 10в. Фотография датчика снизу

3.7. Крепления

Для того, чтобы соединить все детали робота вместе, были созданы крепления, напечатанные PLA-пластиком на 3D-принтере. На Рисунке 11 представлено крепление мотора, на Рисунке 12 – крепление тумблера, а на Рисунке 13 – крепление сервопривода.

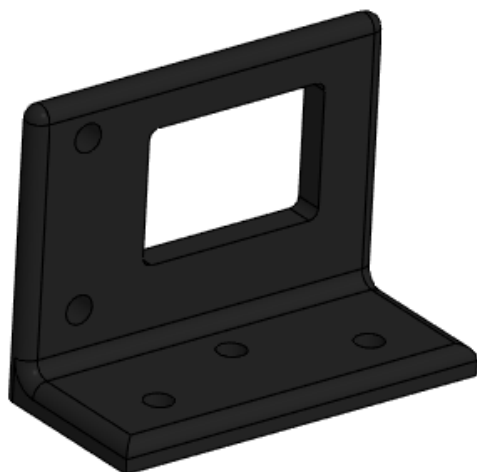


Рисунок 11. Крепление мотора

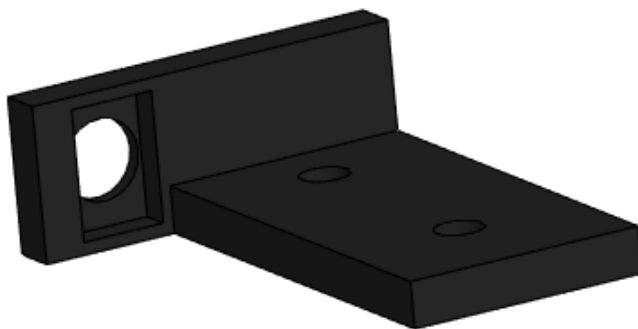


Рисунок 12. Крепление тумблера



Рисунок 13. Крепление сервопривода

3.8. Дизайн корпуса. После сборки робота я пришла к выводу о необходимости защитить электронные компоненты. Также при первом запуске было выявлено, что планка застревает на роботе и мешает дальнейшему движению. Поэтому был разработан корпус (Рисунок 14), состоящий из 2 частей: «стенок» и «крыши». «Стенки» помогают аккуратно разместить провода внутри корпуса, а «крыша» - закрывает электронику сверху и обеспечивает безопасность пользователя. Строение двускатной «крыши» позволяет планке не застревать на роботе, а падать с него вниз на поле. Корпус закреплён методом защёлкивания.

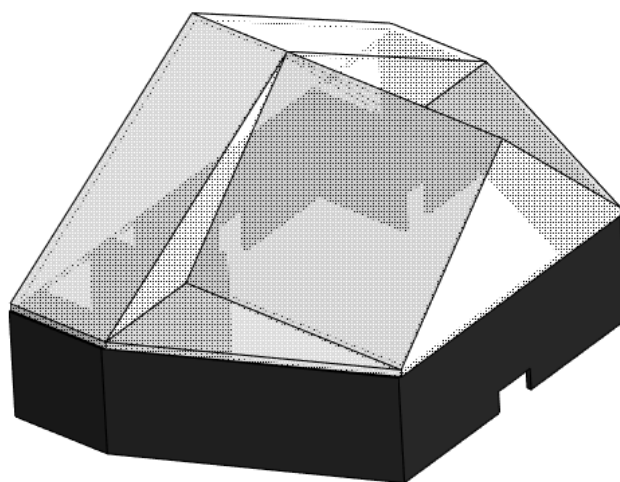


Рисунок 14. Корпус робота в САПР

3.9. Крепление аккумуляторов.

Большой просвет между каркасом и поверхностью дал возможность разместить элементы питания робота снизу. Они смещены ближе к колёсам, чтобы перенести центр тяжести назад и облегчить управление роботом. На Рисунке 15 представлено размещение элементов питания.

