

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А. Н. Сочнев
подпись
« ____ » _____ 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Разработка бортовой системы управления мобильного робота

Руководитель _____ А. А. Гагарский
подпись, дата должность, учёная степень

Выпускник _____ А. А. Рыжиков
подпись, дата

Красноярск 2019

Продолжение титульного листа БР по теме разработка бортовой системы управления мобильного робота

Консультант по
разделам:

Технико-экономическое обоснование проекта _____ А. Н. Сочнев
подпись, дата

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Нормоконтролёр _____
подпись, дата

В. Н. Куликова

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

2

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

0 Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А. Н. Сочнев
подпись
« ____ » _____ 2019 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Перв. примен.	
Справ. №	

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ

Перв. примен.	<p>Студенту <u>Рыжикову Александру Алексеевичу</u></p> <p>Группа <u>ФЭ 15-08Б</u> Направление (специальность) <u>15.03.06</u></p> <p><u>«Мехатроника и робототехника»</u></p> <p>Тема выпускной квалификационной работы <u>«Разработка бортовой системы управления мобильного робота»</u></p> <p>Утверждена приказом по университету № 19632/с от 28.12.2018</p> <p>Руководитель ВКР <u>А. А. Гагарский, кафедра РиТК, ст. преподаватель</u></p> <p>Исходные данные для ВКР:</p> <p>1) мобильная платформа; 2) программный пакет Qt; 3) программный пакет AVRStudio.</p> <p>Перечень разделов ВКР</p> <p>Глава 1 – Обзор существующих мобильных платформ Глава 2 – Описание объекта Глава 3 – Создание системы управления мобильной платформой Глава 4 – Техничко-экономическое обоснование проекта Глава 5 – Безопасность и экологичность мобильной платформы</p> <p>Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов</p> <p>Лист 1 – Габаритные размеры мобильной платформы Лист 2 – Структурные схемы модулей системы управления мобильного робота Лист 3 – Структурная схема двухконтурной системы подчинённого регулирования Лист 4 – Графический интерфейс программы Лист 5 – Распределение основных затрат Лист 6 – Чертёж корпуса для блока питания</p> <p>Руководитель ВКР _____ А. А. Гагарский подпись</p> <p>Задание принял к исполнению _____ А. А. Рыжиков подпись</p> <p style="text-align: right;">«_____» _____ 2019 г.</p>					
	Справ. №					
Подпись и дата						
	Инв. № дубл.					
Взам. инв. №						
	Подпись и дата					
Инв. № подл.						
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
						7
БР – 15.03.06 ПЗ						

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка бортовой системы управления мобильного робота» содержит 94 страниц текстового материала, 17 использованных источников, 6 листов графического материала.

МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, СЕРВОПРИВОД, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИВОД, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА, ДВУХКОНТУРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, КОНТУР ПОДЧИНЁННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС, УПРАВЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ШИМ.

Цели проекта:

- разработать программу управления для приводов мобильного робота;
- разработать систему автономного питания на мобильной платформе;
- разработать программу и интерфейс для ПК с возможностью удалённого управления роботом;
- реализовать и описать протокол обмена данными.

В ходе дипломного проектирования была разработана программа управления для приводов мобильного робота, разработана система автономного питания для мобильного робота, разработана программа и интерфейс для ПК с возможностью удалённого управления роботом.

В итоге была разработана бортовая система управления мобильного робота.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

8

СОДЕРЖАНИЕ

	Перв. примен.		8
		1 Обзор существующих мобильных платформ.....	9
		1.1 Обзор логистических роботов.....	9
		1.2 Постановка задачи.....	13
		2 Описание объекта.....	14
		2.1 Шасси.....	14
		2.1.1 3D модели конструктивных частей мобильной платформы.....	15
		2.1.2 Детализовка конструкции мобильной платформы.....	17
		2.2 Двигатель постоянного тока KAG M48X60.....	19
		2.3 Инкрементальный энкодер 100/2 “SN“1.2.....	20
		2.4 Плата микроконтроллера ATmega16A4U с H-мостом.....	21
		2.5 Модуль H-моста HIP4081A.....	23
		3 Создание системы управления мобильной платформой.....	24
		3.1 Разработка автономного питания.....	24
		3.1.1 Аккумуляторные батареи Liitokala HG2 18650.....	26
		3.1.2 Драйвер защиты батарей BMS PCM S4 40A.....	27
		3.1.3 Разработка корпуса для аккумуляторных батарей.....	27
		3.2 Реализация протокола передачи данных.....	29
		3.2.1 Модель OSI.....	29
		3.2.2 Сравнение стандартов физического уровня и протоколов.....	33
		3.2.3 Обзор стандарта физического уровня RS-485.....	33
		3.2.4 Описание протокола RScomm.....	36
		3.3 Разработка системы управления для приводов.....	38
		3.3.1 Описание принципа работы сервопривода.....	39
		3.3.2 Алгоритм работы программы управления приводами.....	41
		3.3.3 Переполнение таймера энкодера.....	42
		3.4 Разработка программы для ПК.....	45
		3.4.1 Основной графический интерфейс.....	45
		3.4.2 Графический интерфейс отладки приводов.....	47
		3.4.3 Алгоритм работы программы.....	47
		3.5 Разработка команд для коммуникации в сети.....	48
		3.5.1 Общие команды.....	49
		3.5.2 Команды для привода.....	49
		4 Технико-экономическое обоснование проекта.....	52
		4.1 Расчёт затрат на основное оборудование, программное обеспечение и изготовление системы автономного питания.....	52
		4.2 Затраты на заработную плату.....	53
		4.3 Затраты на электроэнергию.....	55
		4.4 Затраты на амортизацию оборудования.....	55
		4.5 Затраты на аренду помещения.....	56
		4.6 Расчёт сметы затрат на системы управления мобильной платформой.....	56
		5 Безопасность и экологичность мобильной платформы.....	58

Перв. примен.
Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Перв. примен.	5.1 Безопасность мобильной платформы..... 58				
	5.1.1 Безопасность оборудования мобильной платформы 58				
Справ. №	5.1.2 Безопасность исходных материалов..... 59				
	5.1.3 Безопасность при монтажных и ремонтных работах 59				
	5.1.4 Безопасность при транспортировке и хранении 60				
	5.1.5 Безопасность при размещении 60				
	5.1.6 Требования безопасности к профессиональному отбору..... 60				
	5.1.7 Пожарная безопасность 61				
	5.1.8 Контроль выполнения требований безопасности 61				
	5.1.9 Безопасность при чрезвычайных ситуациях..... 61				
	5.2 Экологическая безопасность мобильной платформы 61				
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ 63				
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... 64					
ПРИЛОЖЕНИЕ А Программа для управления приводом .. Ошибка! Закладка не определена.					
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Программа для управления мобильной платформой с ПК Ошибка! Закладка не определена.					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
БР – 15.03.06 ПЗ				Лист	
				7	

ВВЕДЕНИЕ

Процесс автоматизации, позволяет осуществлять управление технологическим процессом без непосредственного участия человека, либо оставляет за человеком право принятия наиболее ответственных решений. В состав автоматизированных систем входят как механические составные части, так и электронное оборудование. Основу системы составляет управляющая часть на базе микроконтроллера. Это «мозг» любой автоматизированной системы.

Востребованными при автоматизации производств являются системы с автоматизированной (автоматической) транспортно-складской системой (АТСС). Важной частью таких систем обычно являются мобильные роботы перемещающие заготовки и готовые детали в пределах производства по месту требования.

Мобильный робот – это автоматическая машина, в которой имеется движущееся шасси с автоматическими управляемыми приводами. Такие роботы могут быть колёсными, шагающими и гусеничными.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

8

1 Обзор существующих мобильных платформ

Для нужд складов и производств разрабатываются и применяются различные роботы. Такие роботы называются логистическими и имеют несколько разновидностей. Далее представлен небольшой обзор, представленных в данный момент на рынке роботов логистических роботов.

1.1 Обзор логистических роботов

Роботы-тележки способны автономно перемещать паллеты по территории склада. Некоторые из них способны автоматически снимать нужные товары с полки и помещать их в контейнеры или на паллету, а также, наоборот, – раскладывать товары по полкам [1].

Ряд таких изделий требуют для использования подготовки склада - разметки на полу или установки специальных меток (беспроводных или отражательных) на стенах и полках. Появляются также системы, не требующие разметки склада - они ориентируются на системы технического зрения с распознаванием образов на базе встроенного ИИ.

Роботы-паллетайзеры, как правило, это промышленный манипулятор, приводимый в движение серводвигателями, предназначенный для автоматического захвата и укладки продукции на паллеты.

Роботы-сортировщики - незаменимы при упаковке товаров, например, в системах онлайн-торговли. Они должны уметь справляться с задачей разбора предметов из кучи с их точной идентификацией. Это можно делать, например, если иметь цифровую базу трехмерных изображений всех предметов, которыми манипулирует робот.

Есть опыт создания групп роботов, предназначенных для работы на складах, например, один из роботов снимает с полок товары, другие перевозят эти товары к точке выдачи. С помощью беспилотников научились проводить быструю инвентаризацию складов с высокими полками [1].

В рамках обзора рассмотрим какие мобильные платформы различных производителей применяются сегодня для автоматизации транспортно складской системы.

Мобильная платформа Ronavi H1500.



Рисунок 1.1 – Робот Ronavi H1500

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ
					Лист 9

Перв. примен.

Производитель: Ronavi Robotics, Россия.
Стоимость: 30 тыс. долларов.
Грузоподъемность: до 1500 кг.
Максимальная скорость: 5 км/ч.
Размеры: 1065 x 665 x 310 мм.
Размеры рабочего стола: 1000 x 600 мм.
Время автономной работы: до 6 часов.
Колеса позволяют роботу двигаться боком, что устраняет необходимость разворотов.

Справ. №

Ориентация с использованием QR-кода.

ПО позволяет управлять сразу несколькими складскими роботами, регулируя их движение и оптимизируя маршруты (каждый следующий заказ будет автоматически направлен тому роботу, который может его взять и находится ближе других к точке с заказом).

Роботам не нужно освещение и комфортная температура, что позволяет их использовать, например, внутри холодильных установок.

Если решена проблема автоматической погрузки и выгрузки с робота, можно сузить проходы между рядами складских мест с 2.5 м до 1 м [1].

Мобильная платформа Chuck.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.



Рисунок 1.2 – Робот Chuck

Производитель: 6 River Systems, США.

Стоимость: 250 тыс. долларов за 8 роботов.

Грузоподъемность: 72,5 кг.

Размеры: 1000 x 600 x 1500 мм

Площадь рабочего стола: 960 мм².

Время автономной работы: 16 ч.

Робот Chuck ориентирован на работу в тандеме с человеком.

Chuck способен самостоятельно находить стеллаж с необходимым товаром, но не умеет забирать его с полок. Он снабжен полкой для грузов, размещенной примерно на высоте 1 м, которую можно установить выше или ниже, как это удобно для работника склада. Над ней размещается небольшой дисплей - на него выводится информация об очередном товаре, который собирается забрать с полки работник склада.

Для использования Chuck не требуется специальная подготовка склада - ему не нужны наклейки или кабели, размечающие и ограничивающие рабочее пространство. Встроенные датчики позволяют роботу самостоятельно ориентироваться на складе. Система может использоваться на всех типах складских полов.

Робот сохраняет историю операций, что позволяет получать актуальную информацию о перемещениях товаров без необходимости постоянных инвентаризаций.

"Мозг" системы находится в Collaborative Fulfillment Systems (CFS) – в сервере на основе облака, который координирует работу на складе, с которым каждый робот-тележка поддерживает постоянную связь. Это позволяет использовать Chuck для приемки товара на склад, оптимизации размещения, комплектации заказов, а также для инвентаризации товаров [2].

Мобильный манипулятор Fetch и мобильная платформа Freight.



Рисунок 1.3 – Робот Fetch

Характеристики робота Fetch.
 Производитель: Fetch Robotics, США.
 Стоимость: не указана.
 Максимальная скорость: 1 м/с.
 Размеры: 508 x 559 мм.

Длина руки до держателя: 940, 5 мм.
 Полезная нагрузка руки: 6 кг.
 Степени свободы: 13.
 Время автономной работы: 9 ч.

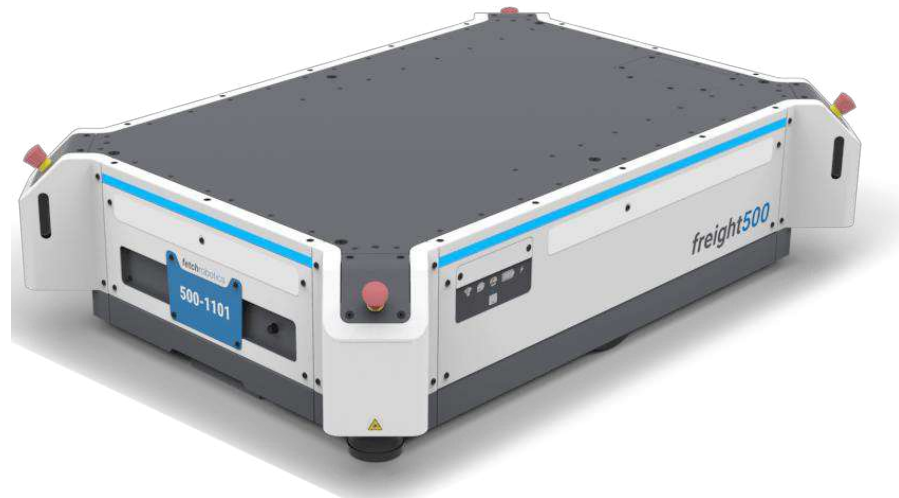


Рисунок 1.4 – Робот *Freight*

Характеристики робота Freight500
 Производитель: Fetch Robotics, США.
 Стоимость: не указана.
 Максимальная скорость: 2 м/с.
 Размеры: 844 x 1381.5 x 356 мм.
 Грузоподъемность: 500 кг.
 Размеры рабочего стола: 1265 x 838 мм.
 Время автономной работы: 9 ч.

