

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**

**ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**“Национальный исследовательский университет ИТМО”**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНОГО ШЕСТИКОЛЕСНОГО  
РОБОТА С МАНИПУЛЯТОРОМ ДЛЯ УЧЕБНЫХ ЦЕЛЕЙ**

Автор Барышников Артём Сергеевич \_\_\_\_\_  
(Фамилия, Имя, Отчество)

Направление подготовки (специальность) 15.03.06 \_\_\_\_\_  
Мехатроника и робототехника (код, наименование)

Квалификация бакалавр \_\_\_\_\_  
(бакалавр, магистр, инженер)

Руководитель ВКР Абрамчук М.В., к.т.н. \_\_\_\_\_  
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень)

Санкт-Петербург, 2020 г.

Обучающийся Барышников Артем Сергеевич  
(ФИО полностью)

Группа R3425 Факультет/институт/кластер Систем управления и робототехники

Направленность (профиль), специализация Мехатроника

---

Дата защиты “ 16 ” июня 2020 г.

Секретарь ГЭК Цветкова Мадина Хасановна  
(ФИО)

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**"НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО"**

**УТВЕРЖДАЮ**

Руководитель ОП

Мусалимов В.М.  
(Фамилия, И.О.)

« 15 » « января » 2020 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Обучающийся Барышников Артём Сергеевич  
(ФИО полностью)

Группа R3425 Факультет/институт/кластер Систем управления и робототехники

Руководитель Абрамчук М.В., Университет ИТМО, преподаватель к.т.н.  
(ФИО полностью, место работы, должность, ученая степень, ученое звание)

**1 Наименование**

темы: Проектирование малогабаритного шестиколесного робота с манипулятором  
для учебных целей

Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника

**Направленность (профиль)**

Мехатроника

Квалификация бакалавр

**2 Срок сдачи студентом законченной работы до « 01 » « июня » 2020 г.**

**3 Техническое задание и исходные данные к работе**

преодолевать препятствие высотой 150 мм

иметь возможность взаимодействовать с окружающим миром

время автономной работы не менее 40 минут

масса робота не более 8 кг

габаритные размеры робота не более (д х ш х в) 400 х 400 х 400 мм

иметь возможность работать в режиме телеуправления

минимальная дальность связи 50 метров

иметь возможность поднять груз до 2 кг

угол обзора не менее 120 градусов

#### **4 Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов)**

1. Введение

---

2. Обзор аналогов

---

3. Анализ основных элементов конструкции робота

---

4. Выбор основных элементов конструкции робота

---

5. Комплектующие

---

6. Особенности платформы

---

7. Заключение

---

#### **5 Перечень графического материала (с указанием обязательного материала)**

1. Аналоги

---

2. Комплектующие

---

3. Модели робота

---

4. Фото робота

---

---

---

#### **6 Исходные материалы и пособия**

1. Сборник научных статей. [Электронный ресурс] Режим доступа:

---

[http://nauka.edu54.ru/download/Youth\\_Innovation\\_Technology.pdf](http://nauka.edu54.ru/download/Youth_Innovation_Technology.pdf)

---

2. Характеристики марсохода Curiosity. [Электронный ресурс] Режим доступа:

---

<https://habr.com/ru/post/149168/>

---

---

**7 Дата выдачи задания** « 15 » « января » 2020 г.

Руководитель ВКР Абрамчук М.В.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**"НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО"**

## АННОТАЦИЯ

### ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Обучающийся Барышников Артём Сергеевич  
(ФИО)

Наименование темы ВКР: Проектирование малогабаритного шестиколесного робота с манипулятором для учебных целей

Наименование организации, где выполнена ВКР Университет ИТМО

### ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1 Цель исследования Спроектировать малогабаритного шестиколесного робота с манипулятором для учебных целей

2 Задачи, решаемые в ВКР \_\_\_\_\_

3 Число источников, использованных при составлении обзора 3

4 Полное число источников, использованных в работе 14

5 В том числе источников по годам

Отечественных			Иностраных		
Последние 5 лет	От 5 до 10 лет	Более 10 лет	Последние 5 лет	От 5 до 10 лет	Более 10 лет
6	2	2	5	2	-

6 Использование информационных ресурсов Internet Да, 15  
(Да, нет, число ссылок в списке литературы)

7 Использование современных пакетов компьютерных программ и технологий (Указать, какие именно, и в каком разделе работы)

Пакеты компьютерных программ и технологий	Раздел работы
Microsoft Office	ПЗ
SolidWorks	ПЗ
Polygon 2.0	ПЗ

8 Краткая характеристика полученных результатов Разработанная конструкция шестиколесного робота является многофункциональной. Данный учебный робот можно использовать для проведения лабораторных и практических работ для студентов старших курсов обучающихся по направлению «Робототехника» и смежным курсам. Так же данный робот можно использовать на предприятиях для повышения квалификации работников. В ходе выполнения данной работы были выполнены все поставленные в начале задачи.

9 Полученные гранты, при выполнении работы \_\_\_\_\_  
(Название гранта)

10 Наличие публикаций и выступлений на конференциях по теме выпускной работы Да  
(Да, нет)

а) 1 Барышников А.С. (науч. рук. Абрамчук М.В.) Проектирование малогабаритного  
(Библиографическое описание публикаций)  
шестиколесного робота с манипулятором для передвижения по пересеченной местности  
[2020, электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/3832>

б) 1 \_\_\_\_\_  
(Библиографическое описание выступлений на конференциях)

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Обзор аналогов.....	7
1.1 4WD Smart Robot Car .....	8
1.2 Робот Yahboom 6WD smart robot .....	9
1.3 Leo Rover 4WD.....	11
2 Анализ основных элементов конструкции робота .....	14
2.1 Анализ шасси .....	14
2.1.1 Шасси «Автомобильного» типа.....	14
2.1.2 Полноуправляемое шасси.....	15
2.1.3 Гусеничное шасси .....	15
2.2 Анализ типов подвески .....	16
2.2.1 Пассивная подвеска.....	16
2.2.2 Активная подвеска .....	17
3 Выбор основных элементов конструкции робота .....	18
4 Комплектующие.....	20
4.1 Двигатели и контроллеры управления скоростью .....	20
4.2 Бортовой вычислитель .....	23
4.3 Плата расширения для бортового ПК .....	25
4.4 Камера.....	25
4.5 Wi-Fi модуль .....	27
5 Особенности платформы.....	30
5.1 Колесный блок .....	32
5.2 Активная система подвески.....	33
5.3 Манипулятор .....	35
5.4 Центральная платформа робота .....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	39
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	42

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время мобильная робототехника проникает все в большее количество сфер нашей жизни. Роботы, разработанные такими компаниями как Boston Dynamics, iRobot, KUKA Roboter, используются на промышленных предприятиях и для автоматизации рутинных домашних дел.

В тоже время одними из наиболее востребованных на рынке, являются роботы способные работать в условиях чрезвычайных ситуаций и производящие разведку новых планет, роботы военного и бытового назначения. В связи с чем появляется потребность специалистах, которые могут проектировать, программировать и управлять этими роботами.

Поэтому эта работа посвящена проектированию малогабаритного шестиколесного робота с манипулятором для учебных целей

Целью данной работы является создание с помощью системы автоматизированного проектирования (САПР) и компьютерного моделирования 3D – модели робота и последующего изготовления его функционирующего образца с помощью технологий трехмерной печати АБС (акрилонитрил-бутадиен-стирол) пластиком методом FDM (filament deposition manufacturing).

Далее приведены технические требования, которым должен отвечать образец:

- преодолевать препятствие высотой 150 мм
- иметь возможность взаимодействовать с окружающим миром
- время автономной работы не менее 40 минут
- масса робота не более 8 кг
- габаритные размеры робота не более (д х ш х в) 400 х 400 х 400 мм
- иметь возможность работать в режиме телеуправления



- минимальная дальность связи 50 метров
- иметь возможность поднять груз до 2 кг
- угол обзора не менее 120 градусов
- высокий потенциал модернизации

Задачи, поставленные перед работой:

- рассмотреть существующие аналоги
- выбрать основные детали конструкции робота
- произвести подбор комплектующих
- разработать 3D модель робота согласно выбранным комплектующим
- собрать и протестировать робота

## 1 Обзор аналогов

Каждый день в мире производится больше количество роботов в том числе и учебных. Поэтому для удобства разделим: всех учебных роботов на 3 ценовые категории:

- 1 категория — это дешёвые роботы. Цена от 0 до 10000 рублей. Роботы данной категории предназначены для людей, которые только знакомятся с миром робототехники. Чаще всего они оснащены самыми простыми датчиками и сервоприводами; В качестве бортового компьютера используется Arduino UNO или Arduino NANO.
- 2 категория — это роботы средней ценовой категории их стоимость начинается от 10000 рублей и заканчивается 40000 рублей. Эти роботы, более продвинутые в технологическом плане по сравнению с роботами из 1 категории и предназначены для людей, у которых уже есть базовые знания в языке программирования Python и ОС Linux. В качестве бортового компьютера чаще всего используется Arduino UNO или Raspberry Pi 3. Роботы уже могут оснащаться любыми видами датчиков и сервоприводов, а также на них могут быть установлены двух – трехзвенные манипуляторы.
- 3 категория — это высшая ценовая категория. Стоимость начинается от 40000 рублей и не имеет верхнего предела. Роботы данной категории нужны для углубленного изучения электроники, схемотехники, 3D – моделирования, прикладной механики и т.д. Поэтому в эту категорию можно занесли любого робота начиная от промышленного манипулятора и заканчивая военным беспилотником. Роботы данной категории отличаются своей технологичностью и продуманностью конструкции. Этой ценовой

категории характерны резкие скачки в стоимости роботов и мелкосерийное производство специальных обучающих роботов. Проектируемый в данной работе робот призван облегчить переход людей из 2 категории в 3. Он должен помочь им постепенно получать необходимые навыки и знания для профессиональной работы в области робототехники.