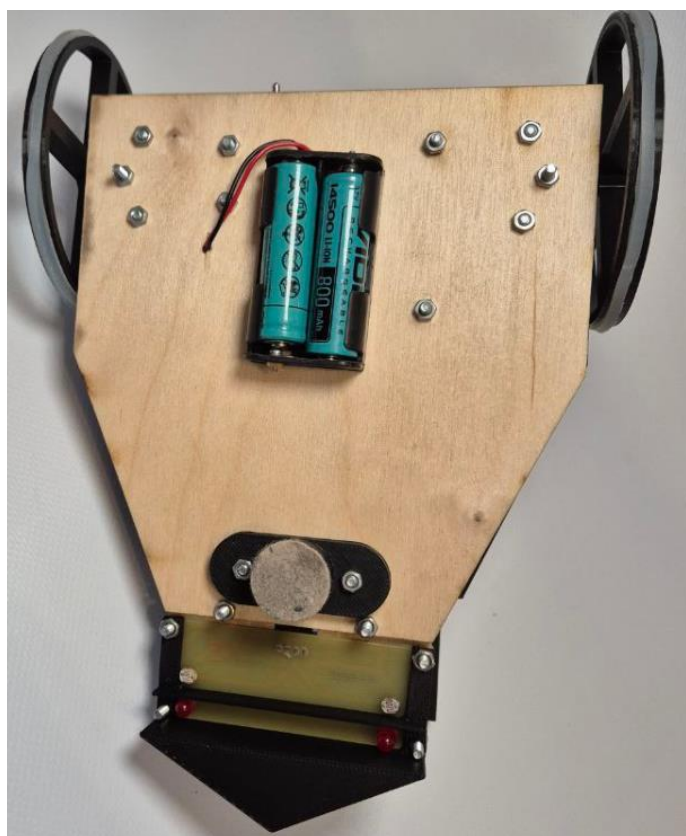


Рисунок 15. Размещение элементов питания

4. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Изначально для управления моторами планировалось использовать H-мост, содержащий 6 транзисторов, но из-за сложности сборки было принято решение использовать готовый драйвер DRV8833.

В Приложении А показана полная принципиальная схема робота.

5. СБОРКА

Благодаря созданию сборки в САПР, все детали робота были соединены, и все технические отверстия совпали, что упростило сборку робота. На Рисунке 16а показан внешний вид робота в САПР, а на Рисунке 16б – внешний вид готового робота.