Робот Fetch может самостоятельно снимать товары с полок склада, в то время как мобильная база Freight способна передвигаться по помещению и забирать необходимое для последующей доставки. Роботы передвигаются по складу полностью самостоятельно, благодаря способности создания навигационных карт.

Роботы оснащены камерами - передней и задней, датчиками и мощными бортовыми компьютерами, которые позволяют им ориентироваться на местности и оперативно реагировать на происходящее вокруг. Например, огибать препятствия и не сталкиваться с людьми, автомобилями и другими роботами. Они способны самостоятельно прокладывать оптимальный маршрут.

Freight также можно использовать отдельно для помощи человеку, который берет нужные товары с полок. При этом сотрудникам нет необходимости возить с собой тележки и самим отвозить в нужную точку продукцию, потому что мобильные базы сами занимаются доставкой.

Платформа управления FetchCore на основе облачных технологий позволяет легко настраивать и менять маршруты роботов [3].

1.2 Постановка задачи

Необходимо разработать систему управления для имеющейся мобильной платформы. В связи с поставленной задачей необходимо было решить следующее:

- разработать программу управления для приводов мобильного робота;
- разработать систему автономного питания на мобильной платформе;
- разработать программу и интерфейс для ПК с возможностью удалённого управления роботом;
- реализовать и описать протокол обмена данными.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

13

2 Описание объекта

Исходными данными для ВКР являются:

- шасси с установленными на нём редукторами;
- два драйвера двигателей (ATmega16A4U, HIP4081A, IRF2804S);
- два двигателя постоянного тока KAG M48X60;
- два инкрементальных энкодера IGO 100/2 “SN”;

Ниже представлено описание отдельных имеющихся частей.

2.1 Шасси

На рисунке 2.1 представлено шасси мобильной платформы.

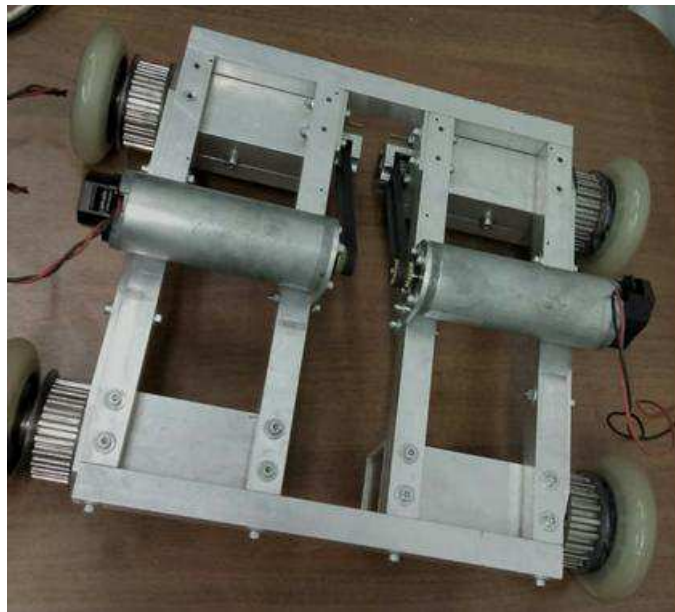


Рисунок 2.1 – Шасси мобильного робота с установленными двигателями

Разработка мобильной платформы была выполнена выпускником И. С. Коваленко в его бакалаврской работе. Ниже будут представлено описание конструктивных частей 3D и прочностной расчёт элементов платформы. 3D – модели были выполнены И. С. Коваленко в программе SolidWorks.

Грузоподъёмность платформы равняется 12.5 кг.

Шасси можно разделить на следующие конструктивные компоненты:

- несущая часть (рама);
- передняя ходовая часть;
- задняя ходовая часть;
- редуктор;
- крепления для двигателя [4].

2.1.1 3D модели конструктивных частей мобильной платформы

В SolidWorks используется принцип трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования, что позволяет конструктору создавать объемные детали и компоновать сборки в виде трехмерных электронных моделей, по которым создаются двухмерные чертежи и спецификации в соответствии с требованиями ЕСКД.

Трехмерное моделирование изделий дает массу преимуществ перед традиционным двумерным проектированием, например, исключение ошибок собираемости изделия еще на этапе проектирования, создание по электронной модели детали управляющей программы для обработки на станке с ЧПУ. С помощью программы SolidWorks можно увидеть будущее изделие со всех сторон в объеме и придать ему реалистичное отображение в соответствии с выбранным материалом для предварительной оценки дизайна.

Рама робота. Первым этапом была создана несущую часть робота. Это позволило примерно определить габариты и будущую компоновку остальных механических и электрических частей робота.

При этом рама состоит из нескольких компонентов:

- передняя и задняя часть рамы;
- левый и правый борт;
- центральные вставки;
- уголки под переднюю ось и крышки;
- уголки для задней оси и редуктора, а также крышки;
- крепления для двигателей;

Модель рамы изображена на рисунке 2.2 [4].

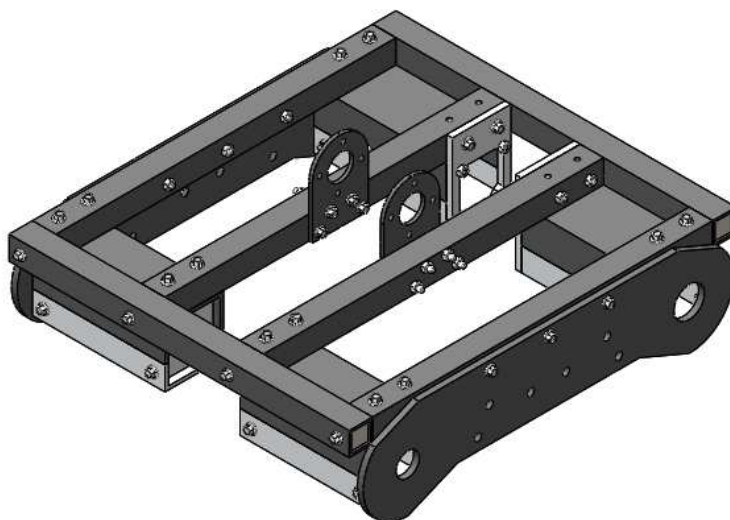


Рисунок 2.2 – Модель рамы мобильной платформы

Передняя ходовая часть. Моделирование передней оси (рисунок 2.3) происходило с учётом того, что она является конечным элементом конструкции, т.е. она уже не передаёт момент на другие элементы. В связи с этим проектировка не требовала значительных расчётов на прочность [4].

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

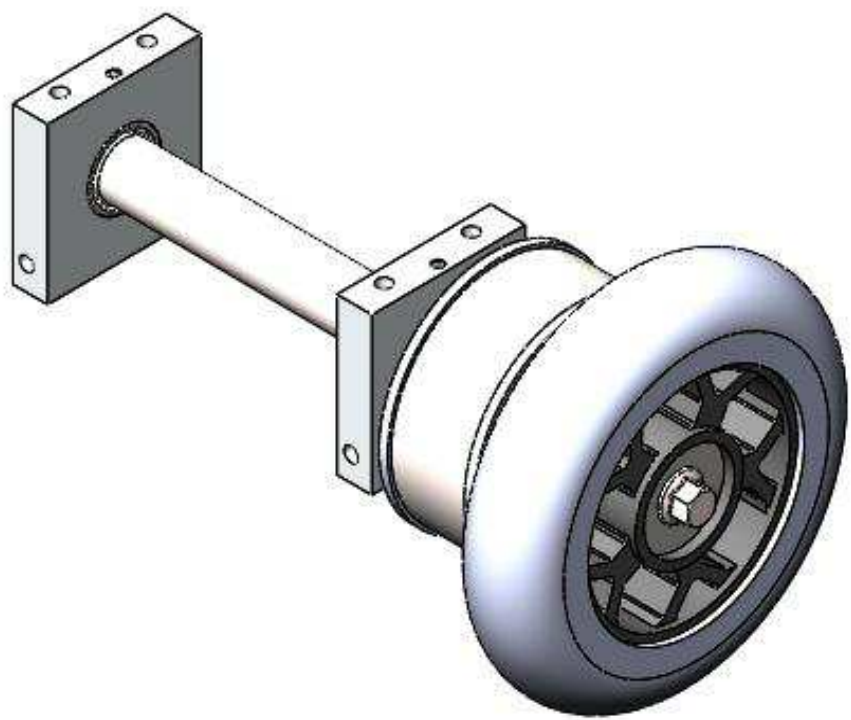


Рисунок 2.3 – Модель передней ходовой части

Задняя ходовая часть и редуктор. В связи с тем, что редуктор и задняя ходовая часть находятся на одной оси, было принято решение соединить их в единый конструкторский блок, хотя рассматривать их следует по отдельности. Это сделано для того, чтобы облегчить создание модели. Поэтому модель задней ходовой части включает в себя и вал и редуктор (рисунок 2.4) с передаточным отношением 9.09 [4].

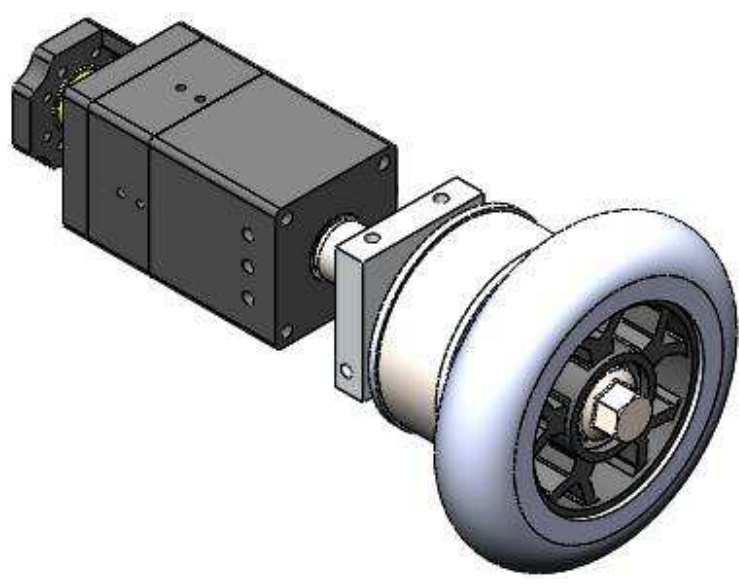


Рисунок 2.4 – Модель задней ходовой части

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

2.1.2 Деталировка конструкции мобильной платформы

Рассматривая деталировку конструкции МП можно более подробно показать из каких элементов состоит платформа, а также понять взаимосвязь элементов конструкции МП. Рисунок 2.5 показывает из каких элементов состоит основная несущая конструкция [4].

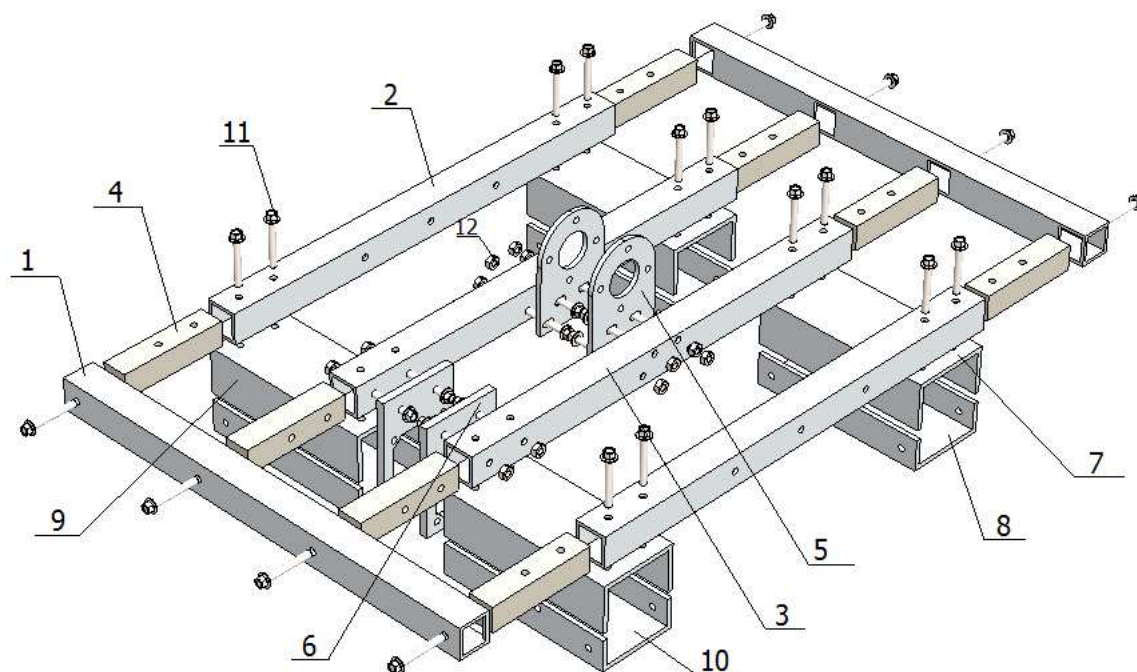


Рисунок 2.5 – Вид рамы МП с разнесёнными частями

Передняя и задняя части рамы (1) соединяются с боковыми (2) и центральными (3) профилями с помощью капролоновых вставок (4), которые также придают конструкции большую прочность. К креплению для двигателя (5) с помощью винтов М4 притягивается корпус двигателя, и данная конструкция крепится на раме. Крепления для редуктора (6) удерживают редуктор, а также с помощью двухсторонних винтов стягивают его. Передние (7) и задние (9) уголки используются для фиксации передней и задней ходовых частей и во избежание попадания пыли и грязи закрываются крышками (8) и (10). Все элементы конструкции соединяются с собой с помощью винтов М4 (11).