### 1.1 4WD Smart Robot Car

4WD Smart Robot Car (Рис. 1) — это четырёхколёсная платформа, предназначенная для начального ознакомления с программной оболочкой Arduino [1]. Конструкция робота крайне проста: основой робота являются 2 пластмассовых основания, с крепежными отверстиями, между ними жестко закреплены 4 мотора. Данный робот принадлежит первой ценовой категории и рекомендован для обучения детей младшего возраста в школьных кружках и секциях дополнительного образования.

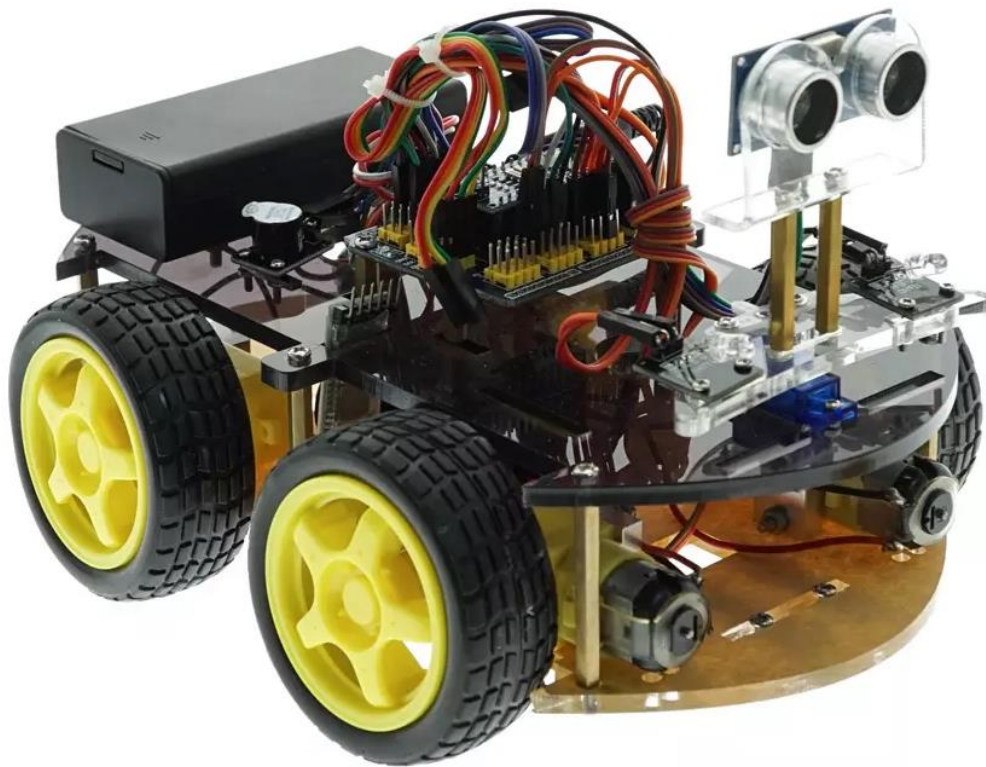


Рисунок 1 – Робот 4WD Smart Robot Car

Особенности робота:

- Управляющий микроконтроллер — Arduino Nano.
- Драйвер двигателя — L298N.
- Плата расширения — Multifunction Expansion Board.
- Четыре мотор – редуктора MG – 6 – 48.
- Серводвигатель, поворачивающий ультразвуковой дальномер — SG90 analog servo.
- Ультразвуковой дальномер HC-SR04.
- Три датчика слежения за линией — Keyestudio.
- Управление роботом может осуществляться с помощью инфракрасного пульта управления или по Bluetooth.
- Габаритные размеры робота (Д x Ш x В) — 230 мм x 200 мм x 60 мм.
- Масса 0,63 кг.
- Стоимость робота составляет 5500 рублей.

## 1.2 Робот Yahboom 6WD smart robot

Yahboom 6WD smart robot (Рис. 2) — это шестиколесный мобильный робот с активной системой подвески, оснащённый камерой и управляемый контроллером Arduino UNO, большинство его деталей из алюминиевого сплава [2]. Верхняя плата имеет несколько различных отверстий, с их помощью сверху на плату могут быть установлены модули и датчики. Управлять роботом можно через любое Android или iOS устройство с помощью двух разных способов: Bluetooth и Wi-Fi. Yahboom 6WD smart robot принадлежит 2 ценовой категории и предназначен для обучения старшеклассников и студентов университетов начальных курсов. Технические характеристики робота приведены в Таблице 1.



Рисунок 2 – Робот Yahboom 6WD smart robot

Особенности робота:

- Питание от литий-ионного аккумулятора ёмкостью 2200 мА\*ч.
- 85 мм шины с внедорожным протектором, которые увеличивают проходимость робота.
- Wi - Fi камера для записи видео или управления роботом в онлайн режиме.
- Многофункциональная плата расширения совместимая с 4 контроллерами: 51 MCU, STM32, Arduino UNO и Raspberry Pi 3B / 3B+.
- Шасси может быть оборудовано четырьмя или шестью независимо управляемыми двигателями.

Таблица 1 — Технические характеристики Yahboom 6WD smart robot

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Габаритные размеры (Д x Ш x В)	280 мм x 280 мм x 160 мм
Масса	2,1 кг
Стоимость робота	23000 рублей
Управляющий контроллер	Arduino UNO
Входное напряжение мотора	12 В
Мощность мотора	2 Вт
Крутящий момент мотора	0,95 кг/см
Скорость вращения мотора под нагрузкой	140 об/мин
Диаметр выходного вала мотора	4 мм
Напряжение питания платы расширения	12,6 В~24 В
Блок питания	LM2596, XL4005
Драйвер мотора	AM2857
Драйвер сервопривода	PCA9685

### 1.3 Leo Rover 4WD

Leo Rover 4WD (Рис. 3) — четырёхколесный робот с активной системой подвески управляемый одноплатным компьютером Raspberry Pi 3 и предназначенный для обучения не только в лабораторных, но и полевых условиях [3]. Технические характеристики Leo Rover 4WD приведены в Таблице 2.



Рисунок 3 – Робот Yahboom 6WD smart robot

Особенности робота:

- Наличие активной системой подвески, которая позволяет преодолевать препятствия высотой до 70 мм.
- Грузоподъёмность до 5 кг.
- Корпус имеет степень защиты от внешних воздействий равную IP66, то есть во внутрь корпуса не может проникнуть пыль и вода под напором.
- Дальность связи до 100 м.
- Время работы до 4 часов.

Таблица 2 — Технические характеристики Leo Rover 4WD

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Габаритные размеры (Д x Ш x В)	410 мм x 460 мм x 270 мм
Масса	6,5 кг
Стоимость робота	245000 рублей
Управляющий контроллер	Raspberry Pi 3 B+
Диаметр колеса	130 мм
Ёмкость аккумулятора	5 А*ч
Разрешение камеры	5 Мп
Угол обзора камеры	170°
Wi – Fi точка доступа	2,4 ГГц

Yahboom 6WD smart robot это учебный робот принадлежащий 3 ценовой категории и выпускаемый по заказ. Его функционала вполне достаточно для того, чтобы дать начальные знания для людей желающих в будущем управлять и разрабатывать планетоходы, военных и спасательных роботов.



## 2 Анализ основных элементов конструкции робота

Основным элементом, от которого зависит большая часть конструкции робота — это его ходовая часть. После её выбора следует понять, как она будет крепиться с корпусом робота. Эту функцию выполняет подвеска. Поэтому далее будут рассмотрены варианты ходовых частей и подвесок, выявлены их плюсы и минусы.

### 2.1 Анализ шасси

#### 2.1.1 Шасси «Автомобильного» типа

Шасси данного типа представлено на рисунке 4 [4]. Её особенностью является одна поворотная и одна статичная ось. Данное шасси удобно использовать в неограниченном пространстве. Отсюда и вытекает минус данного шасси — большой радиус разворота относительно габаритов машины.

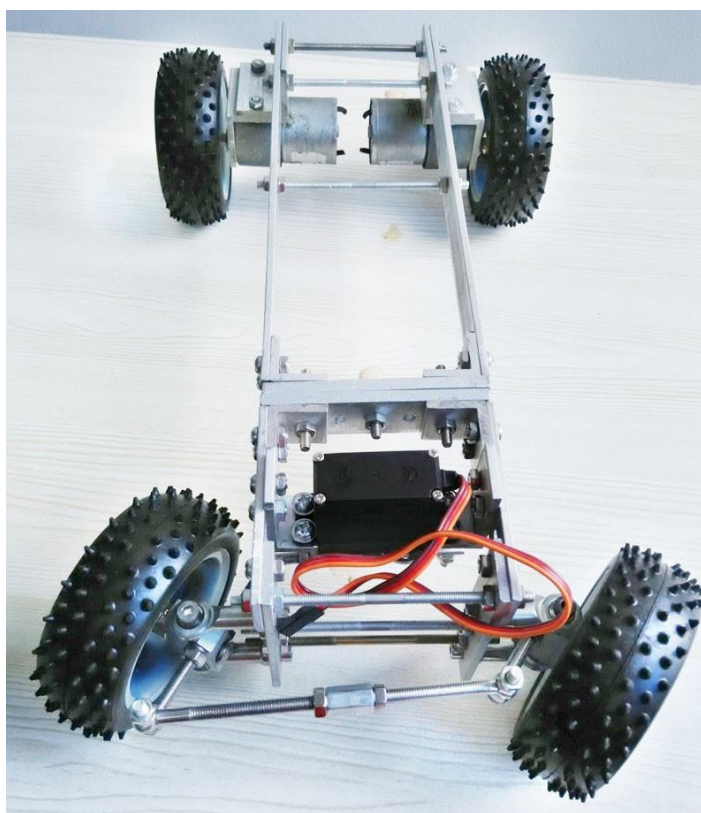


Рисунок 4 – Платформа с шасси «Автомобильного» типа

## 2.1.2 Полноуправляемое шасси

Второй вариант шасси — это платформа со всеми поворотными колесами (Рис. 5) [5]. Из плюсов данного шасси можно отметить малый радиус поворота, который обеспечивается поворотом всех колес. К минусам можно отнести сложность проектирования узлов управления каждым колесом.