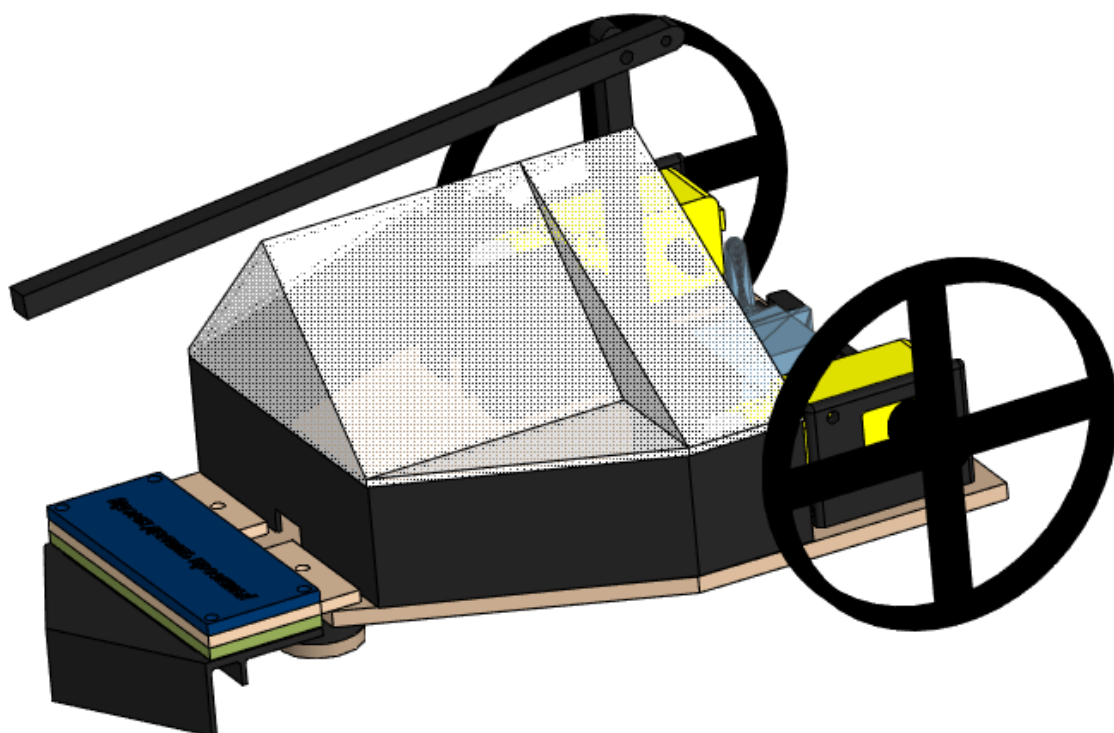


Рисунок 16а. Сборка робота в САПР

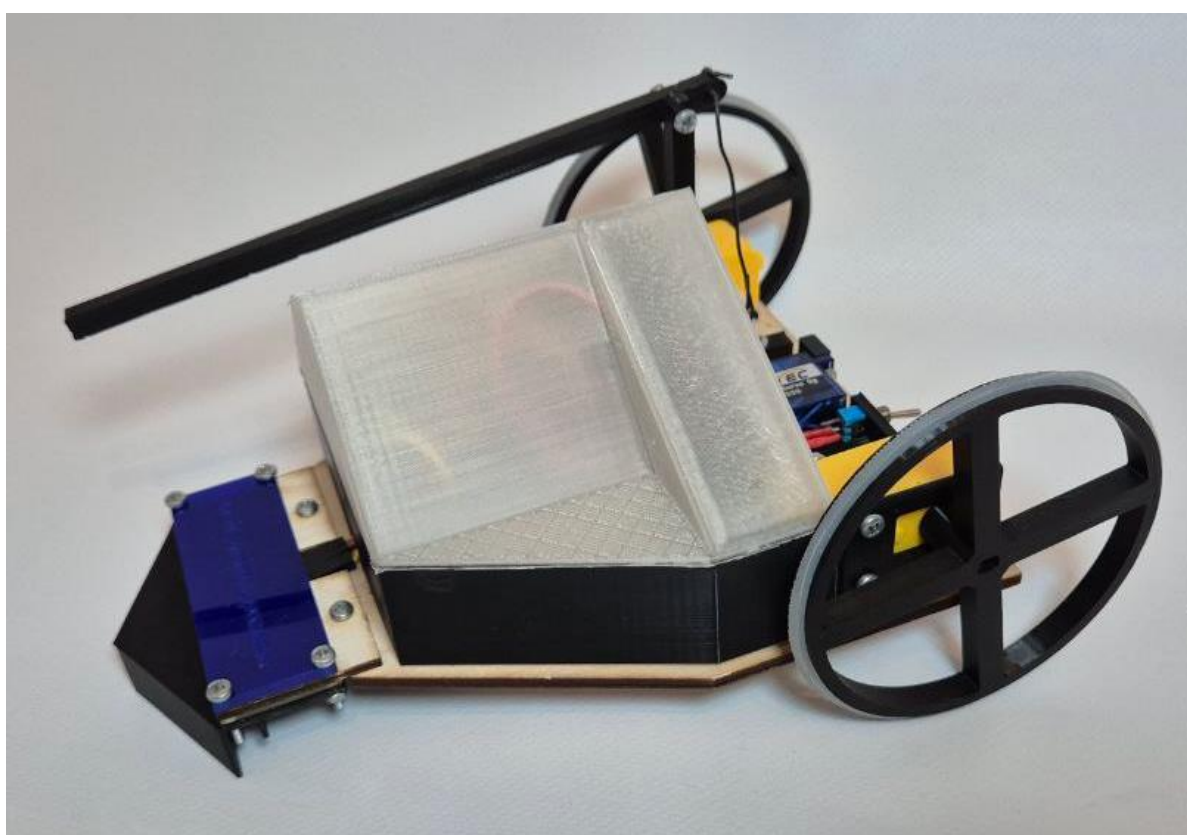


Рисунок 16б. Фото робота

6. ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Исходя из анализа, было выделено две подзадачи – движение робота вдоль чёрной линии и сбивание планки.