Рисунок 2.6 показывает детальную конструкцию передней ходовой части. В держатели оси (1) вставляются подшипники (2), зажатые стопорными винтами (3) между которыми находится передняя ось (13). Такая конструкция не позволяет передней оси совершать движения в стороны. На подшипник (4) надевается пластина для натяжителей ремня. Что бы разделить подшипник от других вращающихся частей, используется шайба (5) имеющая особую форму. Второй основной частью передней оси является ось (6) на которую надеваются фиксаторы ремня (7), не позволяющие выскальзывать ремню и зубчатый шкив (8) на который передаётся момент через ремень с заднего вала. Шкив фиксируется на оси с помощью шпонки (9). Колесо (10) одевается на ось (6), а

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

сама ось, вставляется в ось (13) и вся конструкция фиксируется винтом (12), а шайба (11) прижимается к колесу и не позволяет ему проскальзывать [4].

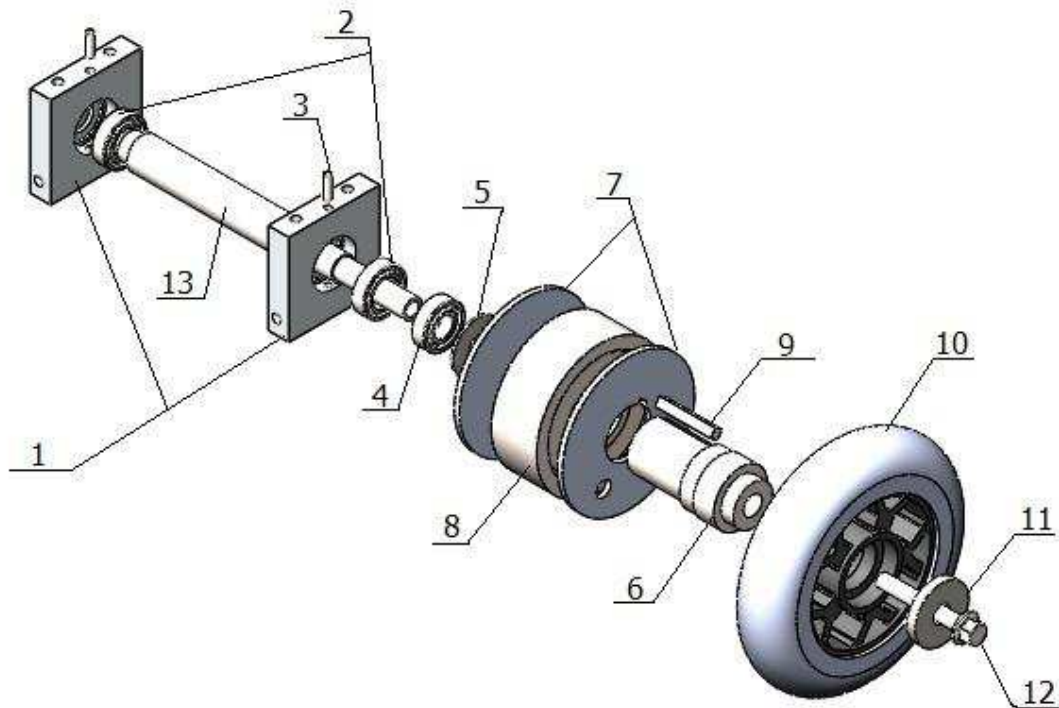


Рисунок 2.6 – Детализовка передней ходовой части

На рисунке 2.7 изображена детализовка задней ходовой части. Отличием от передней ходовой части является то, что вал (6) состоит из одной части. Он закручивается на выходной вал редуктора (1) и в него вставляется винт (2) с обратной резьбой. Это сделано для того что бы при вращениях редуктора в разные стороны вал не выкручивался. Пластина (3) служит для соединения уголков рамы, к которым в свою очередь крепится редуктор. На подшипник (4) одевается пластина для натяжителей. Шайба (5) разделяет между собой подшипник натяжителя зубчатый шкив с фиксаторами ремня. Остальные элементы конструкции не отличаются от конструкции передней ходовой части [4].

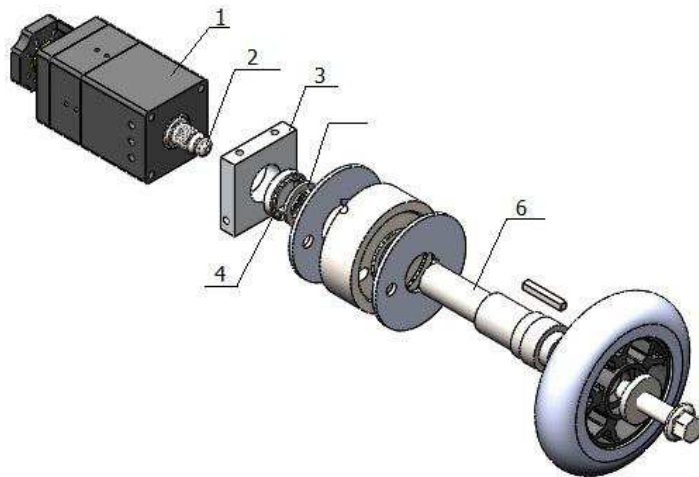


Рисунок 2.7 – Детализовка задней ходовой части
2.2 Двигатель постоянного тока КАГ М48Х60



Рисунок 2.8 – Двигатель КАГ М48Х60

Двигатель КАГ М48Х60 имеет следующие особенности:

- меднографитовые щетки;
- корпус мотора, оцинкованный и хромированный;
- шарикоподшипники;
- монтажные отверстия согласно стандарту DIN 42016.

Таблица 1 – Технические данные двигателя КАГ М48Х60

Параметр	Значение
Номинальное напряжение	24 В
Номинальный крутящий момент	0.15 Н·м
Номинальная скорость	3300 об/мин
Номинальный ток	2.75 А
Скорость холостого хода	3800 об/мин
Ток при холостом ходе	0.2 А

Номинальная выходная мощность	51.8 Вт
Номинальная входная мощность	66 Вт
Номинальный КПД	78.5 %
Максимальный продолжительный момент	0.15 Н·м
Максимальный продолжительный ток	2.75 А
Максимальные обороты	10000 об/мин
Пусковой момент	1.14 Н·м
Пусковой ток	19.6 А
Сопротивление якоря	1.03 Ом
Момент трения	0.012 Н·м
Механическая постоянная времени	12 мс
Электрическая постоянная времени	1.2 мс

таблица 1 – Продолжение

Параметр	Значение
Инерция ротора	383 г·см ²
Максимальная температура корпуса	80°С
Допустимая осевая нагрузка на вал	40 Н
Допустимая радиальная нагрузка на вал	100 Н

2.3 Инкрементальный энкодер 100/2 “SN“1.2

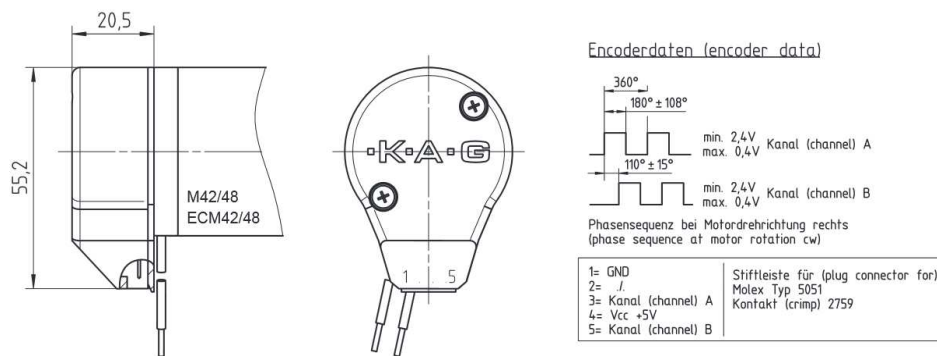


Рисунок 2.9 – Энкодер IGO 100/2 “SN“

Таблица 2 – Технические данные оптического датчика IGO 100/2 “SN“

Параметр	Значение
Импульсов на оборот	100
Число каналов	2
Питающее напряжение	5±10%
Потребляемый ток	30 мА
Диапазон температур	от 0 до 70 °С
Класс защиты с/без крышки	IP30/IP00
Сдвиг фаз	110±15°

2.4 Плата микроконтроллера ATmega16A4U с H-мостом

Контроллер осуществляет контроль и управление подключёнными двигателями. На контроллере установлены транзисторы H-моста IRF2804S, модуль H-моста HIP4081A и выводы для подключения питания.

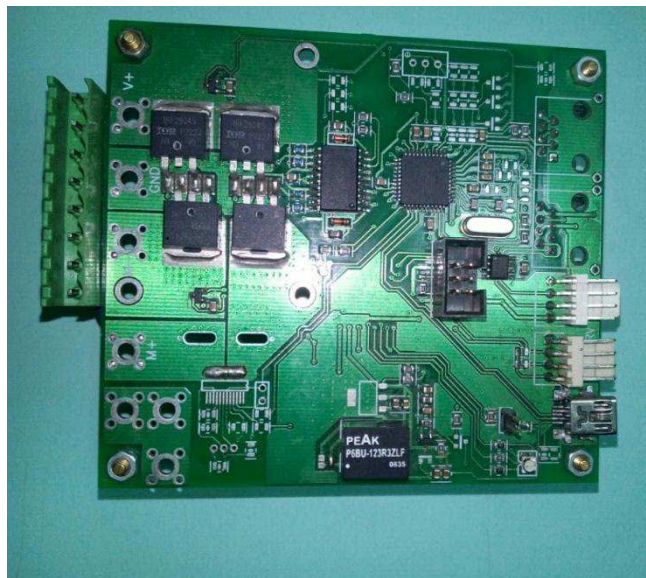


Рисунок 2.10 – Плата драйвера двигателя

Плата ATmega16A4U имеет следующие особенности:

- 16 КБ встроенной самопрограммируемой flash памяти;
- раздел загрузки 4КБ;
- 1 КБ EEPROM;
- внутренняя SRAM на 2 КБ;
- совместимость с USB 2.0 полной скорости (12 Мбит/с) и низкой скорости (1,5 Мбит/с);
- 32 конечных точки с полной конфигурационной гибкостью.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

21

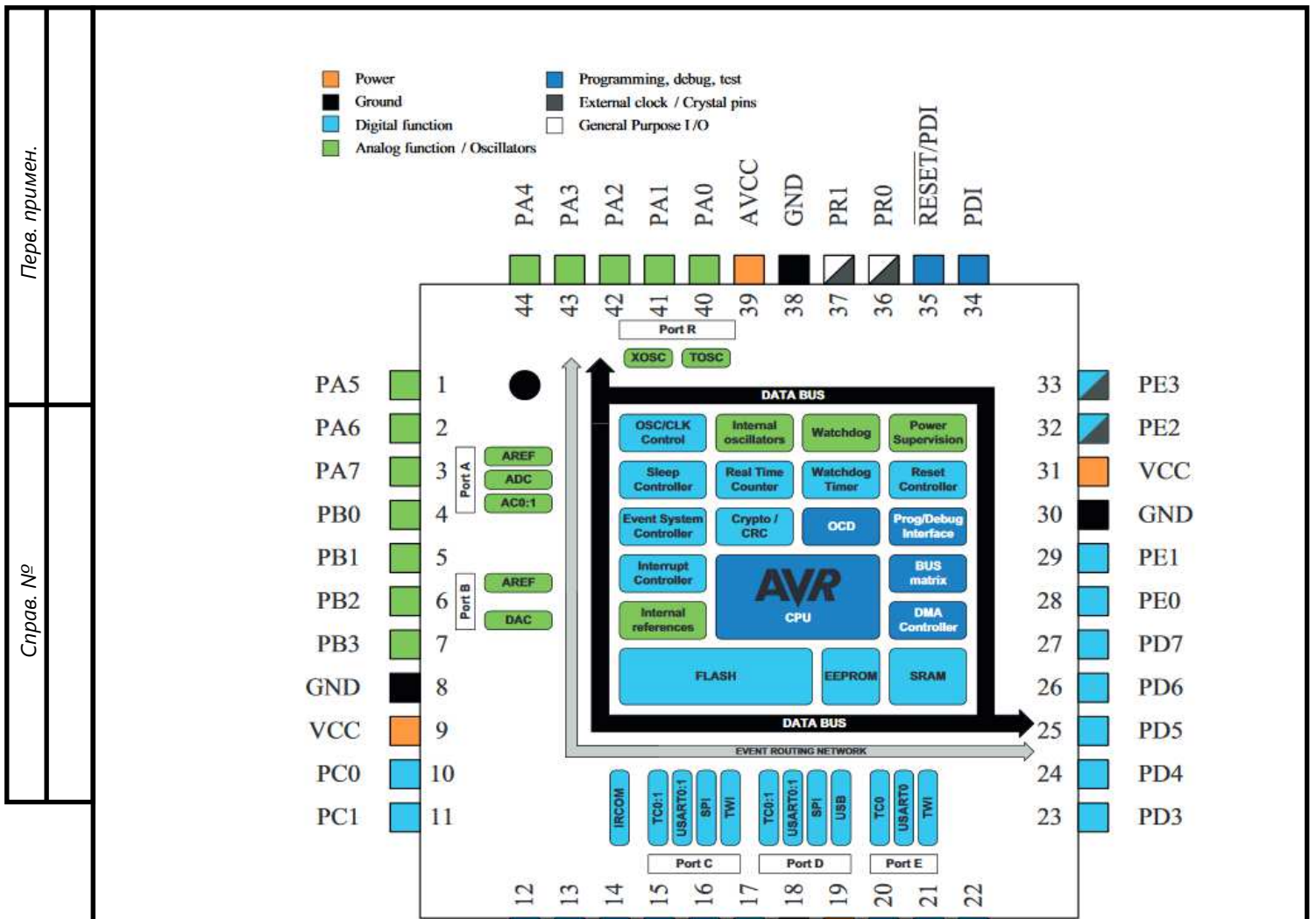


Рисунок 2.11 – Структурная схема контроллера ATmega16A4U

Таблица 3 – Технические данные контроллера ATmega16A4U

Параметр	Значение
Тип памяти программ	flash
Размер памяти программ	16 КБ
Скорость процессора (MIPS / DMIPS)	32
Данные EEPROM / HEF	1024 Байта
Периферийные устройства цифровой связи	5-UART, 7-SPI, 2-I2C
Периферийные устройства для захвата / сравнения / ШИМ	16 входной захват, 16 CCP, 16 ШИМ
Таймеры	5x16 бит
Количество компараторов	3
Количество USB-модулей	1, полная скорость
Диапазон температур (C)	От -40 до 85
Диапазон рабочих напряжений (В)	1,6 до 3,6
Количество контактов	44

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Лист
БР – 15.03.06 ПЗ
22

2.5 Модуль Н-моста НР4081А



Рисунок 2.12 – Фото модуля Н-моста

Модуль Н-моста НР4081А необходим для независимого управления четырьмя N-канальными полевыми транзисторами в полумостовой или полномостовой конфигурации.