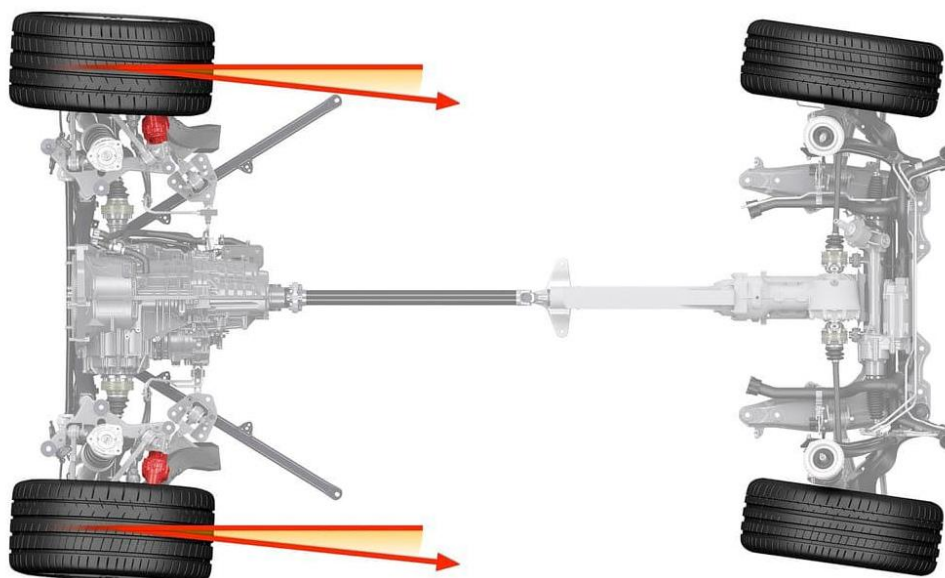


Рисунок 5 – Полноуправляемое шасси

## 2.1.3 Гусеничное шасси

На рисунке 6 представлена гусеничная платформа. Движение осуществляется за счет вращения гусениц [6].

Для данной конструкции характерны высокая проходимость и точность перемещений, но также сложность ремонта в случае выхода гусеницы из строя. Также к недостаткам гусеничных шасси можно отнести возможность проскальзывания при выполнении танкового разворота на скользкой поверхности, а также проблема расчета одометрии, т.к. фактически из-за проскальзывания, колеса прокручивают больше оборотов, чем требуется.



Рисунок 6 – Гусеничная платформа

## 2.2 Анализ типов подвески

### 2.2.1 Пассивная подвеска

На рисунке 7 представлена платформа с пассивной подвеской. Её особенностью является то, что параметры такой подвески (жесткость, высота) не могут быть изменены каким-либо внешним воздействием [7].



Рисунок 7 – Платформа с пассивной подвеской

Достоинством данной конструкции является именно простота, так как колеса крепятся напрямую к центральной части робота и являются статическими. К недостаткам можно отнести слабую проходимость по пересеченной местности.

### 2.2.2 Активная подвеска

На рисунке 8 представлена платформа с активной подвеской. По сравнению с предыдущей подвеской параметры подвески изменяются в зависимости от поверхности, по которой передвигается робот, что обеспечивает ему большую проходимость по сравнению с роботами на пассивной подвеске. К недостаткам данной подвески можно отнести сложность её конструкции по сравнению с пассивной подвеской.



Рисунок 8 – Платформа с неповоротными колесам и активной подвеской

### 3 Выбор основных элементов конструкции робота

Проведя анализ основных элементов конструкции робота для достижения поставленной цели выбрана, шестиколесная платформа. Для повышения проходимости принято решение реализовать активную систему подвески, т.к. робот призван решать профессиональные задачи, то он должен уметь преодолевать препятствия, встречающиеся в быту, например лестничные марши, бордюры, пороги и т.д. [8].

В качестве шасси было принято решение использовать полноуправляемое [9], но при этом не использовать мосты для связи колес между собой, а повторить систему шасси, характерную для марсианских роверов, сделанных по проекту Mars Exploration, марсохода Curiosity, показанного на рисунке 9 [10]. Данная система обладает широкой колесной базой и относительно низким положением центра масс, что делает ее весьма устойчивой на пересеченной местности.

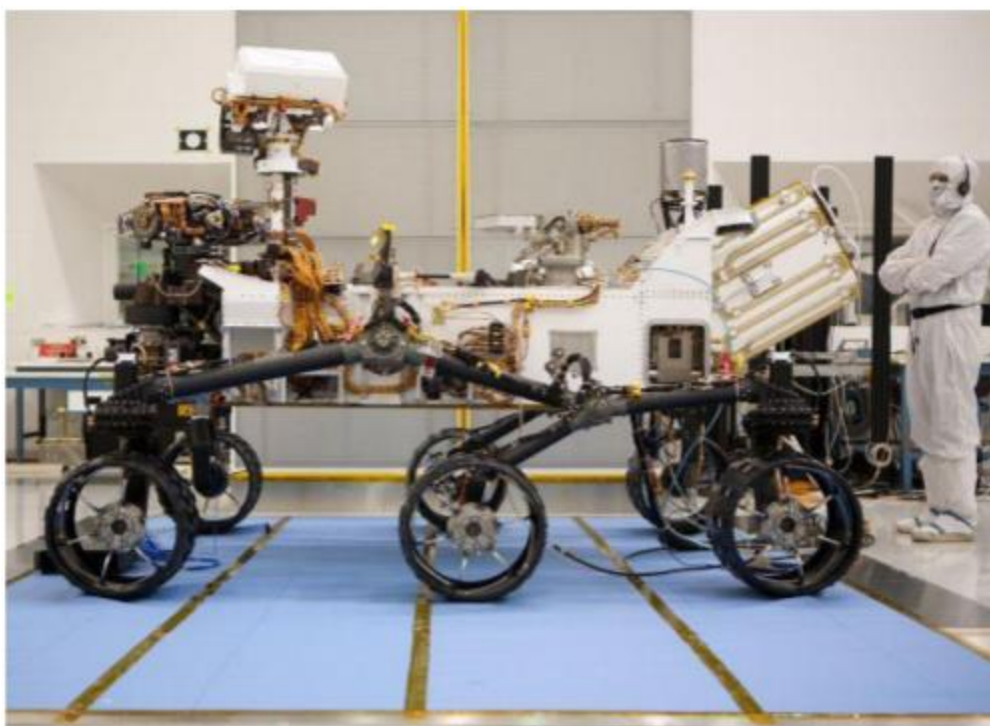


Рисунок 9 – Марсоход Curiosity

В итоге платформа бегущего робота будет сочетать в себе как преимущества активной подвески, позволяющей преодолевать неровности пересеченной местности, так и независимо управляемые при помощи сервоприводов поворотные колеса, которые позволяют отрабатывать как поведение системы, использующей только развороты на месте, так и имитацию поворота подобно автомобилю, когда направление движения задается передней, задней или обеими парами колес

## 4 Комплектующие

### 4.1 Двигатели и контроллеры управления скоростью

В качестве основных двигателей сначала использовались червячные мотор-редукторы ASLONG JGY371 (Рис. 10) ввиду невысокой себестоимости, управляющие скоростью напрямую каждого из шести колес [11]. Достоинством червячных редукторов является отсутствие необходимости использовать дополнительные программные средства для того, чтобы удерживать платформу на наклонной поверхности, что облегчает управление роботом на пересеченной местности.



Рисунок 10 – Червячный мотор-редуктор JGY371

В ходе испытаний выявился существенный недостаток выбранных моторов – это низкая скорость движения робота. Развиваемой скорости оказалось недостаточно для зацепа протектора покрышек за неровности и выступы поверхности. Также на данных моторах неудачно выполнен разъем для подключения – робот мог сам себе их отключать иногда, путем зацепа разъема за препятствие.

Вследствие чего червячные мотор-редукторы заменены на бесколлекторные мотор-редукторы постоянного тока 12В ASLONG JGB37-107rpm (Рис. 11) с большей скоростью вращения, также имеющих относительно невысокую стоимость (12\$). Технические характеристики ASLONG JGB37 представлены в таблице 3 [12]. Управление моторами осуществляется с помощью двух драйверов RC-ESC20A, по одному на каждый борт, представленных на рисунке 12. Средняя пара моторов оснащена энкодерами для определения, пройденного роботом пути. Технические характеристики RC-ESC20A представлены в таблице 4 [13].



Рисунок 11 – Двигатель постоянного тока ASLONG JGB37

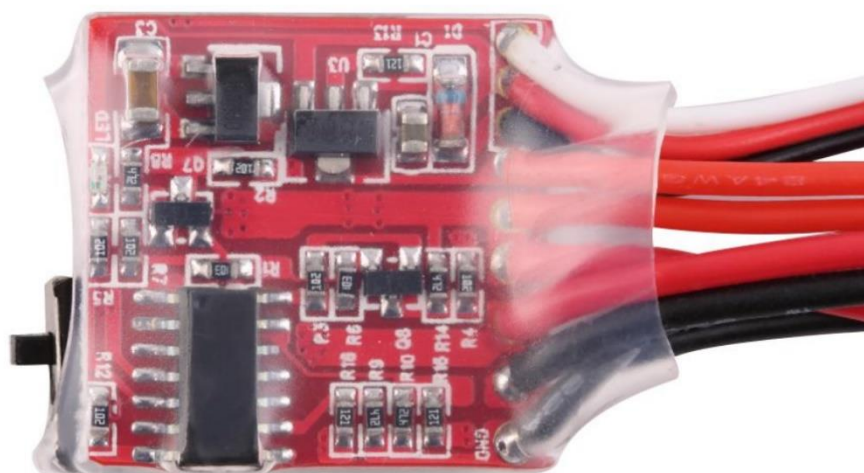


Рисунок 12 – Драйвер двигателя постоянного тока RC-ECS20A



Таблица 3 — Технические характеристики ASLONG JGB37

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Скорость вращения без нагрузки	107 об/мин
Максимальный крутящий момент	25 кг/см
Ток холостого тока	100 мА
Напряжение	12 В
Максимальная мощность	10 Вт
Масса	0,15 кг

Таблица 4 — Технические характеристики RC-ECS20A

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Сила тока	20 А
Рабочее напряжение	3 В — 9,4 В
Частота драйвера	2 кГц
Входы	Li - Po 2S / Ni - Mh / Ni - cd 4 -7 cell
Габаритные размеры (Д x Ш x В)	20 мм x 20 мм x 0,5 мм
Масса	г

## 4.2 Бортовой вычислитель

В качестве бортового вычислителя (Рис 13) используется одноплатный компьютер Raspberry Pi 3 B+. Данный компьютер выбран потому, что является наиболее подходящим вариантом по соотношению цена/качество из моделей, представленных на рынке. Он управляется операционной системой Raspbian, созданной на базе UNIX.