Программа написана на языке программирования C++, адаптированно-го для контроллера Arduino.

6.1. Движение вдоль линии. Осуществляется с помощью ПИД-регулятора. Он состоит из 3 частей: пропорциональной, интегрирующей и дифференцирующей. Пропорциональная составляющая вычисляется по следующей формуле:

$$\text{error} = \text{setpoint} - \text{actual_value}$$

где `setpoint` – значение, к которому нужно стремиться, а `actual_value` – разница между показаниями датчиков.

Коэффициент k_p , на который полученное выражение умножается в программе, регулирует изменение ошибки и, следовательно, скорость достижения заданного значения.

Интегрирующая составляющая вычисляется по следующей формуле:

$$\text{errorsum} = (\text{errorsum} + \text{error}) * dt$$

где `errorsum` – сумма всех предыдущих отклонений от заданного значения, умноженная на период дискретизации системы, то есть берётся интеграл ошибки по времени.

В самой программе это значение умножается на коэффициент k_i для регулировки скорости суммирования и чтобы не допустить перерегулирования.

Дифференцирующая составляющая вычисляется по следующей формуле:

$$(\text{error} - \text{errorold}) / dt$$

где разница между текущей ошибкой (`error`) и предыдущей ошибкой (`errorold`) делится на период дискретизации системы. Правильно подобранный коэффициент `kd`, при умножении на данную формулу, позволяет настроить управляющее воздействие в зависимости от скорости изменения ошибки.

Для получения управляющего воздействия необходимо просуммировать полученные значения:

$$\text{upd} = k_p * \text{error} + k_i * \text{errorsum} + k_d * (\text{error} - \text{errorold}) / dt$$

где `upd` – управляющее воздействие.

Итоговый алгоритм движения по линии выглядит следующим образом:

```
void line() {
    sensor_read();
    int actual_value = sensor1 - sensor2;
    int error = setpoint - actual_value;
    errorsum = (errorsum + error) * dt;
    int upd = k_p * error + k_i * errorsum + k_d * (error -
errorold) / dt;
    move(130 - upd, 130 + upd);
    delay(10);
    errorold = error;
}
```

В среднем, робот проезжает трассу и сбивает планку с использованием выбранного регулятора в 80% случаев.

6.2. Для сбивания планки используется сервопривод. Разработаны следующие процедуры:

```
void up(){  
    servo.write(50);  
}
```

```
void down(){  
    servo.write(0);  
}
```

7. ОТЛАДКА

7.1. При первых испытаниях разница между показаниями датчиков на чёрном и на белом была меньше 100 единиц из 1024, так как светодиод за-свечивал фоторезистор, поэтому было принято решение поставить экран между ними. После этого разница между показаниями на чёрном и на белом увеличилась до 300 единиц из 1024, благодаря чему можно обеспечить более стабильное движение вдоль чёрной линии.

7.2. В процессе испытаний один из двигателей не работал при подклю-чении сервопривода. Выяснилось, что использование библиотеки «Servo.h» не позволяет использовать 9 и 10 пины для управления двигателями с помо-щью ШИМ, поэтому было принято решение использовать 7 и 11 пины.

7.3. После запуска робота оказалось, что сервопривод работает неста-бильно, отклоняясь от заданного угла более, чем на 10 градусов. Эта пробле-ма была решена установкой преобразователя питания и заменой самого сер-вопривода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы робот отвечает заявленным требованиям, указанным в Регламенте. За время работы над роботом я приобрела разнообразные полезные навыки: составление принципиальных схем, умение травить платы, опыт литья из силикона, создание чертежей для лазерной резки, также усовершенствовала навыки создания 3D-моделей. Я считаю, что опыт участия в этой олимпиаде очень важен и может пригодиться мне в будущем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

https://mosrobotics.ru/wp-content/uploads/2023/10/Юный-инженер_V1.pdf – Регламент (последнее захождение – 20.04.2024)