Таблица 4 – Технические данные модуля Н-моста НР4081А

Параметр	Значение
Максимальное напряжение питания бутстрапа	до 95 В
Программируемое пользователем мёртвое время	Да
Входные логические пороги	5-15 В
Уменьшение энергопотребления	Да
Защита от понижения напряжения	Да

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

23

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

3 Создание системы управления мобильной платформой

Система построена из модулей, выполняющих различный функционал соединённых между собой с помощью интерфейса RS-485 (рисунок 3.1). Верхний уровень управления подключается к системе напрямую (RS-485) или через преобразователь из необходимого интерфейса в RS-485.

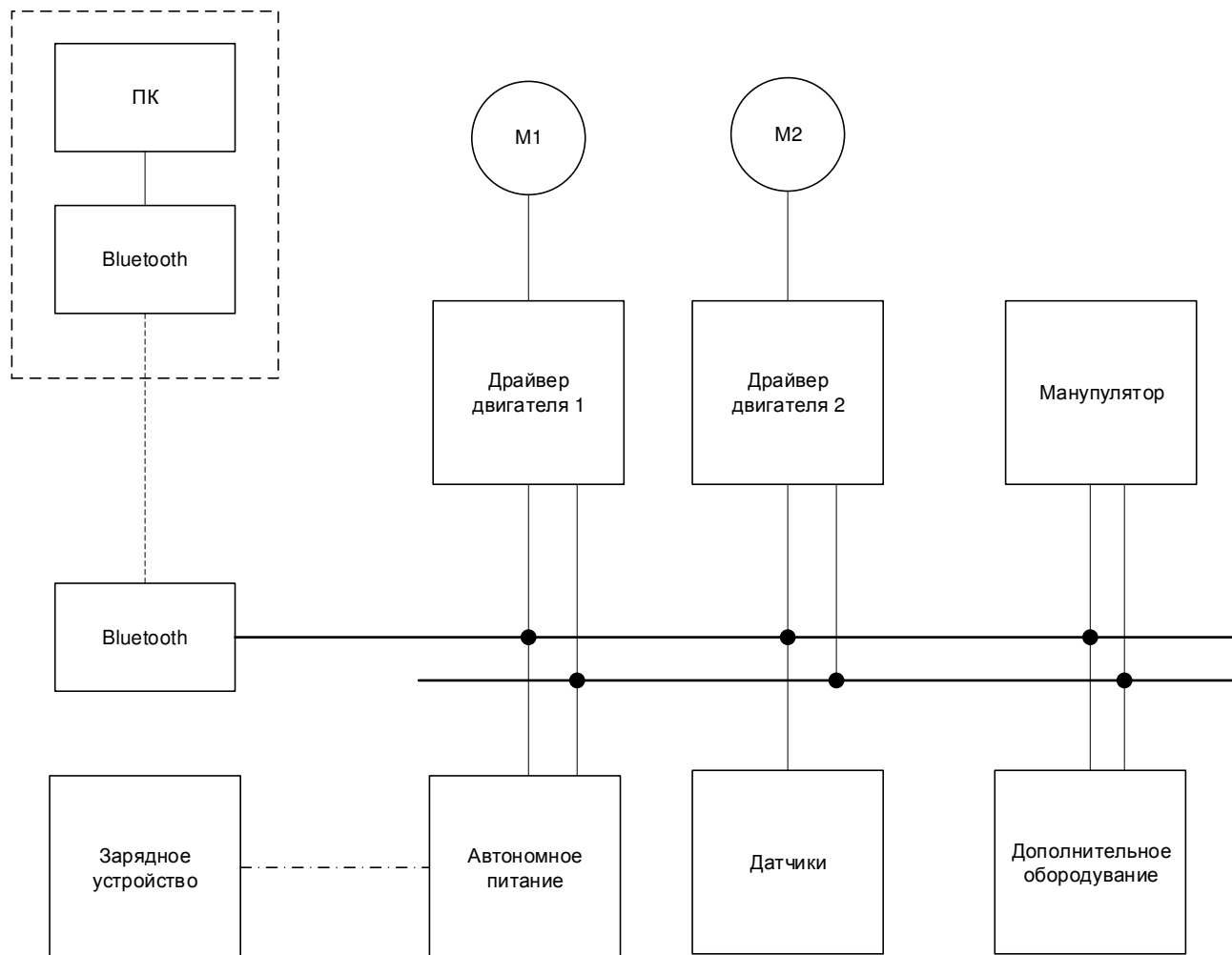


Рисунок 3.1 – Общая структура системы управления мобильного робота

3.1 Разработка автономного питания

Питание электроэнергией необходимо для двигателя, платы ATmega16A4U, а также энкодера. Для этих целей были закуплены 8 литий-ионных батарей Liitokala HG2 18650 и две платы модулей защиты литий-ионных батарей BMS PCM S4 40A.

Аккумуляторные батареи соединяются в две группы по 4. Эти группы установлены в корпус из пластика напечатанный на 3D принтере. Группы батарей и каждая в отдельности соединены последовательно и подключены к платам приводов. Корпуса батарей крепятся к шасси мобильного робота.

Перв. примен.				
	Справ. №			
Подпись и дата				
	Инв. № дубл.			
Подпись и дата				
	Взам. инв. №			
Инв. № подл.				
	Изм.			
				Лист
				24
				БР – 15.03.06 ПЗ
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Изначально планировалось использовать ещё и плату управления питанием, как показано на рисунке 3.2, подключенную к общей сети обмена данными и ещё один блок батарей для слаботочного питания. Плата управления питанием позволила бы отключать питание сети с через интерфейс RS-485 и упростила бы зарядку аккумуляторов.

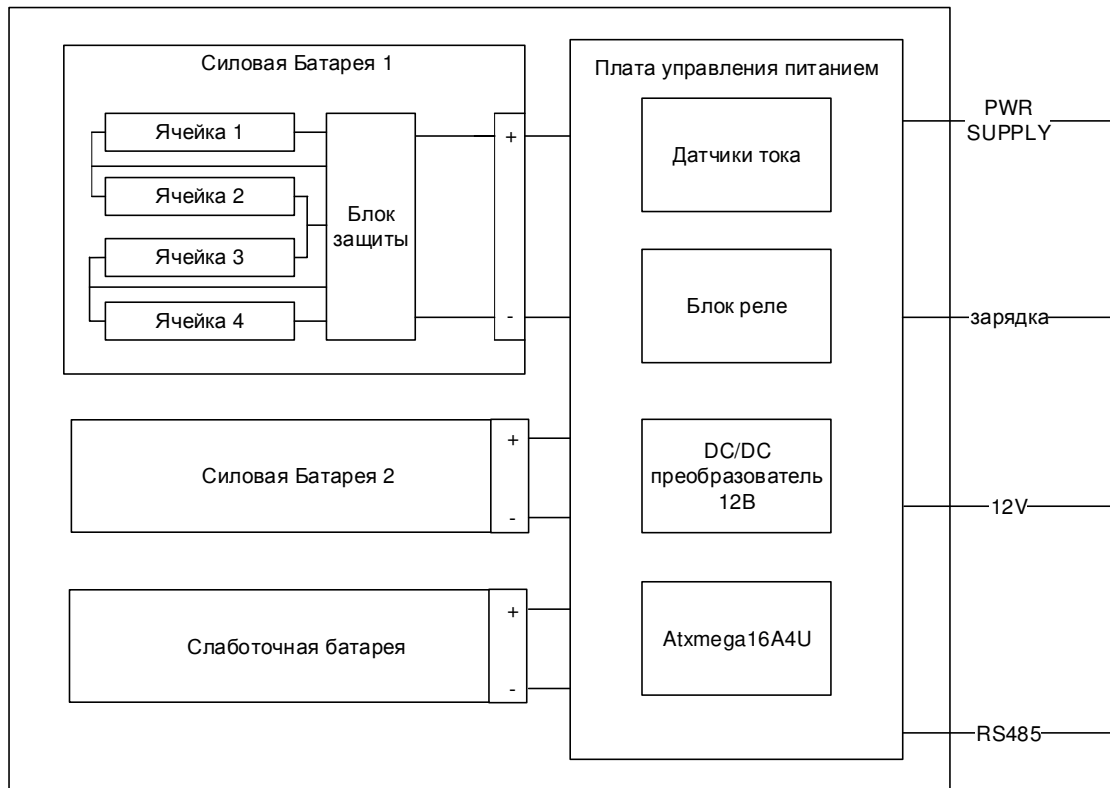


Рисунок 3.2 – Структурная схема системы автономного питания



Рисунок 3.3 – Сборка группы аккумуляторных батарей

3.1.1 Аккумуляторные батареи Liitokala HG2 18650



Рисунок 3.4 – Аккумуляторная батарея Liitokala HG2 18650

Литий–ионные батареи позволят обеспечить подзарядку системы и автономность в рабочем режиме.

Таблица 5 – Технические данные аккумуляторной батареи Liitokala HG2 18650

Параметр	Значение
Тип батареи	Литий-ионная
Ёмкость	3000 мАч
Напряжение батареи	3,6 В
Внутреннее сопротивление	12-16 мОм
Максимальный ток разрядки	20 А

Инва. № подл.

Подпись и дата

Взам. инв. №

Инва. № дубл.

Подпись и дата

Перв. примен.

Справ. №

3.1.2 Драйвер защиты батарей BMS PCM S4 40A



Рисунок 3.5 – Драйвер защиты литий-ионных батарей BMS PCM S4 40A

Драйвер BMS PCM S4 40A позволяет защитить аккумуляторные батареи от таких негативных явлений как перезарядка, переразрядка, короткое замыкание и перегрузка по току. Так же данный модуль имеет балансировку до 4 ячеек аккумулятора, т.е. производит равномерную зарядку и разрядку каждой ячейки до заранее определённого уровня.

Таблица 6 – Технические данные драйвера защиты BMS PCM S4 40A

Параметр	Значение
Напряжение	16,8 В
Максимальный рабочий ток	40 А
Максимальный ток (КЗ)	80 А
Напряжение зарядки	16,8 В-18,1 В
Максимальный ток зарядки	20 А
Отключение заряда при достижении напряжения	4,25 В
Срабатывание защиты при снижении напряжения до	2,5-3,5 В

3.1.3 Разработка корпуса для аккумуляторных батарей

Корпус был спроектирован в системе автоматизированного проектирования SolidWorks. 3D-модель корпуса вместе с крышкой показана на рисунке 3.6.

Перв. примен.
Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

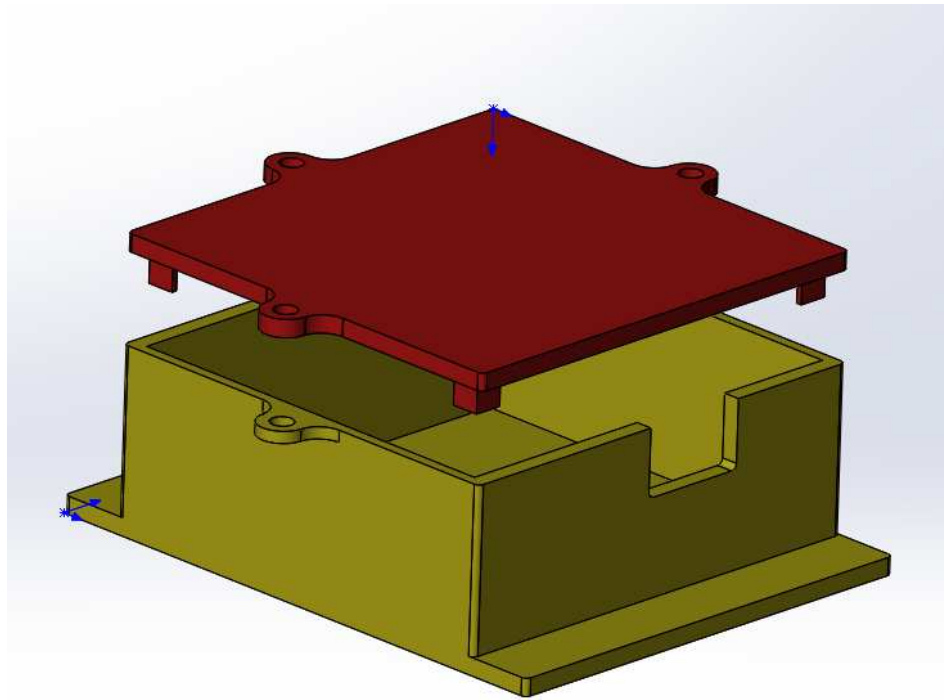


Рисунок 3.6 – 3D–модель корпуса и крышки

Оборудованием для печати послужил 3D–принтер Tevo Tarantula. Его характеристики приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики 3D–принтера Tevo Tarantula

Параметр	Значение
Технология печати	FDM
Конструкция принтера	Prusa i3
Область печати	220x270x260 мм
Максимальная скорость печати	150 мм/сек
Рекомендуемая скорость печати	30-60 мм/сек
Диаметр используемого пластика	1.75 мм
Максимальная температура экструдера	260°C
Максимальная температура нагрева стола	120 ° C.
Интерфейс	Micro SD карта
Плата управления	MKS Base v1.3

Для создания управляющей команды для принтера был использован слайсер под названием Cura. Слайсеры это программы создающие управляющие коды (G–коды) для 3D–принтеров и других станков с ЧПУ на основе 3D–модели, модели принтера и настроек печати.