Рисунок 13 – Одноплатный компьютер Raspberry Pi 3 B+

Данный компьютер обладает огромной базой готовых решений и имеет широчайшую поддержку сообществом разработчиков. Этот факт значительно облегчает работу с платформой и позволяет сэкономить время на разработку программного управления. Далее в таблице 5 указаны подробные технические характеристики Raspberry Pi 3 B+ [14].

Таблица 5 — Технические характеристики Raspberry Pi 3 B+

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Процессор	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-битный SoC с частотой 1,4 ГГц
Память	1 ГБ LPDDR2 SDRAM
Способы подключения	При помощи Wi – Fi 2,4 ГГц и 5 ГГц; Bluetooth 4.2; LAN – кабеля с максимальной пропускной способностью 300 Мбит/с; 4 порта USB 2.0; 1 порт HDMI; Порт дисплея MIPI DSI; Порт камеры MIPI CSI; 4-полюсный стереовыход и композитный видео порт.
Входная мощность	5 В / 2,5 А постоянного тока через разъем micro USB

### 4.3 Плата расширения для бортового ПК

Использована плата расширения, представленная на рисунке 14.

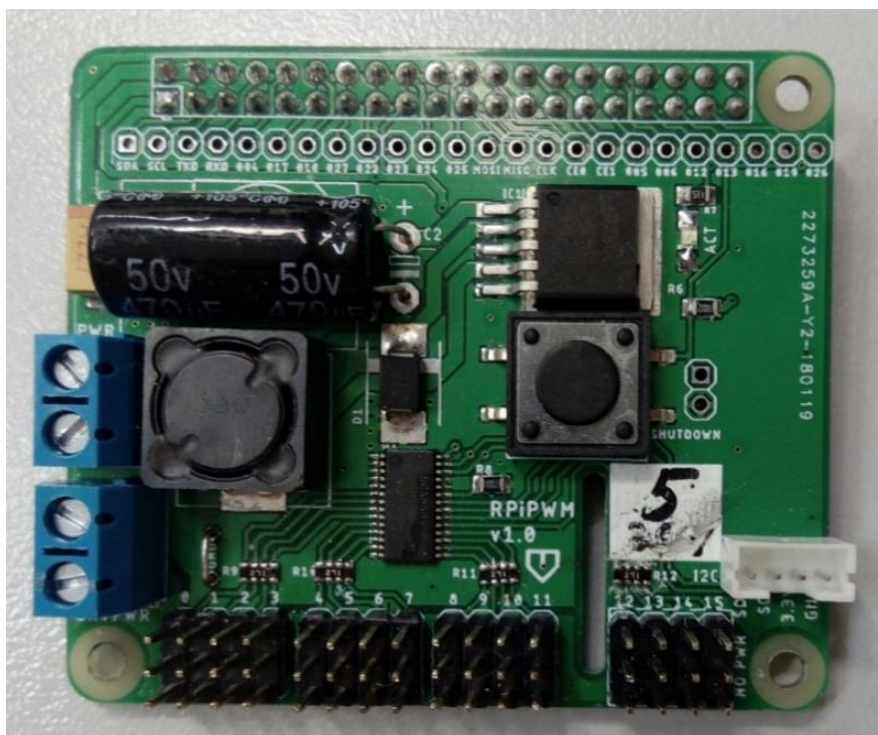


Рисунок 14 – Плата расширения для компьютера Raspberry Pi

Основными функциями данной платы являются:

- Преобразование напряжения от внешнего источника (аккумулятора) до уровня напряжения питания одноплатного компьютера;
- Измерение уровня напряжения аккумулятора;
- Контроль за 16 каналами ШИМ сигнала;
- Выводы шины I2C для подключения дополнительных датчиков.

### 4.4 Камера

Для реализации зрения на работе используется совместимая с бортовым компьютером камера типа «рыбий глаз», Raspberry Pi Compatible Fisheye Camera (Рис. 15), которую легко можно найти на различных торговых интернет-площадках. Она обладает разрешением 5 мегапикселей.

Выбрана данная камера, потому что в своем ценовом сегменте лишь она обладает углом обзора в 200 градусов по горизонтали. Такой угол обзора поможет пилоту лучше ориентироваться в пространстве. Чтобы увеличить угол обзора по вертикали, камера установлена в поворотный корпус (Рис 16), который позволяет менять угол наклона камеры по вертикале на 30 градусов в каждую сторону. Технические характеристики Raspberry Pi Compatible Fisheye Camera приведены в Таблице 6 [15].



Рисунок 15 – Raspberry Pi Compatible Fisheye Camera

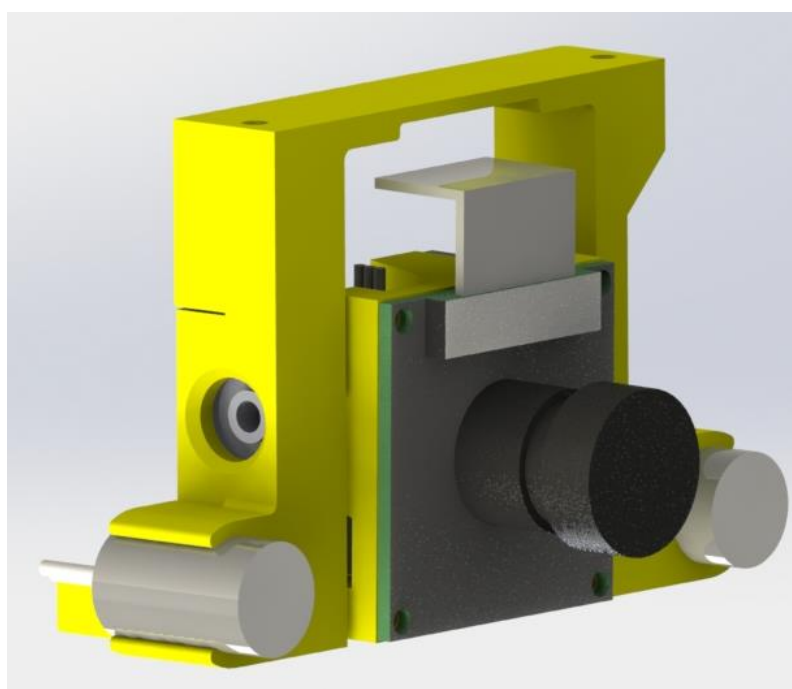


Рисунок 16 – Поворотный корпус камеры

Таблица 6 — Технические характеристики Raspberry Pi Compatible Fisheye Camera

Параметр	Значение
Сенсор	5 Мп, OV5647
Размер CCD	1/4 – дюйма
Фокусное расстояние	Регулируемое
Поле зрения	200 градусов
Разрешение сенсора	1080 p
Питание	3.3 В
Поддержка видеозаписи	1080p30, 720p60, 640 x 480p60/90
Габаритные размеры (Д x Ш x В)	25 мм x 24 мм
Вес	17 г

#### 4.5 Wi-Fi модуль

В качестве Wi-Fi модуля выбрана точка доступа Ubiquiti Bullet M5HP (Рис 17). Данная точка доступа имеет компактные размер по сравнению с аналогами и хорошо подходит для создания Wi-Fi – моста, потому что работает в диапазоне 5 ГГц. Этот диапазон менее загружен нежели чем диапазон 2.4 ГГц, который используют почти все Wi-Fi роутеры. Мощности Ubiquiti Bullet M5HP достаточно, чтобы поддерживать стабильную и не зашумленную связь с роботом на расстоянии до 100 м, при желании это расстояние может быть увеличено за счет установки более мощной антенны.

Технические характеристики Ubiquiti Bullet M5HP приведены в Таблице 7 [16].



Рисунок 17 – Точка доступа Ubiquiti Bullet M5HP

Таблица 7— Технические характеристики Ubiquiti Bullet M5HP

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Процессор	Atheros MIPS 24КC, 400 МГц
Оперативная память	32 МВ SDRAM, 8МВ Flash
Мощность передатчика	600 мВт
Рабочий диапазон	5470-5825 МГц (802.11a/n)
Зона покрытия	Более 50 км (в зависимости от используемой антенны)
Программное обеспечение	AirOS v5
Максимальная потребляемая мощность	6 Вт

Способ питания	PoE, напряжение подается через Ethernet
Габаритные размеры (диаметр x длина)	152 мм x 31 мм
Вес	0,18 кг



## 5 Особенности платформы

Модель разрабатываемой платформы создана в программном комплексе САПР - SolidWorks, результаты моделирования представлены на рисунке 18.