<https://alexgyver.ru/lessons/pid/> – информация о ПИД-регуляторе (последнее захождение – 20.04.2024)

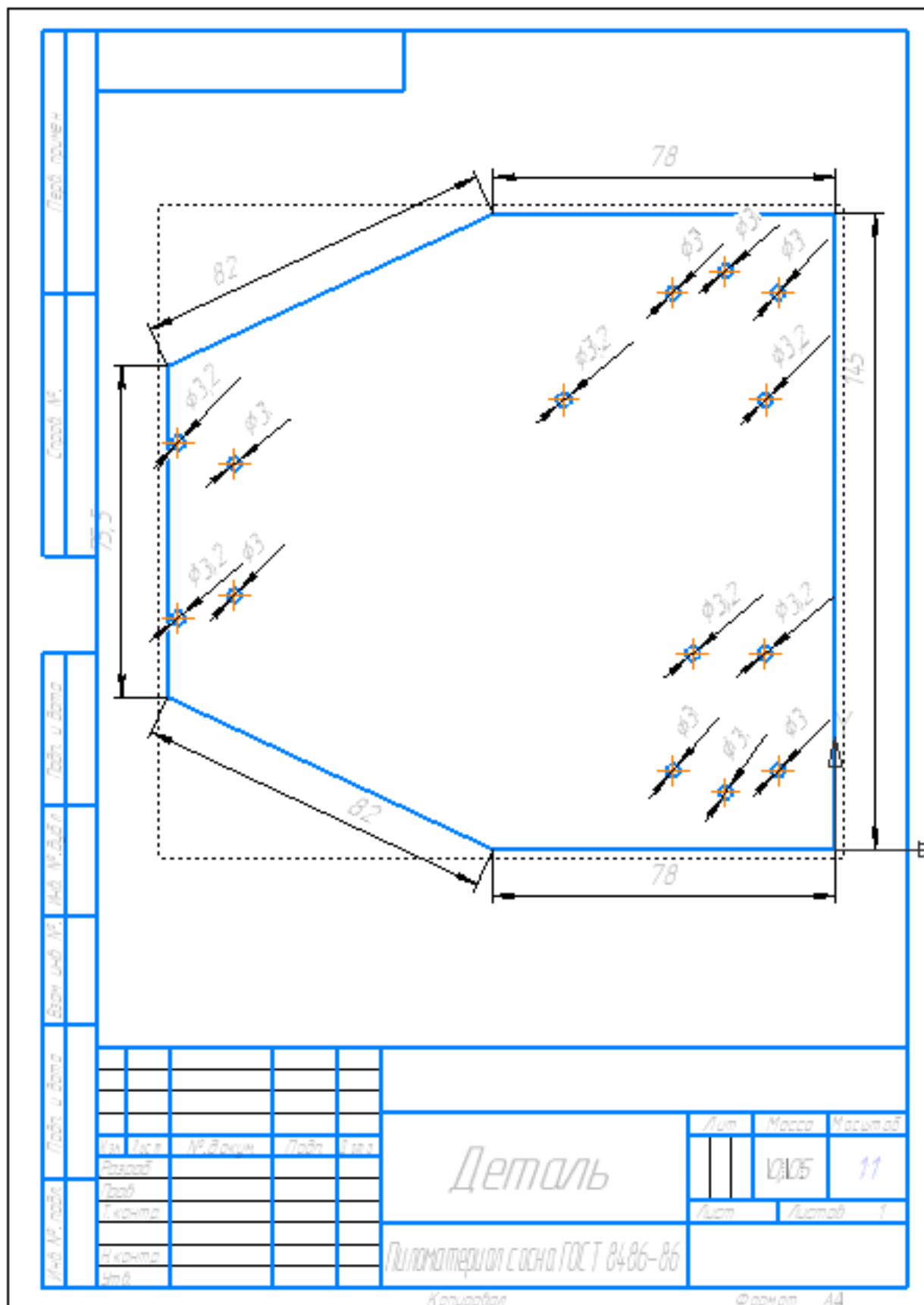


Рисунок Б. Чертёж каркаса