В качестве материала для 3D–печати был использован пластик полиэтилентерефталатгликоль или иначе PETG. Этот пластик обладает достаточной прочностью, термостойкостью и долговечностью. У пластика низкая термоусадка.

Температура печати для стола была выбрана 90°C и для хот-энда 210°C. Для печати отверстий для закрепления крышки на корпусе были использованы поддержки. Печать корпуса и крышки вместе заняли 7 часов.

3.2 Реализация протокола передачи данных

Для вывода отслеживаемых данных на экран персонального компьютера, а также управления мобильным роботом необходимо использовать протоколы передачи данных.

Протокол передачи данных — набор соглашений интерфейса логического уровня, которые определяют обмен данными между различными программами. Эти соглашения задают единообразный способ передачи сообщений и обработки ошибок при взаимодействии программного обеспечения разнесённой в пространстве аппаратуры, соединённой тем или иным интерфейсом.

Стандартизированный протокол передачи данных также позволяет разрабатывать интерфейсы (уже на физическом уровне), не привязанные к конкретной аппаратной платформе и производителю (например, USB, Bluetooth) [5].

3.2.1 Модель OSI

Наиболее распространённой системой классификации сетевых протоколов является так называемая модель OSI, в соответствии с которой протоколы делятся на 7 уровней по своему назначению как показано на рисунке 3.7.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Перв. примен.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Уровень (layer)</th> <th>Тип данных (PDU^[1])</th> <th>Функции</th> <th>Примеры</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">Host layers</td> <td>7. Прикладной (application)</td> <td rowspan="3">Данные</td> <td>Доступ к сетевым службам</td> <td>HTTP, FTP, POP3, WebSocket</td> </tr> <tr> <td>6. Представления (presentation)</td> <td>Представление и шифрование данных</td> <td>ASCII, EBCDIC</td> </tr> <tr> <td>5. Сеансовый (session)</td> <td>Управление сеансом связи</td> <td>RPC, PAP</td> </tr> <tr> <td>4. Транспортный (transport)</td> <td>Сегменты (segment) / Дейтаграммы (datagram)</td> <td>Прямая связь между конечными пунктами и надёжность</td> <td>TCP, UDP, SCTP, PORTS</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Media^[2] layers</td> <td>3. Сетевой (network)</td> <td>Пакеты (packet)</td> <td>Определение маршрута и логическая адресация</td> <td>IPv4, IPv6, IPsec, AppleTalk</td> </tr> <tr> <td>2. Канальный (data link)</td> <td>Биты (bit) / Кадры (frame)</td> <td>Физическая адресация</td> <td>PPP, IEEE 802.22, Ethernet, DSL, ARP, L2TP, сетевая карта.</td> </tr> <tr> <td>1. Физический (physical)</td> <td>Биты (bit)</td> <td>Работа со средой передачи, сигналами и двоичными данными</td> <td>USB, кабель ("витая пара", коаксиальный, оптоволоконный), радиоканал</td> </tr> </tbody> </table>				Уровень (layer)	Тип данных (PDU ^[1])	Функции	Примеры	Host layers	7. Прикладной (application)	Данные	Доступ к сетевым службам	HTTP, FTP, POP3, WebSocket	6. Представления (presentation)	Представление и шифрование данных	ASCII, EBCDIC	5. Сеансовый (session)	Управление сеансом связи	RPC, PAP	4. Транспортный (transport)	Сегменты (segment) / Дейтаграммы (datagram)	Прямая связь между конечными пунктами и надёжность	TCP, UDP, SCTP, PORTS	Media ^[2] layers	3. Сетевой (network)	Пакеты (packet)	Определение маршрута и логическая адресация	IPv4, IPv6, IPsec, AppleTalk	2. Канальный (data link)	Биты (bit) / Кадры (frame)	Физическая адресация	PPP, IEEE 802.22, Ethernet, DSL, ARP, L2TP, сетевая карта.	1. Физический (physical)	Биты (bit)	Работа со средой передачи, сигналами и двоичными данными	USB, кабель ("витая пара", коаксиальный, оптоволоконный), радиоканал
					Уровень (layer)	Тип данных (PDU ^[1])	Функции	Примеры																												
Host layers	7. Прикладной (application)	Данные	Доступ к сетевым службам	HTTP, FTP, POP3, WebSocket																																
	6. Представления (presentation)		Представление и шифрование данных	ASCII, EBCDIC																																
	5. Сеансовый (session)		Управление сеансом связи	RPC, PAP																																
	4. Транспортный (transport)	Сегменты (segment) / Дейтаграммы (datagram)	Прямая связь между конечными пунктами и надёжность	TCP, UDP, SCTP, PORTS																																
Media ^[2] layers	3. Сетевой (network)	Пакеты (packet)	Определение маршрута и логическая адресация	IPv4, IPv6, IPsec, AppleTalk																																
	2. Канальный (data link)	Биты (bit) / Кадры (frame)	Физическая адресация	PPP, IEEE 802.22, Ethernet, DSL, ARP, L2TP, сетевая карта.																																
	1. Физический (physical)	Биты (bit)	Работа со средой передачи, сигналами и двоичными данными	USB, кабель ("витая пара", коаксиальный, оптоволоконный), радиоканал																																
Справ. №	Рисунок 3.7 – Модель OSI																																			
Подпись и дата	<p>Любой протокол модели OSI должен взаимодействовать либо с протоколами своего уровня, либо с протоколами на единицу выше и/или ниже своего уровня. Взаимодействия с протоколами своего уровня называются горизонтальными, а с уровнями на единицу выше или ниже — вертикальными.</p> <p>Каждому уровню с некоторой долей условности соответствует свой операнд — логически неделимый элемент данных, которым на отдельном уровне можно оперировать в рамках модели и используемых протоколов: на физическом уровне мельчайшая единица — бит, на канальном уровне информация объединена в кадры, на сетевом — в пакеты (датаграммы), на транспортном — в сегменты. Любой фрагмент данных, логически объединённых для передачи — кадр, пакет, датаграмма — считается сообщением. Именно сообщения в общем виде являются операндами сеансового, представительского и прикладного уровней.</p> <p>Рассмотрим уровни этой классификации более подробно.</p> <p><i>Прикладной уровень.</i></p>																																			
Инов. № дубл.																																				
Взам. инв. №																																				
Подпись и дата																																				
Инов. № подл.																																				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																																
БР – 15.03.06 ПЗ				Лист																																
				30																																

Прикладной уровень (уровень приложений; англ. application layer) — верхний уровень модели, обеспечивающий взаимодействие пользовательских приложений с сетью:

- позволяет приложениям использовать сетевые службы;
- удалённый доступ к файлам и базам данных,
- пересылка электронной почты;
- отвечает за передачу служебной информации;
- предоставляет приложениям информацию об ошибках;
- формирует запросы к уровню представления.

Уровень представления.

Уровень представления (англ. presentation layer) обеспечивает преобразование протоколов и кодирование/декодирование данных. Запросы приложений, полученные с прикладного уровня, на уровне представления преобразуются в формат для передачи по сети, а полученные из сети данные преобразуются в формат приложений. На этом уровне может осуществляться сжатие/распаковка или шифрование/дешифрование, а также перенаправление запросов другому сетевому ресурсу, если они не могут быть обработаны локально.

Уровень представлений имеет дело не только с форматами и представлением данных, он также занимается структурами данных, которые используются программами. Таким образом, уровень 6 обеспечивает организацию данных при их пересылке.

Сеансовый уровень.

Сеансовый уровень (англ. session layer) модели обеспечивает поддержание сеанса связи, позволяя приложениям взаимодействовать между собой длительное время. Уровень управляет созданием/завершением сеанса, обменом информацией, синхронизацией задач, определением права на передачу данных и поддержанием сеанса в периоды неактивности приложений.

Транспортный уровень.

Транспортный уровень (англ. transport layer) модели предназначен для обеспечения надёжной передачи данных от отправителя к получателю. При этом уровень надёжности может варьироваться в широких пределах. Существует множество классов протоколов транспортного уровня, начиная от протоколов, предоставляющих только основные транспортные функции (например, функции передачи данных без подтверждения приёма), и заканчивая протоколами, которые гарантируют доставку в пункт назначения нескольких пакетов данных в надлежащей последовательности, мультиплексируют несколько потоков данных, обеспечивают механизм управления потоками данных и гарантируют достоверность принятых данных.

Сетевой уровень.

Сетевой уровень (англ. network layer) модели предназначен для определения пути передачи данных. Отвечает за трансляцию логических адресов

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Перв. примен.	<p>и имён в физические, определение кратчайших маршрутов, коммутацию и маршрутизацию, отслеживание неполадок и «заторов» в сети.</p> <p>Протоколы сетевого уровня маршрутизируют данные от источника к получателю. Работающие на этом уровне устройства (маршрутизаторы) условно называют устройствами третьего уровня (по номеру уровня в модели OSI).</p> <p><i>Канальный уровень.</i></p> <p>Канальный уровень (англ. data link layer) предназначен для обеспечения взаимодействия сетей на физическом уровне и контроля ошибок, которые могут возникнуть. Полученные с физического уровня данные, представленные в битах, он упаковывает в кадры, проверяет их на целостность и, если нужно, исправляет ошибки (формирует повторный запрос повреждённого кадра) и отправляет на сетевой уровень. Канальный уровень может взаимодействовать с одним или несколькими физическими уровнями, контролируя и управляя этим взаимодействием.</p> <p>Спецификация IEEE 802 разделяет этот уровень на два подуровня: MAC (англ. media access control) регулирует доступ к разделяемой физической среде, LLC (англ. logical link control) обеспечивает обслуживание сетевого уровня.</p> <p>На этом уровне работают коммутаторы, мосты и другие устройства. Эти устройства используют адресацию второго уровня (по номеру уровня в модели OSI).</p> <p>В программировании этот уровень представляет драйвер сетевой платы, в операционных системах имеется программный интерфейс взаимодействия канального и сетевого уровней между собой. Это не новый уровень, а просто реализация модели для конкретной ОС. Примеры таких интерфейсов: ODI (англ.), NDIS, UDI.</p> <p><i>Физический уровень.</i></p> <p>Физический уровень (англ. physical layer) — нижний уровень модели, который определяет метод передачи данных, представленных в двоичном виде, от одного устройства (компьютера) к другому. Протоколы этого уровня осуществляют передачу электрических или оптических сигналов в кабель или в радиоэфир и, соответственно, их приём и преобразование в биты данных в соответствии с методами кодирования цифровых сигналов.</p> <p>На этом уровне также работают концентраторы, повторители сигнала и медиаконвертеры.</p> <p>Функции физического уровня реализуются на всех устройствах, подключенных к сети. Со стороны компьютера функции физического уровня выполняются сетевым адаптером или последовательным портом. К физическому уровню относятся физические, электрические и механические интерфейсы между двумя системами. Физический уровень определяет такие виды сред передачи данных как оптоволокно, витая пара, коаксиальный кабель, спутниковый канал передач данных и т.п. Стандартными типами сетевых интерфейсов, относящимися к физическому уровню, являются: V.35, RS-232, RS-485, RJ-11, RJ-45, разъёмы AUI и BNC [5].</p>				
	Справ. №				
Подпись и дата					
	Инд. № дубл.				
Взам. инв. №					
	Подпись и дата				
Инд. № подл.					
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.2.2 Сравнение стандартов физического уровня и протоколов

Ниже представлены две таблицы сравнения различных протоколов.

Таблица 8 – Сравнение стандартов физического уровня

Протоколы Признаки	RS-232	RS-422	RS-423	RS-485
Физическая среда	группа медных кабелей	Витая пара	группа медных кабелей	Витая пара
Тип передачи	Полный дуплекс	Полный дуплекс	Дуплекс	Полудуплекс (2 провода), полный дуплекс (4 провода)
Режим передачи	несимметричный (несбалансированный)	Дифференциальный сигнал	несимметричный (несбалансированный)	Дифференциальный сигнал (балансный)
Топология	Точка-точка	Точка-точка	точка-точка, Multi-dropped	Многоточечная
Максимальная скорость передачи	0,3 кбит/с – 0,5 Мбит/с	100 кбит/с – 10 Мбит/с	До 100 Кбит/с	100 кбит/с — 10 Мбит/с
Напряжение	-15 до +15 В	-6В до +6В	-6В до +6В	-7 В до +12 В
Максимальное количество устройств	1 приёмник и 1 передатчик	1 передающее и до 10 принимающих	10 (1 драйвер и 10 получателей)	32 (с повторителям до 256)
Максимальное расстояние	15 м	1500 м	1200 м	1200 м

Таблица 9 – Сравнение протоколов

Протоколы Признаки	ModBUS	Profibus	CAN	RScomm
Физическая основа	RS-485, RS-422, RS-232, и сети TCP/IP	RS-485, оптическая или инфракрасная сеть	ISO 11898-2 и ISO 11898-3 (двухпроводные), SAE J2411 (однопроводная)	RS-485, Bluetooth, wifi
Взаимодействие передатчиков	master-slave	multi-master	multi-master	multi-master
Размер передаваемого пакет	≤253 байта	≤244 байта	≤8 байт	≤140 байт
Служебные байты	1-7 байт	11 байт	44-64 байт	8 байт

3.2.3 Обзор стандарта физического уровня RS-485

Как распространённый стандарт физического уровня рассмотрим более подробно RS-485.

Сеть, построенная на интерфейсе RS-485, представляет собой приемопередатчики, соединенные при помощи витой пары - двух скрученных проводов. В основе интерфейса RS-485 лежит принцип дифференциальной (балансной) передачи данных. Суть его заключается в передаче одного сигнала

по двум проводам. Причем по одному проводу (условно А) идет оригинальный сигнал, а по другому (условно В) - его инверсная копия. Другими словами, если на одном проводе "1", то на другом "0" и наоборот. Таким образом, между двумя проводами витой пары всегда есть разность потенциалов: при "1" она положительна, при "0" - отрицательна.