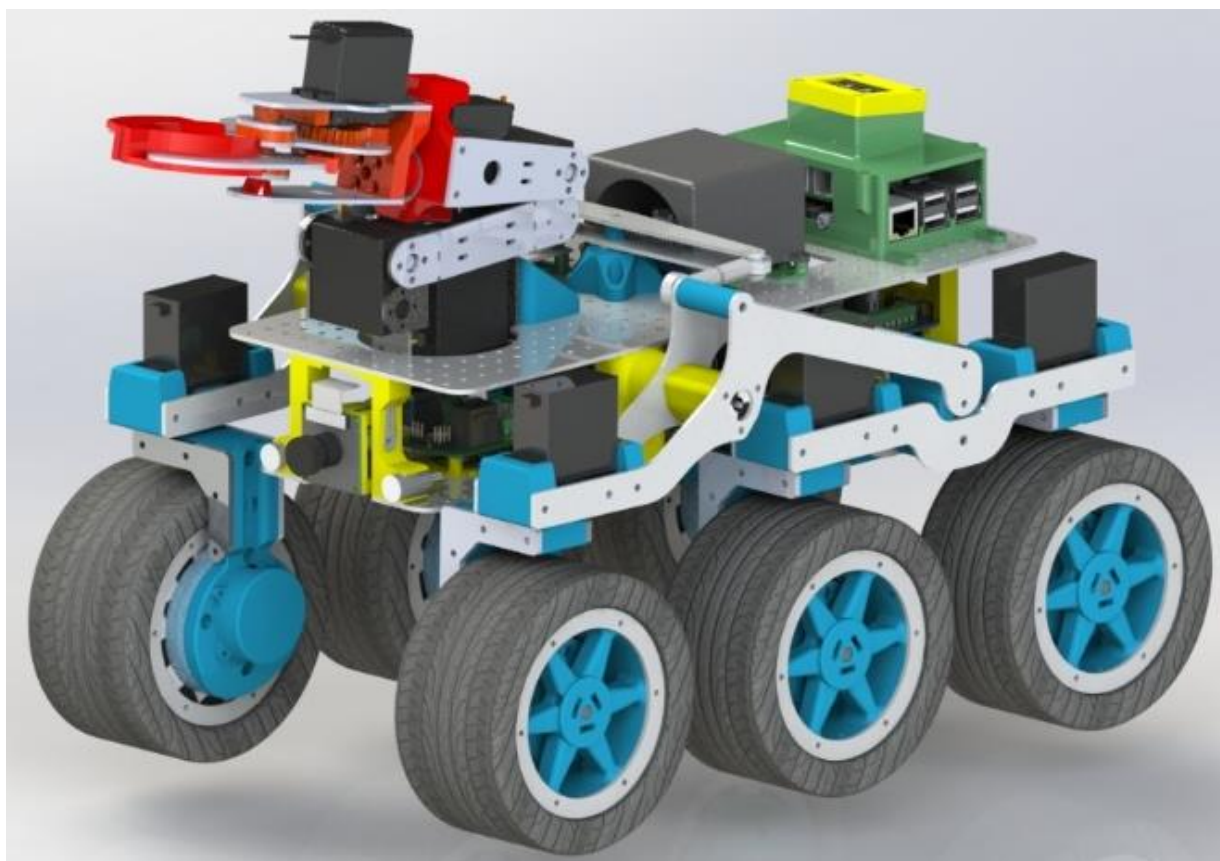


Рисунок 18 – Модель робототехнической платформы

Основная часть деталей напечатана на 3D принтере из ABS пластика [17] (Рис. 19). Остальная часть деталей изготовлена на станке лазерной резки. Изготовленный прототип представлен на рисунке 20.

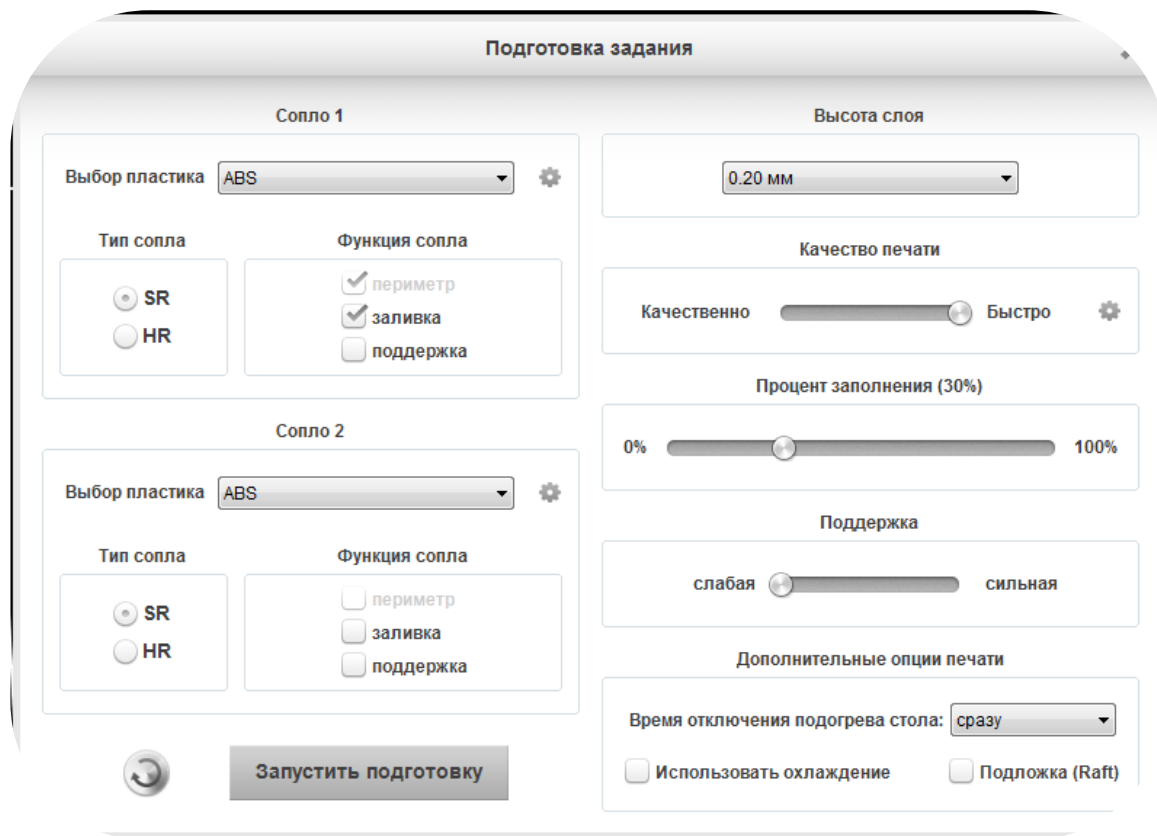


Рисунок 19 – Параметры печати деталей на 3D – принтере

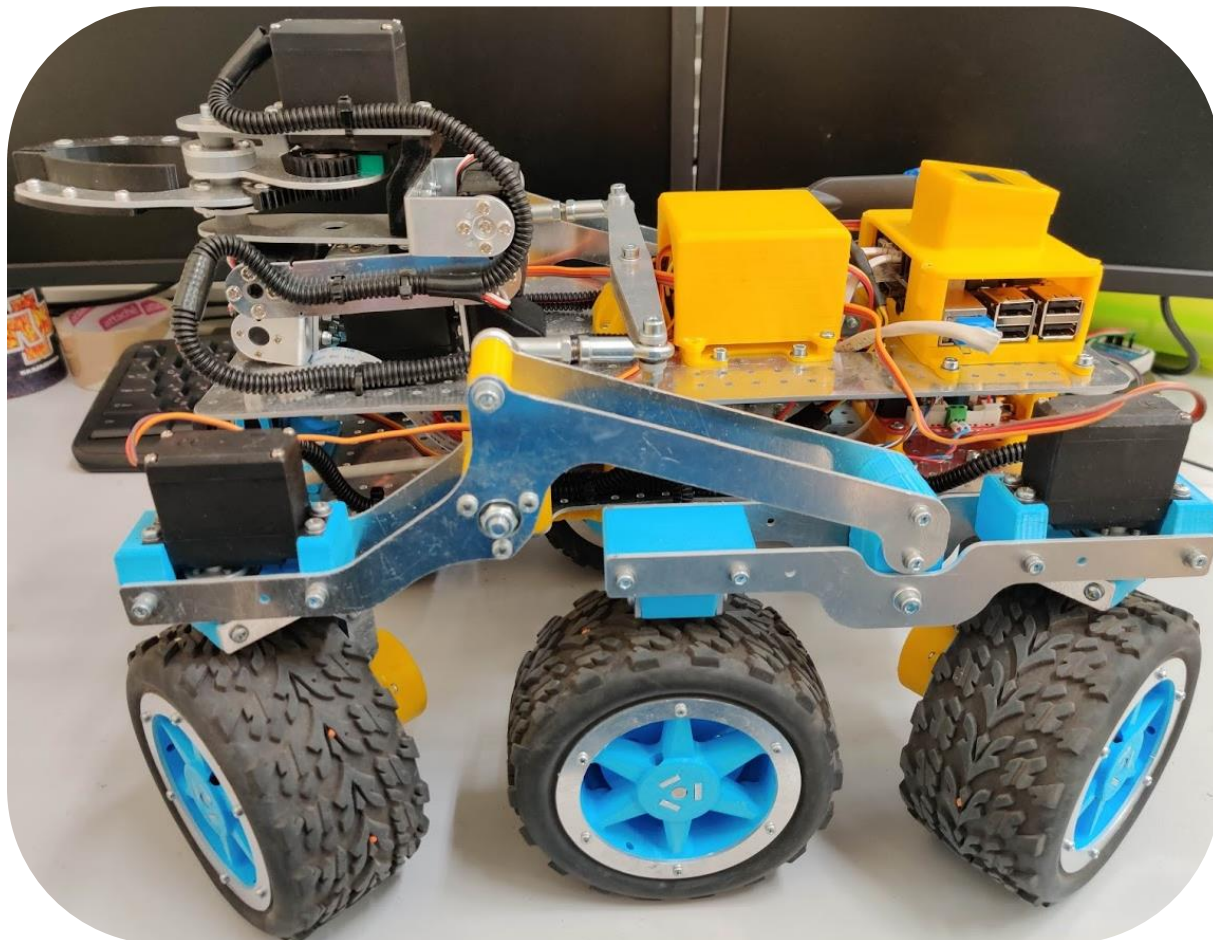


Рисунок 20 – Собранный прототип робота

## 5.1 Колесный блок

В качестве основы колёсного блока разработан одноподшипниковый узел, в котором мотор помещен во внутрь колеса. Данное решение позволяет добиться минимально возможных габаритов колесного блока. Диаметр колесного блока вместе с шиной составляет 115 мм. Данный колесный блок можно описать следующим образом: двигатель вставляется в «стакан» и закрепляется в нем с помощью винтов; стакан вставляется в шариковый радиально-упорный подшипник с размерами 55x72x9 мм; далее, вся эта конструкция помещается внутрь диска колеса, выходной вал двигателя фиксируется в диске стопорными винтами; на заднюю часть двигателя надевается «колесо» и притягивается саморезами к стакану для фиксации стакана в подшипнике; выпирающая часть двигателя закрывается защитным кожухом для предотвращения зацепления проводов о препятствия и механических повреждений двигателя. Внешний вид колесного блока приведен на рисунке 21.