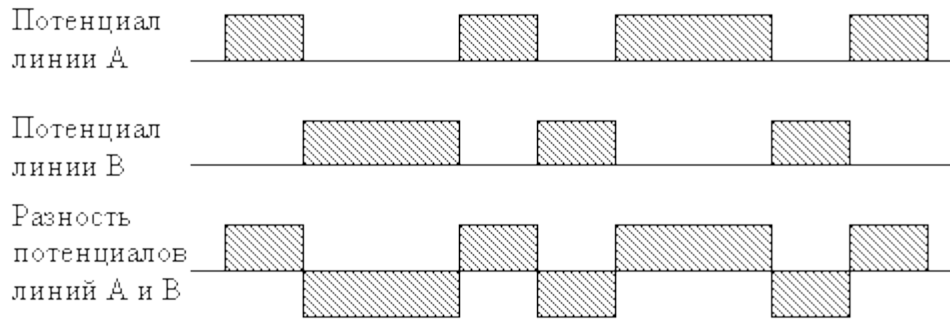


Рисунок 3.8 – Дифференциальная передача данных

Именно этой разностью потенциалов и передается сигнал. Такой способ передачи обеспечивает высокую устойчивость к синфазной помехе. Синфазной называют помеху, действующую на оба провода линии одинаково. К примеру, электромагнитная волна, проходя через участок линии связи, наводит в обоих проводах потенциал. Если сигнал передается потенциалом в одном проводе относительно общего, как в RS-232, то наводка на этот провод может исказить сигнал относительно хорошо поглощающего наводки общего ("земли"). Кроме того, на сопротивлении длинного общего провода будет падать разность потенциалов земель - дополнительный источник искажений. А при дифференциальной передаче искажения не происходит. В самом деле, если два провода пролегают близко друг к другу, да еще перевиты, то наводка на оба провода одинакова. Потенциал в обоих одинаково нагруженных проводах изменяется одинаково, при этом информативная разность потенциалов остается без изменений.

Аппаратная реализация интерфейса - микросхемы приемопередатчиков с дифференциальными входами/выходами (к линии) и цифровыми портами (к портам UART контроллера).

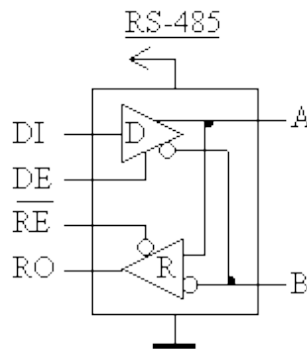


Рисунок 3.9 – Техническое исполнение стандарта RS-485

На рисунке 3.9 представлена техническая реализация интерфейса RS-485. Ниже приведены условные обозначения, представленные на рисунке:

D (driver) - передатчик;

R (receiver) - приемник;

DI (driver input) - цифровой вход передатчика;

RO (receiver output) - цифровой выход приемника;

DE (driver enable) - разрешение работы передатчика;

RE (receiver enable) - разрешение работы приемника;

A - прямой дифференциальный вход/выход;

B - инверсный дифференциальный вход/выход.

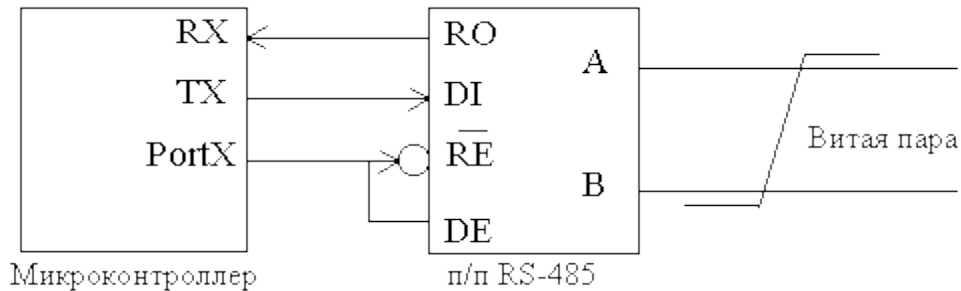


Рисунок 3.10 – Подключение микроконтроллера и приёмопередатчика RS-485

На рисунке 10 представлено подключение микроконтроллера и приёмопередатчика RS-485. Цифровой выход приемника (RO) подключается к порту приемника UART (RX). Цифровой вход передатчика (DI) к порту передатчика UART (TX). Поскольку на дифференциальной стороне приемник и передатчик соединены, то во время приема нужно отключать передатчик, а во время передачи - приемник. Для этого служат управляющие входы - разрешение приемника (RE) и разрешения передатчика (DE). Так как вход RE инверсный, то его можно соединить с DE и переключать приемник и передатчик одним сигналом с любого порта контроллера. При уровне "0" - работа на прием, при "1" - на передачу.

Максимальная скорость связи по спецификации RS-485 может достигать 10 Мбод/сек. Максимальное расстояние - 1200 м. Если необходимо организовать связь на расстоянии большем 1200 м или подключить больше устройств, чем допускает нагрузочная способность передатчика - применяют специальные повторители (репитеры).

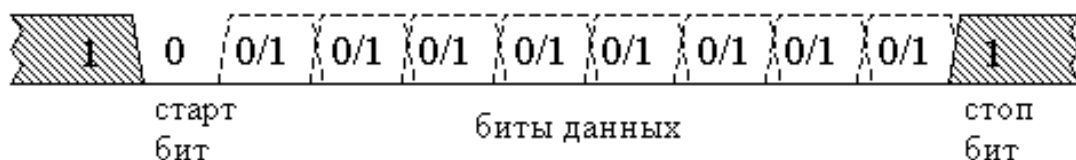


Рисунок 3.11 – Кадр, передаваемый по витой паре

Модуль UART микроконтроллера для передачи информации использует кадры – последовательные биты информации. На рисунке 3.11 представлена

структура кадра. По умолчанию передатчик устанавливает на линии единичный уровень. Передача начинается посылкой бита с нулевым уровнем (старт-бита), затем идут биты данных младшим битом вперед (низкий уровень - "0", высокий уровень - "1"), завершается посылка передачей одного или двух битов с единичным уровнем (стоп-битов).

3.2.4 Описание протокола RScomm

Для обмена данными мобильного робота с другими устройствами сети, например, с ПК реализован протокол под названием RScomm. Он разработан из соображений обеспечения высокой скорости передачи, надёжности передачи пакета и возможности коммуникации множества устройств различного типа подключения при расширении промышленной сети.

RScomm поддерживает более одного ведущего устройства в сети, то есть сеть имеет тип подключения передатчиков multi-master. В качестве стандартов физического уровня могут использоваться RS-485, Bluetooth, WiFi.

Для передачи данных и команд устройствам протокол использует пакеты. Каждый пакет разбит на функциональные блоки как показано на рисунке 3.12.



Рисунок 3.12 – Схема пакета данных

Первыми в пакете идут два байта 0xFE стартовой последовательности. Они означают, что принимается пакет и нужно начать его обработку. Следующие два байта указывают адрес устройства, которому необходимо выполнить содержащиеся в пакете инструкции. CMD1 и CMD2 два байта инструкций к устройству, содержат род команды который необходимо выполнить. Например: поднять/опустить манипулятор, включить/выключить светодиод. N – число обозначающее количество байт в блоке данных. Далее идут байты данных дополняющие байты команд. То есть если байты CMD содержат инструкцию включения светодиода, то байты DATA1 укажут какой именно светодиод необходимо включить на этом устройстве. Эти байты могут занимать основную длину пакета или вовсе отсутствовать. Максимальная длина данных пакета 140 байт. После этого идут два байта контрольной суммы, они необходимы для проверки целостности пакета, принятого устройством. И два последних байта 0xFF, сигнализирующие о конце пакета.

При приёме и передаче данных, стоит учитывать, что в пакете могут встретиться байты 0xFE и 0xFF которые не обозначают конец или начало пакета, но являются полезными. Как например, показано на рисунке 3.13, в части пакета, где записаны команды, присутствует байт 0xFE и для того чтобы он при принятии пакета распознался правильно, после него пишется байт 0x00. При принятии пакета и записи в один из буферов, байт 0x00 не учитывается и служит лишь для правильного распознавания байтов 0xFE и 0xFF.

0xFE	0xFE	0x02	0x01	0xFE	0x00	0x01	0x02	0xE0	0x01	0x7D	0x7B	0xFF	0xFF
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Рисунок 3.13 – Пример пакета

Пакеты, передаваемые протоколом через RS-485, разбиваются на кадры как показано на рисунке 3.14.

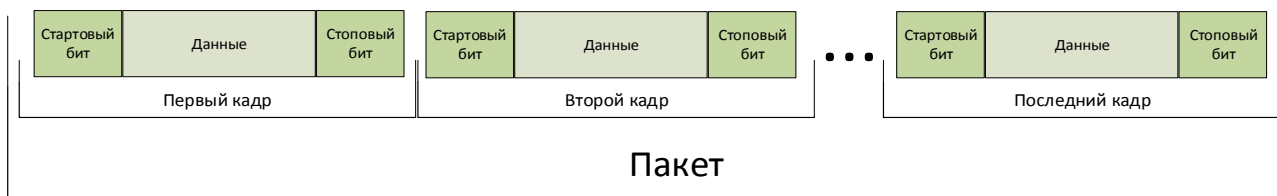


Рисунок 3.14 – Схема разбития пакета на кадры

Обработкой принимаемых байтов занимается конечный автомат, вызываемый через прерывание.

В таблице 10 и на рисунке 3.15 представлена информация о состояниях конечного автомата. Для удобства принимаемый байт обозначен как “X”.

Таблица 10 – Состояния конечного автомата приема байта

Название	Описание
IDLE	Состояние ожидания стартовой последовательности. Парсер ожидает первого байта стартовой последовательности FE.
START	Ожидание начала приёма. Парсер расшифровал первый байт FE стартовой последовательности. Может перейти обратно в состояние IDLE, если следующим байтом будет не FE.
RX	Состояния приёма. Стартовая последовательность считана парсером, теперь начинается приём пакета данных. Если во время приёма приходит байт FF, автомат переходит в режим STOP, а если приходит байт FE, то в режим RESTART.

Таблица 10 – Продолжение

Название	Описание
STOP	Ожидание остановки. Парсер во время приёма расшифровал байт FF и он ожидает прихода второго байта конца пакета FF. Если следующим байтом придёт 00, то конечный автомат вернётся в состояние RX и продолжит считывать пакет, иначе перейдёт в состояние IDLE.
RESTART	Ожидание рестарта. Парсер во время приёма расшифровал байт FE и он ожидает прихода второго байта конца пакета FE. Если следующим байтом придёт 00, то конечный автомат вернётся в состояние RX, и продолжит считывать пакет, если же придёт

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Перв. примен.

Справ. №

второе FE, то он тоже перейдёт в состояние RX, но сбросит предыдущий пакет и начнёт считывание нового иначе перейдёт в состояние IDLE.

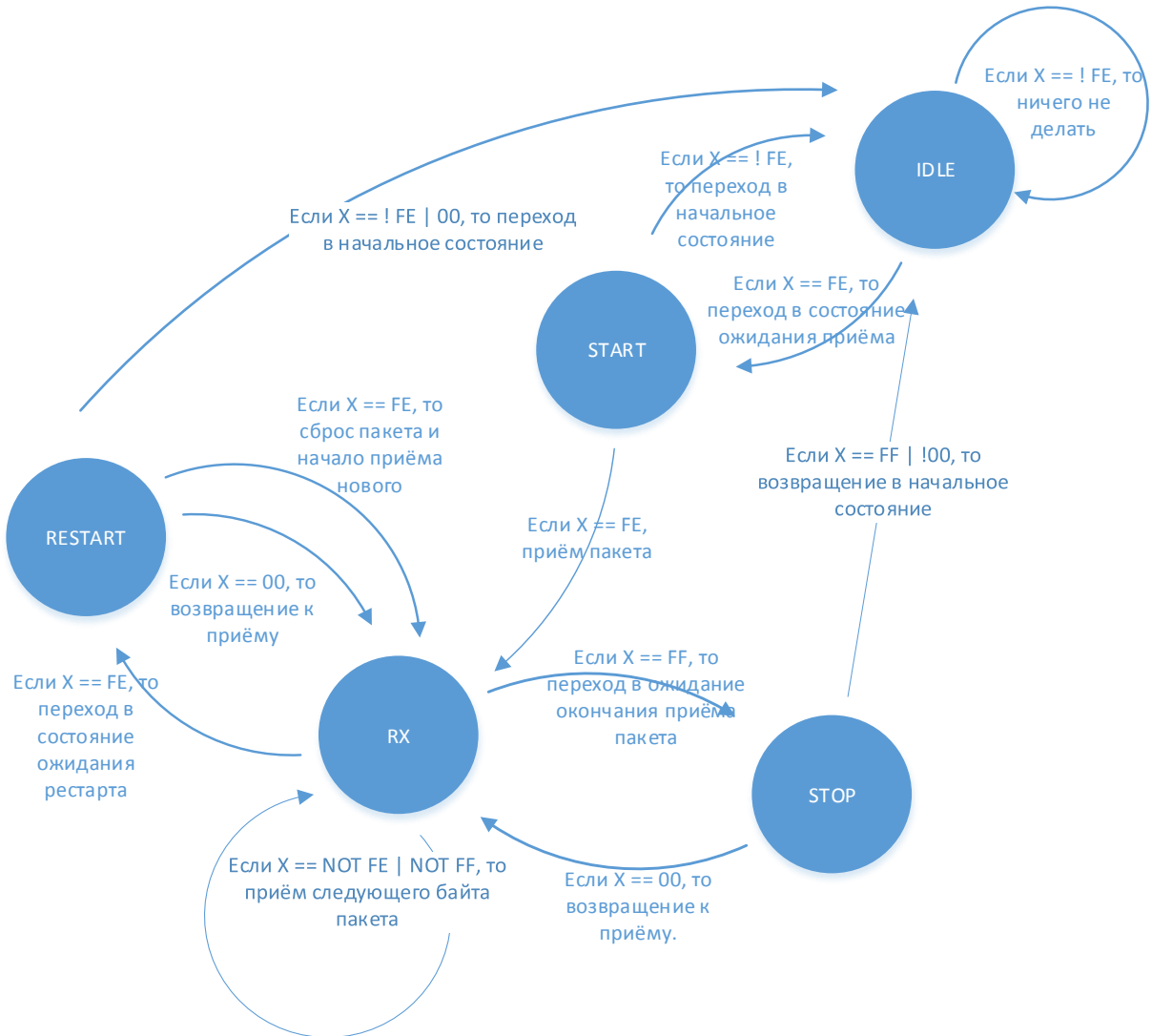


Рисунок 3.15 – Диаграмма состояний конечного автомата приема байта

Когда приём пакета завершён его расшифровкой занимается парсер. Он вызывается как прерывание по окончанию приёма пакета.

3.3 Разработка системы управления для приводов

Для управления двигателями используются драйвера. На рисунке 3.16 представлена структурная схема одного такого устройства.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

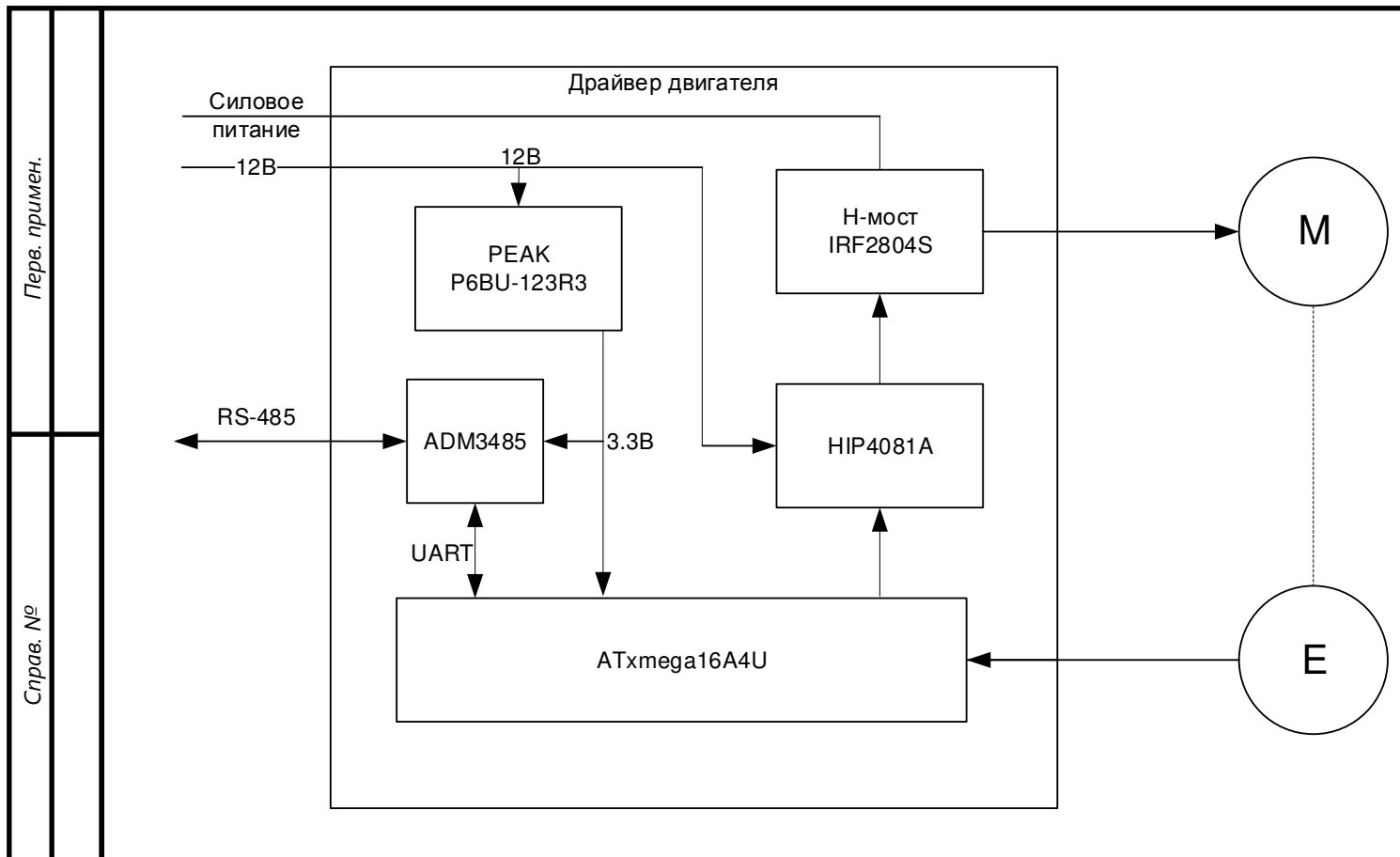


Рисунок 3.16 – Структурная схема драйвера двигателя

3.3.1 Описание принципа работы сервопривода

В работе использовался способ управления ключами Н-Моста под названием “униполярная четырёхквadrантная ШИМ формы II”. Этот метод обладает следующими преимуществами:

- обеспечение работы привода во всех 4-х квадрантах;
- удвоение частоты ШИМ снижает пульсации тока в двигателе;
- позволяет приводу проводить рекуперацию (возвращение энергии обратно в цепь питания);
- отсутствие необходимости в сигнале прямого хода/реверса.

Подпись и дата						БР – 15.03.06 ПЗ	Лист		
Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	Изм.	Лист		№ докум.	Подпись	Дата

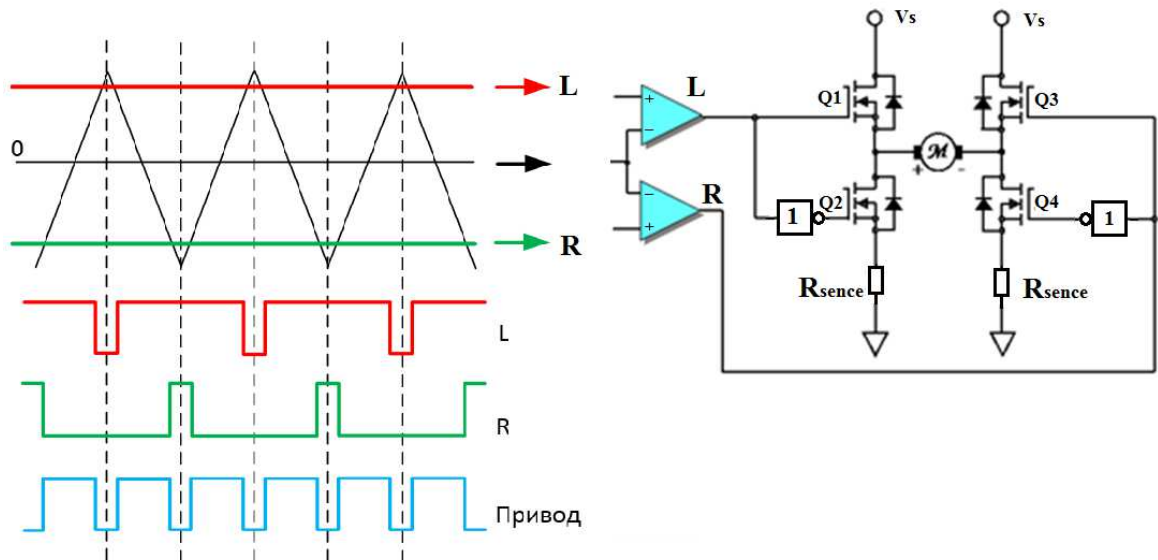


Рисунок 3.17 – Принципиальная схема H-моста включённого по способу управления “униполярная четырёхквadrантная ШИМ формы П”

Управление осуществляется двумя взаимодополняющими сигналами, сдвинутыми по фазе на 180° . Временная диаграмма переключения ключей приведена на рисунке 3.18.

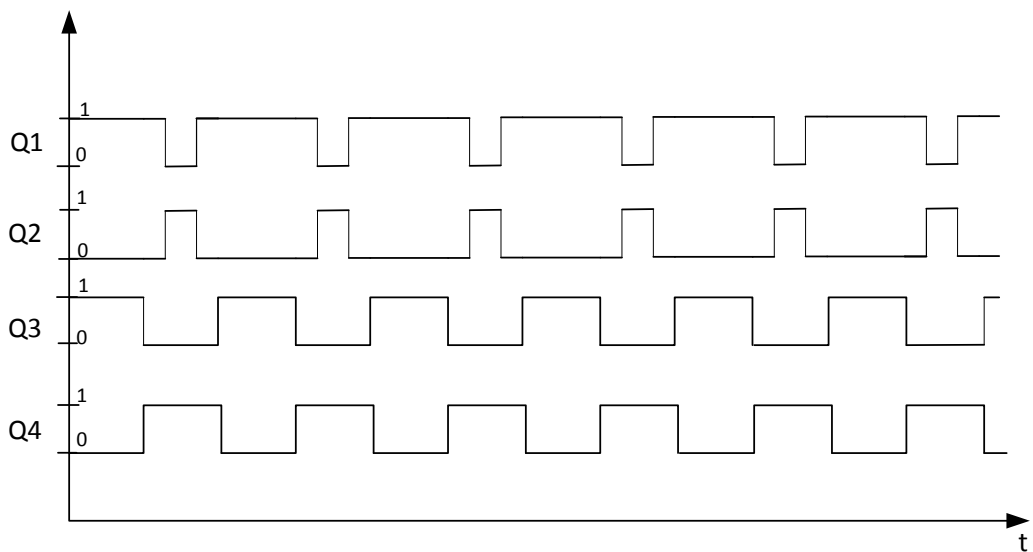


Рисунок 3.18 – Временная диаграмма коммутации ключей H-моста

Если предположить, что в левой половине H-моста появится сигнал «L», а в правой половине H-моста появится сигнал «R», то двигатель увидит разницу между этими двумя сигналами. Если вычесть сигнал “R” из формы “L”, то получится сигнал, который удваивает частоту ШИМ в виде одного из входящих сигналов. Это является желаемой особенностью, поскольку постоянная времени L/R двигателя будет в два раза эффективнее при фильтрации несущих гармоник. Тем не менее, транзисторы по-прежнему будут переключаться на более низкую частоту, что уменьшает потери переключения в H-мосте.

Подача сигнала организована с контроллера ATxmega16A4U через счетчик

с двумя каналами сравнения и благодаря модулю AWEX позволяет выводить на каждый вход H-моста HIP4081A необходимый ШИМ сигнал.

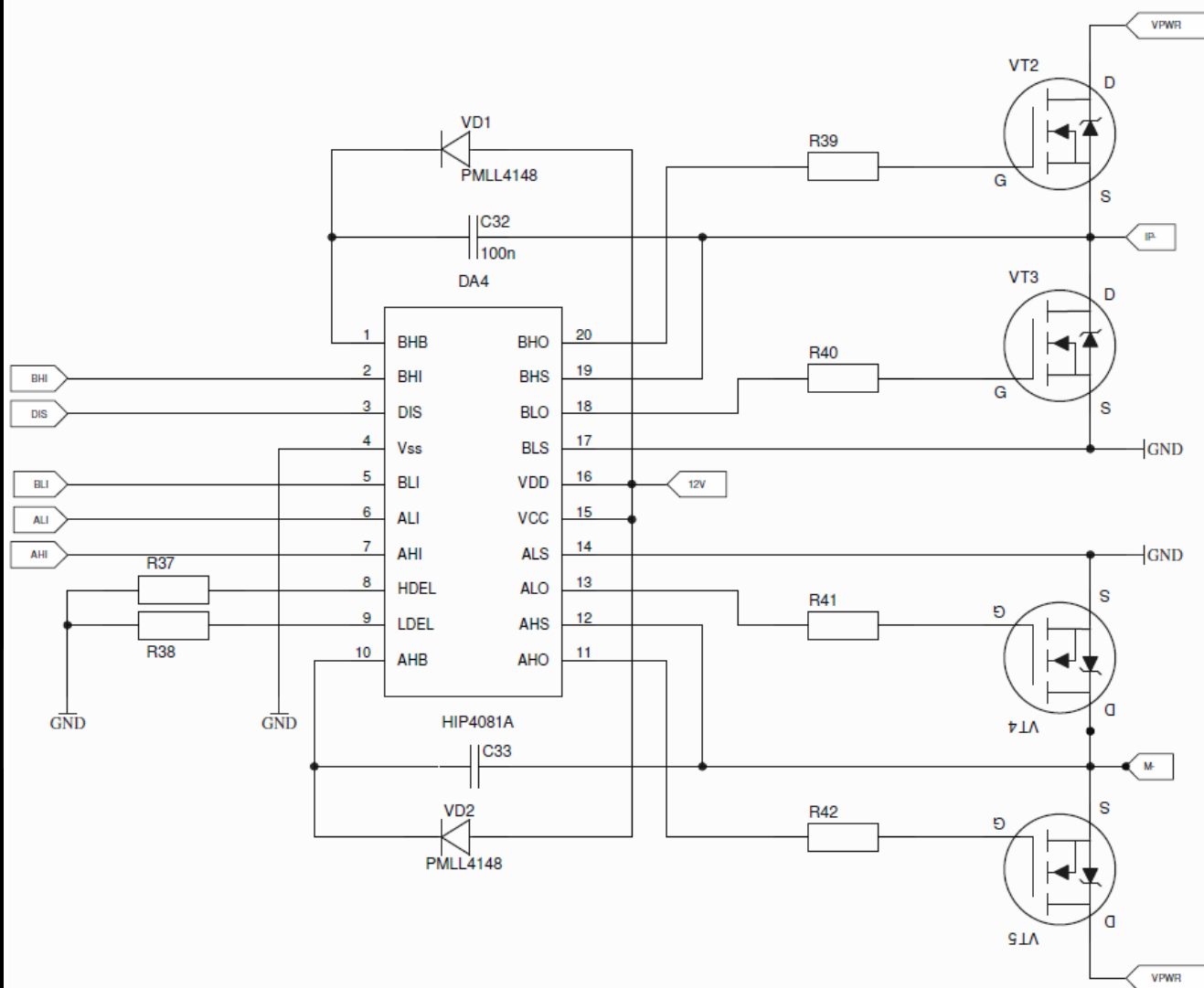


Рисунок 3.19 – Структурная схема подключения транзисторов к модулю H-моста HIP4081A

H-мост HIP4081A позволяет быстро и эффективно изменять состояние транзисторов избегая перегрева. Вход DIS в состоянии логической единицы отключает передачу ШИМ сигнала дальше на ключи. В работе этот вход использовался для включения и отключения сервопривода. На рисунке 3.19 входы АНІ и ВНІ контролируют состояние левого и правого соответственно транзисторов верхней половины H-моста, а входы АЛІ и ВЛІ состояние левого и правого транзисторов соответственно нижней половины.