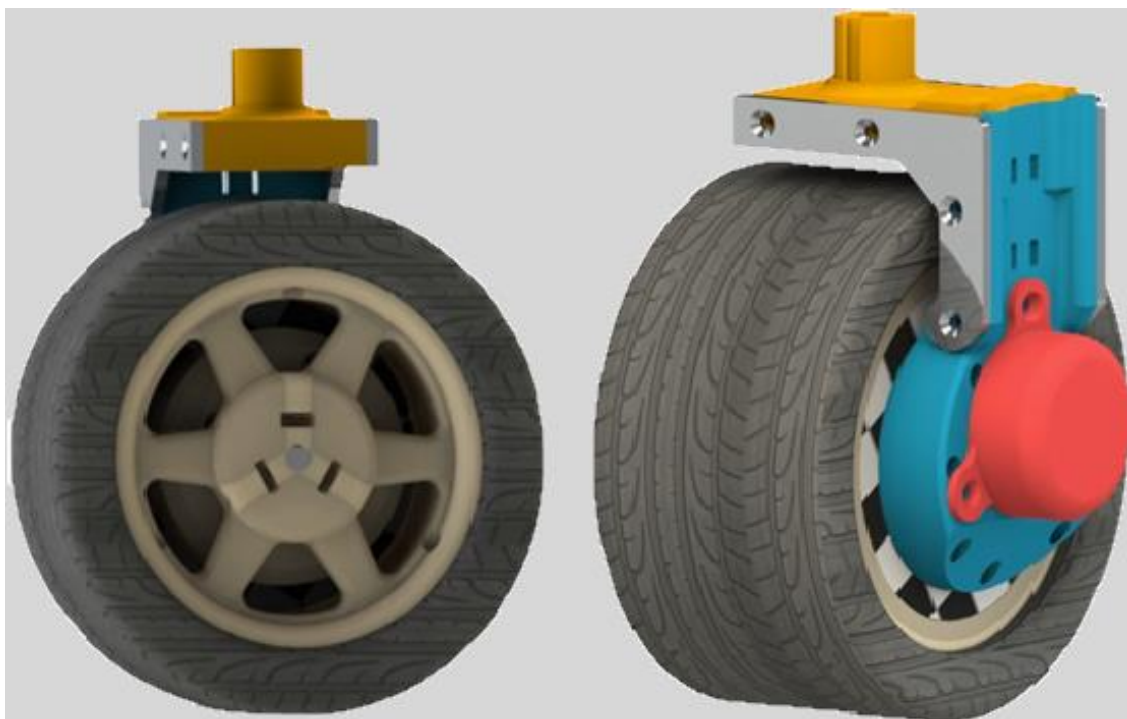


Рисунок 21 – Разработанная модель колесного блока

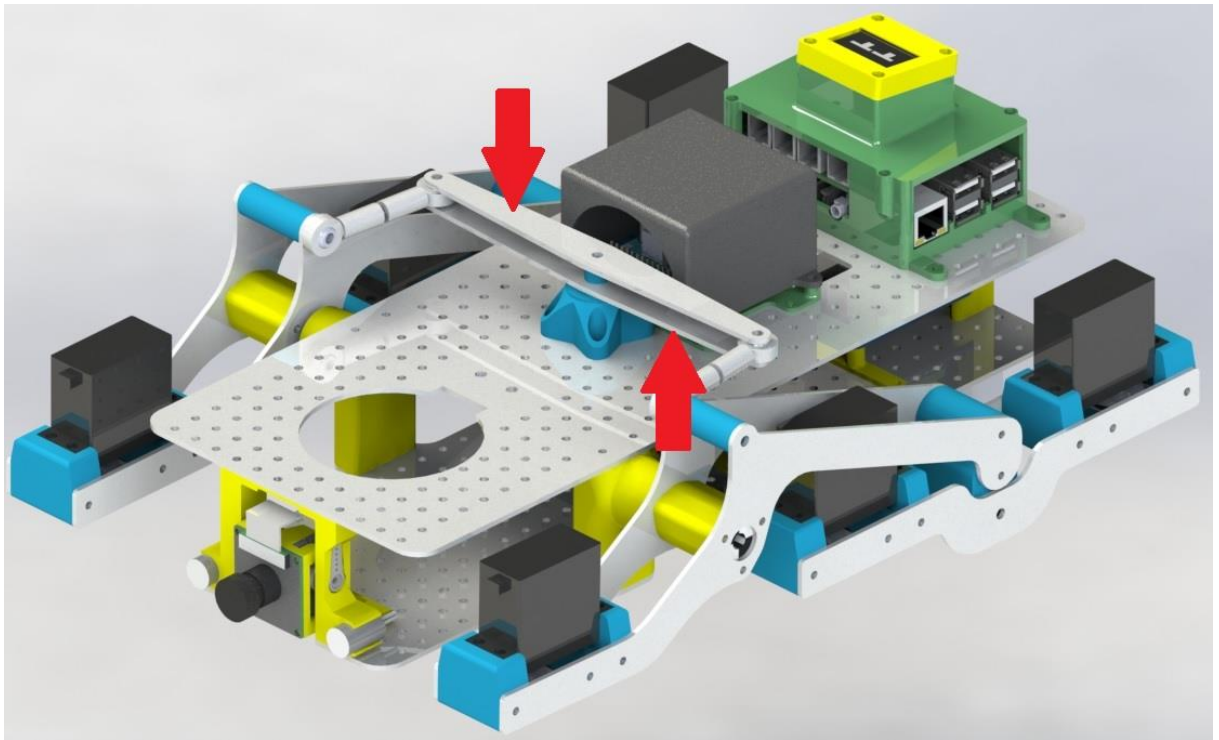


Рисунок 22 – Разработанная модель колесного блока, вид в разрезе

## 5.2 Активная система подвески

Одной из особенностей разработанной конструкции является активная система подвески. Возможность изменения параметров подвески достигается шарнирным креплением задних пар колес робота на обоих бортах, а также «качалкой», расположенной на верхней центральной части робота, соединяющей борта (Рис. 23.) Качалка выполняет следующие функции (Рис. 24, 25):

- Связь между парами колес;
- Если одним из передних колес робот заезжает на высокое препятствие, то качалка прижимает это колесо к поверхности за счет противоположного борта, не позволяя роботу опрокинуться, что повышает устойчивость робота при движении по пересеченной местности;
- Удерживает центральную часть робота в горизонтальном положении.



• Рисунок 23 – Общий вид активной подвески

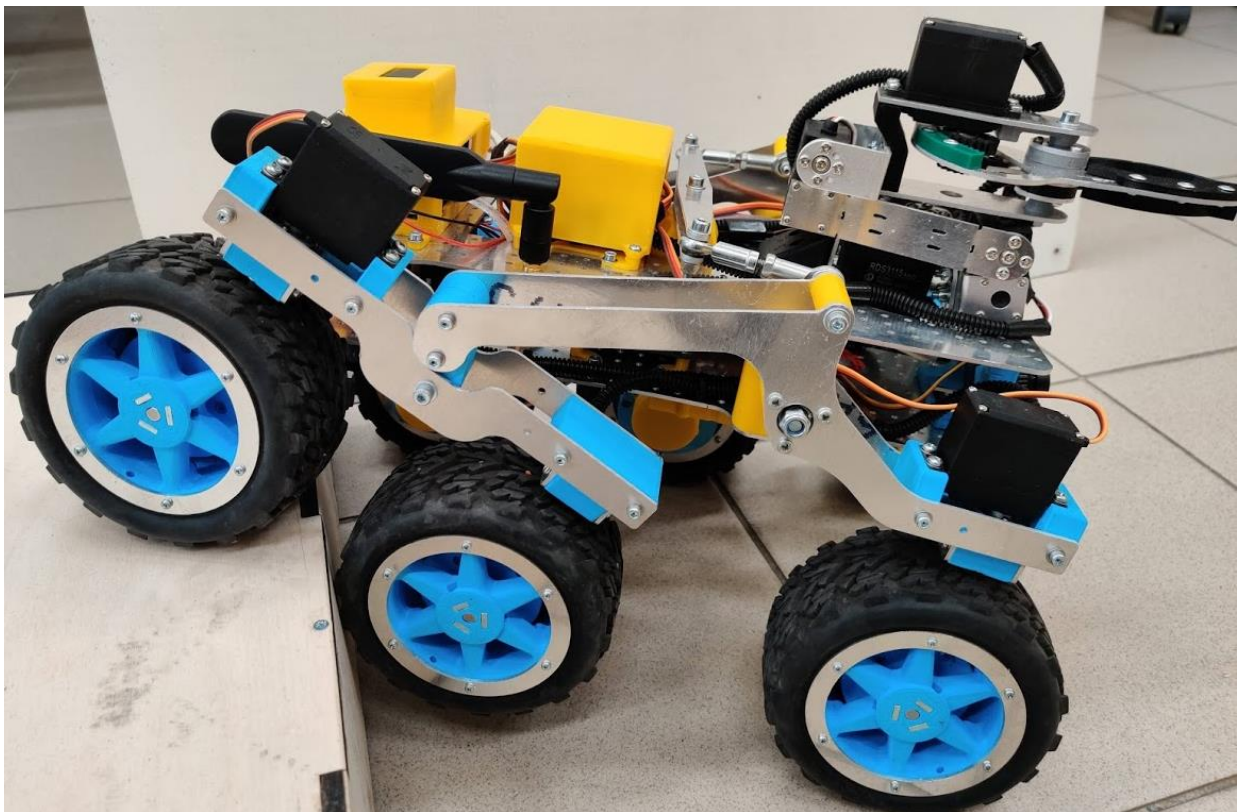


Рисунок 24 – Работа подвески при съезде с препятствия

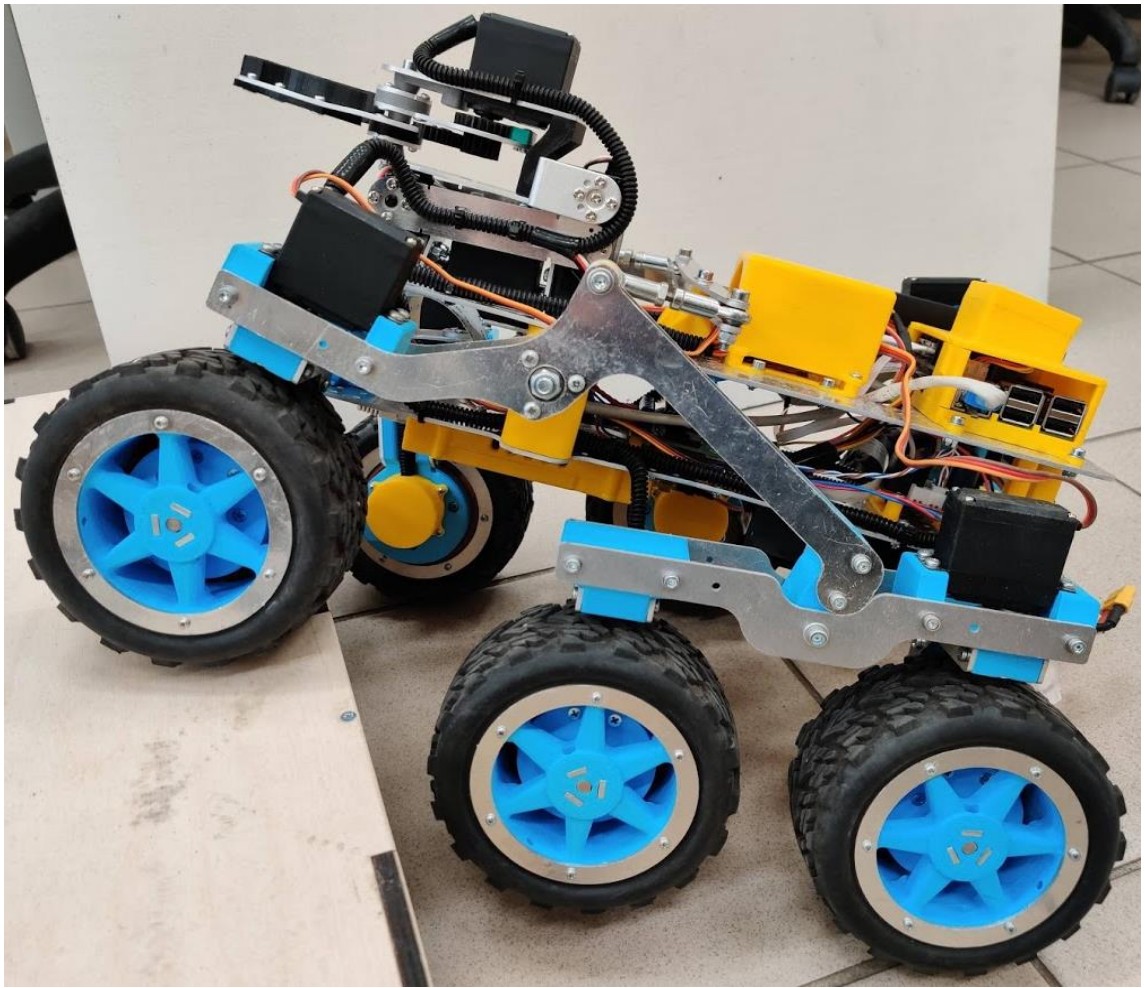


Рисунок 25 – Работа подвески при заезде на препятствие

### 5.3 Манипулятор

Для взаимодействия с окружающими объектами на платформу установлен четырехзвенный манипулятор со схватом. В качестве приводов манипулятора выступают сервоприводы. Схват способен захватить предметы толщиной до 80 мм и массой до 3 кг. Манипулятор обладает 5 степенями свободы, в разложенном состоянии его длина составляет 320 мм. На рисунке 26 приведена 3D - модель манипулятора.

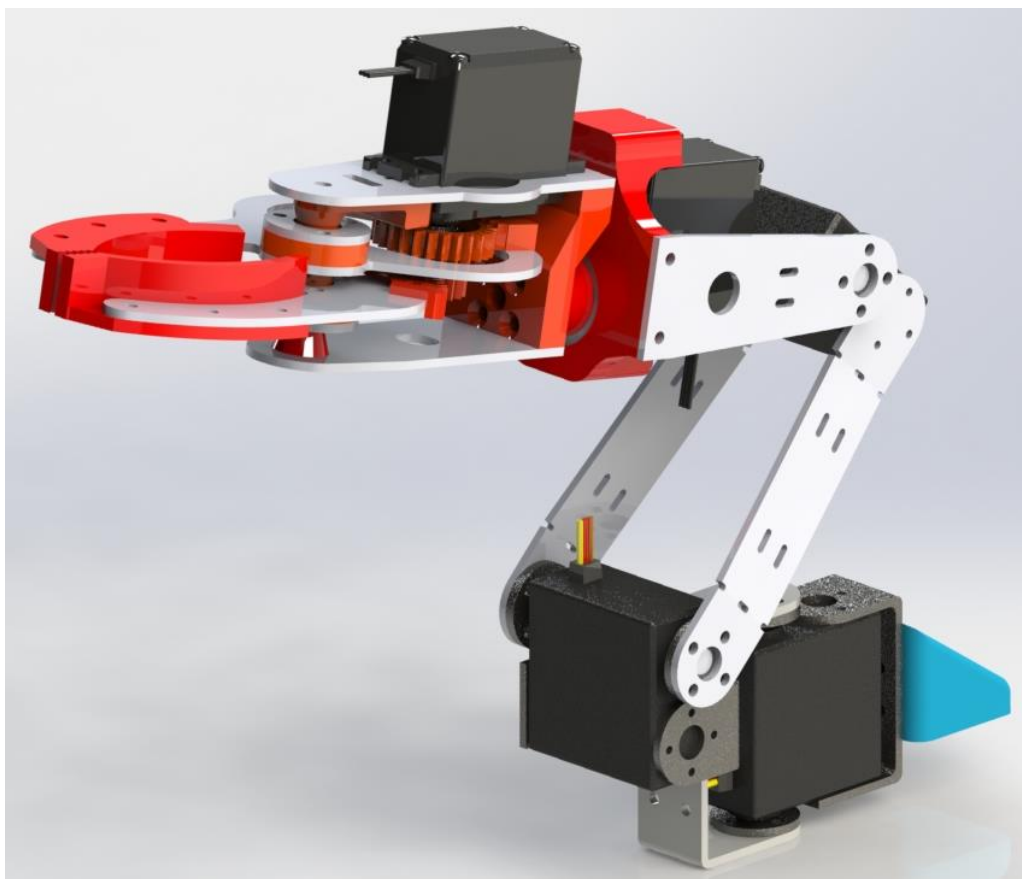


Рисунок 26 – 3D-модель манипулятора

#### **5.4 Центральная платформа робота**

Центральная часть робота (Рис. 27) служит для размещения на ней всей необходимой электроники, дополнительных модулей и оборудования. Она обеспечивает достаточно высокий дорожный просвет — 120 мм для робота таких габаритов 400 x 260 x 270 мм.

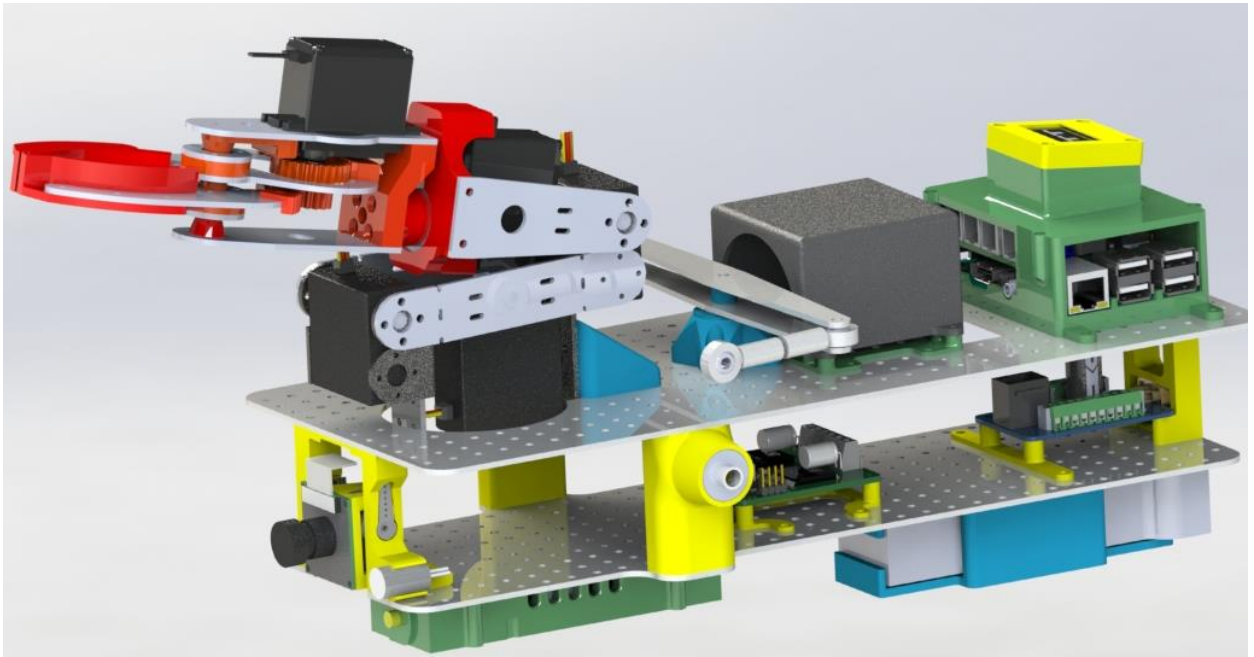


Рисунок 27 – Центральная часть робота

Конструкция имеет многоуровневую структуру, обеспечивающей принцип модульности – при необходимости может быть добавлена дополнительная ячейка (уровень) для размещения модулей путем крепления к нижнему уровню через уголки жесткости. Модульный принцип предоставляет широкие возможности для размещения необходимого оборудования (GPS-датчики, камеры, лидары, фары) на роботе без внесения радикальных изменений в рабочую версию конструкции: элементы, которые следует защитить от внешних механических повреждений, могут быть размещены в средней части (на среднем уровне), а элементы, к которым в процессе использования робота может понадобиться своевременный и частый доступ – на верхнем или нижнем (верхнем и нижнем уровнях).

Так, на верхнем уровне (Рис. 28) размещен бортовой вычислитель и плата расширения, так как для отладки работы программной части робота к нему необходимо подключать провода коммутации.



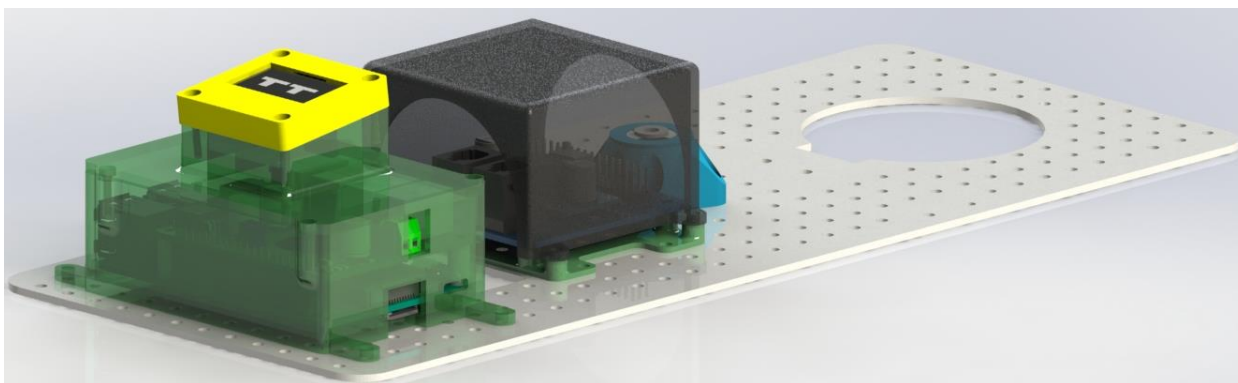


Рисунок 28 – Верхний уровень платформы

На среднем уровне (Рис 29) размещены основные блоки для управления и питания периферией робота (драйверы моторов, преобразователи напряжений для фар и сервоприводов, плата раздачи питания).

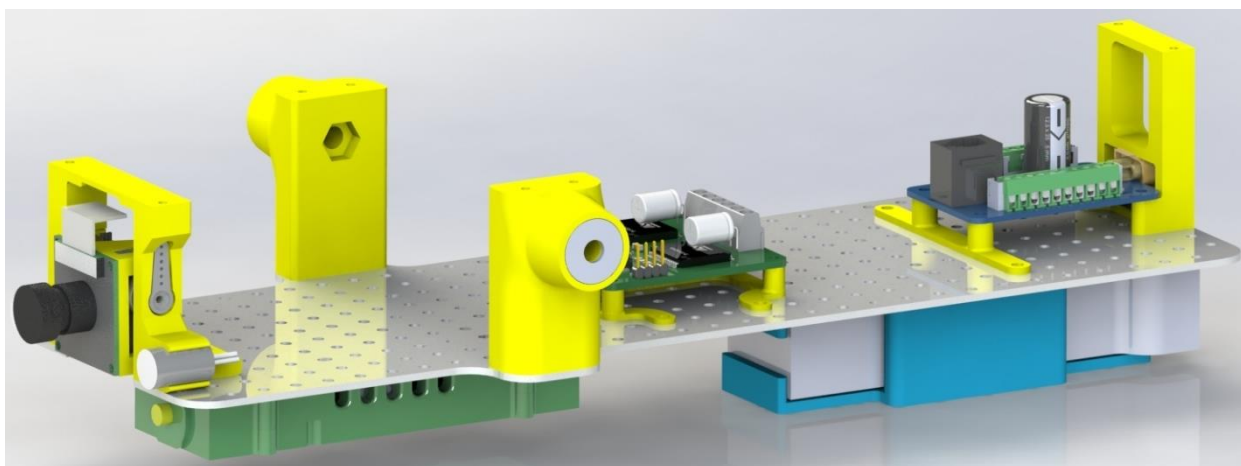


Рисунок 29 – Средний и нижний уровень платформы

На нижнем этаже размещен аккумулятор, а также Wi - Fi точка доступа для беспроводного подключения к бортовому компьютеру робота. Так как бортовой вычислитель, точка доступа и аккумулятор не защищены конструкцией робота, они снабжены защитными кожухами, спроектированными и напечатанными на 3D-принтере.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная конструкция шестиколесного робота является многофункциональной. Данный учебный робот можно использовать для проведения лабораторных и практических работ для студентов старших курсов обучающихся по направлению «Робототехника» и смежным курсам. Так же данный робот можно использовать на предприятиях для повышения квалификации работников.

В ходе выполнения данной работы были выполнены все поставленные в начале задачи. Задачи, поставленные перед работой:

- были рассмотрены существующие аналоги
- произведен анализ и выбор основных деталей конструкции робота
- произведена подборка комплектующих
- разработана 3D модель робота согласно выбранным комплектующим
- робот был собран и протестирован в рамках робототехнических соревнований «Кубок РТК» (Рис. 30).



Рисунок 30 – Полигон «Кубка РТК»

Основные плюсы разработанного робота:

- наличие активной подвески, которая позволяет преодолевать препятствия 180 мм в высоту
- высокая манёвренность, достигается всеми поворотными колесами
- наличие 5-звеного манипулятора
- относительная простота в разработке программного обеспечения обусловлена использованием Raspberry Pi 3 B+
- емкость аккумуляторов 12Ач, что позволяет роботу работать до 1 часу
- дальность связи на открытой местности около 100 м
- модульный принцип построения платформы
- активное использование в разработке 3D печати, дешёвых и доступных материалов

- широкоугольная поворотная камера с углом обзора  $175^\circ$
- габаритные размеры робота (д х ш х в) 400 х 260 х 270 мм
- манипулятор способен поднимать массу до 3 кг

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Робот 4WD Smart Robot Car. Технические характеристики. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.alibaba.com/product-detail/FreeShipping-4WD-Smart-Robot-Car-Chassis\\_62407291591.html?bypass=true](https://www.alibaba.com/product-detail/FreeShipping-4WD-Smart-Robot-Car-Chassis_62407291591.html?bypass=true).
2. Робот Yahboom 6WD smart robot. Технические характеристики. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://category.yahboom.net/products/ar6wdrobot>.
3. Робот Yahboom 6WD smart robot. Технические характеристики. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.robotshop.com/en/leo-rover-4wd-developer-kit-assembled.html>.
4. Платформа с шасси «Автомобильного» типа. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://aliexpress.ru/i/32860847116.html>.
5. Полноуправляемое шасси. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://topruscar.ru/terminy/polnouppravlyаемое-shassi>.
6. Ходовое оборудование. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://megaobuchalka.ru/7/47129.html>.
7. Терминология ходовых частей. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://vex.examen-technolab.ru/lessons/unit\\_9\\_drivetrain\\_design/93/](http://vex.examen-technolab.ru/lessons/unit_9_drivetrain_design/93/).
8. Сборник научных статей. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://nauka.edu54.ru/download/Youth\\_Innovation\\_Technology.pdf](http://nauka.edu54.ru/download/Youth_Innovation_Technology.pdf).
9. Поворот колесных машин. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://studref.com/350964/tehnika/povorot\\_kolesnyh\\_mashin](https://studref.com/350964/tehnika/povorot_kolesnyh_mashin).
10. Характеристики марсохода Curiosity. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/149168/>.
11. Червячный мотор-редуктор ASLONG JGY371. Технические характеристики. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://aliexpress.ru/i/32862868815.html>.

12. Двигатель постоянного тока ASLONG JGB37. Технические характеристики. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://aliexpress.ru/item/32866889227.html?spm=a2g0v.search0302.3.2.2d37adfd7NTfEn&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_0,searchweb201603\\_0,ppcSwitch\\_0&algo\\_pvid=51448a1f-cf20-469c-a578-93451613709c&algo\\_expid=51448a1f-cf20-469c-a578-93451613709c-0](https://aliexpress.ru/item/32866889227.html?spm=a2g0v.search0302.3.2.2d37adfd7NTfEn&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0,ppcSwitch_0&algo_pvid=51448a1f-cf20-469c-a578-93451613709c&algo_expid=51448a1f-cf20-469c-a578-93451613709c-0).
13. Драйвер двигателя постоянного тока RC-ECS20A. Технические характеристики. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.rcmoment.com/p-rm2826.html>.
14. Одноплатный компьютер Raspberry Pi 3 B+. Даташит. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>.
15. Raspberry Pi Compatible Fisheye Camera. Даташит. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/030/DOC001030458.pdf>.
16. Точка доступа Ubiquiti Bullet M5HP. Технические характеристики. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ubiquiti.ru/bullet-m5hp.html>.
17. ABS-пластик для FDM-печати на бытовых 3D-принтерах. Технические характеристики. [Электронный ресурс] / CUBICPRINTS // CUBICPRINTS website. Режим доступа: <https://assets.cubicprints.ru/pdf/abs/abs.pdf>.