3.3.2 Алгоритм работы программы управления приводами

На базе микроконтроллера организовано двухконтурное подчинённое управление. На рисунке 3.20 приведена структурная схема двухконтурной

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

системы подчинённого регулирования. В квадратных скобках указано количество байт памяти, выделяемой для хранения и работы с переменной.

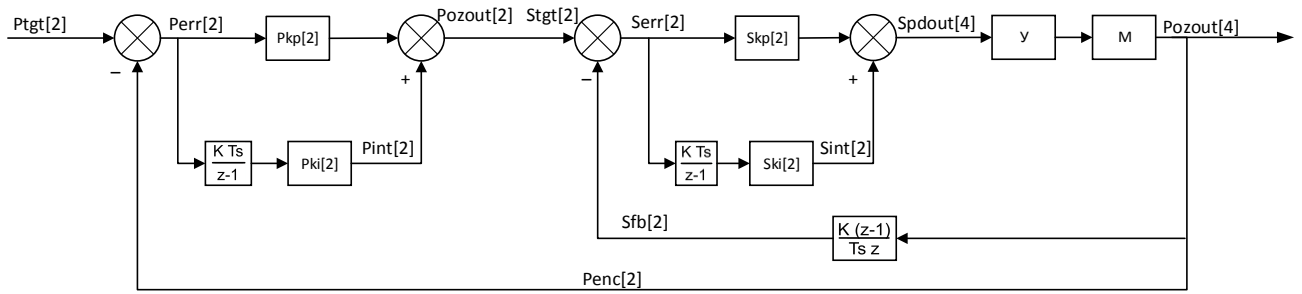


Рисунок 3.20 – Структурная схема двухконтурной системы подчинённого регулирования

Для получения и расшифровки пакетов, отправляемых с ПК с целью управления приводами мобильной платформы, была написана программа на языке C++. Далее представлен алгоритм её работы.

После загрузки программы на плату она начинает выполнение, с инициализации портов, осциллятора, включения и настройки частоты UART'a и различных таймеров.

Далее программа переходит в рабочий режим, в котором она снимает с энкодера значение положения и вычисляет скорость, и задающее воздействие в зависимости от задания и выбранного режима управления (скорость или положение). Само задание и коэффициенты для ПИ–регуляторов, а также другие команды приходят в пакетах с ПК и обрабатываются прерыванием по приёму.

Программный код был реализован на языке c++. В приложении А представлен листинг программы.

3.3.3 Переполнение таймера энкодера

В ходе работы контроллера привода, может происходить переполнение счётчика энкодера вследствие чего значение скорости привода может вычисляться некорректно. Ниже приведён пример для положительной постоянной скорости вращения двигателя.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

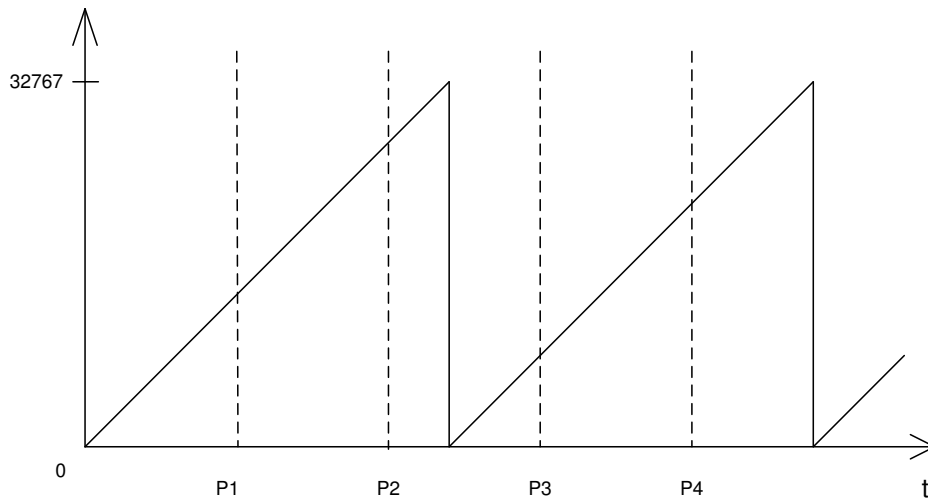


Рисунок 3.21 – График значений регистра счёта счётчика энкодера для положительной скорости

Считывание значений энкодера происходит в равные промежутки времени. Значение периода энкодера равно 32768. Значение счётчика в точках P представлено в таблице 11.

Таблица 11 – Значения счётчика в точках

Название точки	Значение счётчика
P1	13500 диск.
P2	2700 диск.
P3	7732 диск.
P4	21232 диск.

Формула для расчёта скорости в точке P_k :

$$V_{Pk} = \frac{P_k - P_{(k-1)}}{t_0}, \quad (3)$$

где t_0 – период дискретизации

Тогда при расчёте скоростей по формуле (3) значения в точках запишутся как показано в таблице 12.

Таблица 12 – Значение скоростей в точках

Название точки	Значение скорости
P1	13500 диск./ t_0
P2	13500 диск./ t_0
P3	-19268 диск./ t_0
P4	13500 диск./ t_0

Значение скорости в точке P3 равняется отрицательному числу несмотря на постоянство по знаку и по модулю значения скорости, что неверно. Это

происходит как раз из-за переполнения счётчика энкодера, что отчётливо видно на графике. Мы можем отследить факт переполнения и исправить значение скорости, когда происходит переполнение.

Поскольку числа у нас двухбайтные, то прибавление к некорректному значению скорости, значения периода счётчика должно компенсировать переполнение счетчика. То есть к значению V_{P3} нужно прибавить 32767, тогда $V_{P3} = -19268 + 32768 = 13500$. В случае положительной скорости прибавление периода таймера из-за свойств бинарного числа вызовет переполнение переменной через ноль, и переменная снова войдёт в область положительных значений, в случае же отрицательной скорости, прибавление не вызовет переполнение, но также скорректирует значение и введёт переменную в область отрицательных значений. Сложение для обоих случаев работает только в том случае если периода энкодера больше максимального положительного числа, то есть в случае двухбайтных чисел больше 32767. Если же период счётчика меньше, то необходим учёт знака переполнения счётчика для того чтобы правильно выбрать знак при корректировке значений скорости.

Приведём пример ещё и для отрицательного постоянного значения скорости.

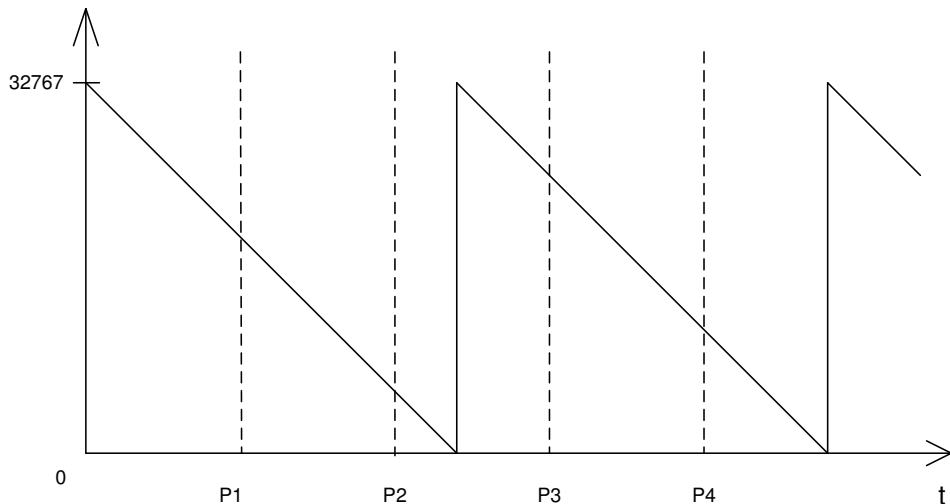


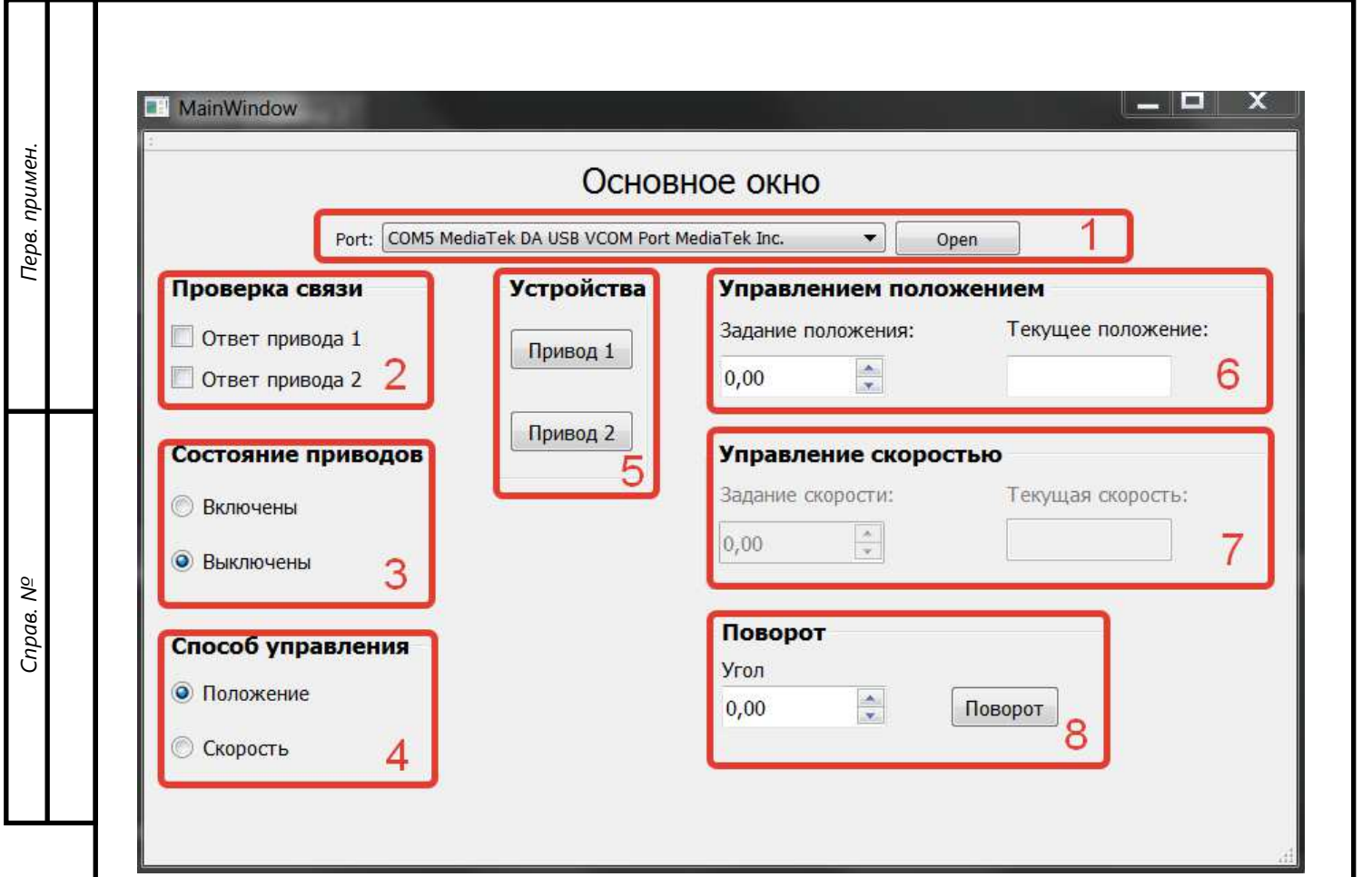
Рисунок 3.22 – График значений регистра счёта счётчика энкодера для отрицательной скорости

Значение счётчика в точках P представлено в таблице 13.

Таблица 13 – Значения счётчика в точках

Название точки	Значение счётчика
P1	13500 диск.
P2	2700 диск.
P3	7732 диск.
P4	21232 диск.

Тогда по формуле (3) значение скоростей в точках будут выглядеть как показано в таблице 14.



1 – выбор последовательного порта. В этом блоке в выпадающем меню осуществляется выбор порта, по которому будет происходить обмен данными между устройствами. При нажатии на кнопку “Open” выполнится проверка состояния порта и, если проверка прошла успешно, в порт отправятся стартовые команды на проверку подключения устройств к сети.

2 – проверка связи. Если в следствии проверки состояния устройств в сети некоторое устройство ответит ответным откликом, то напротив названия этого в устройства отметится соответствующий checkbox.

3 – состояние приводов. В данном блоке осуществляется включение и приводов.

4 – способ управления. В данном блоке устанавливается способ управления приводами, по скорости или по положению. При выборе одного из режимов не соответствующий ему блок “управления положением” или “управления скоростью” становится неактивным.

5 – устройства. При нажатии по одной из клавиш в данном блоке откроется новое окно “Отладка привода”, в котором осуществляется управление и контроль отдельного привода. Подробнее об этом в главе 4.4.2.

6 – управление положением. В этом блоке выбирается задание на положение для мобильной платформы и выводится текущее значение положения.

7 – управление скоростью. В этом блоке выбирается задание по скорости для мобильной платформы и выводится текущее значение скорости.

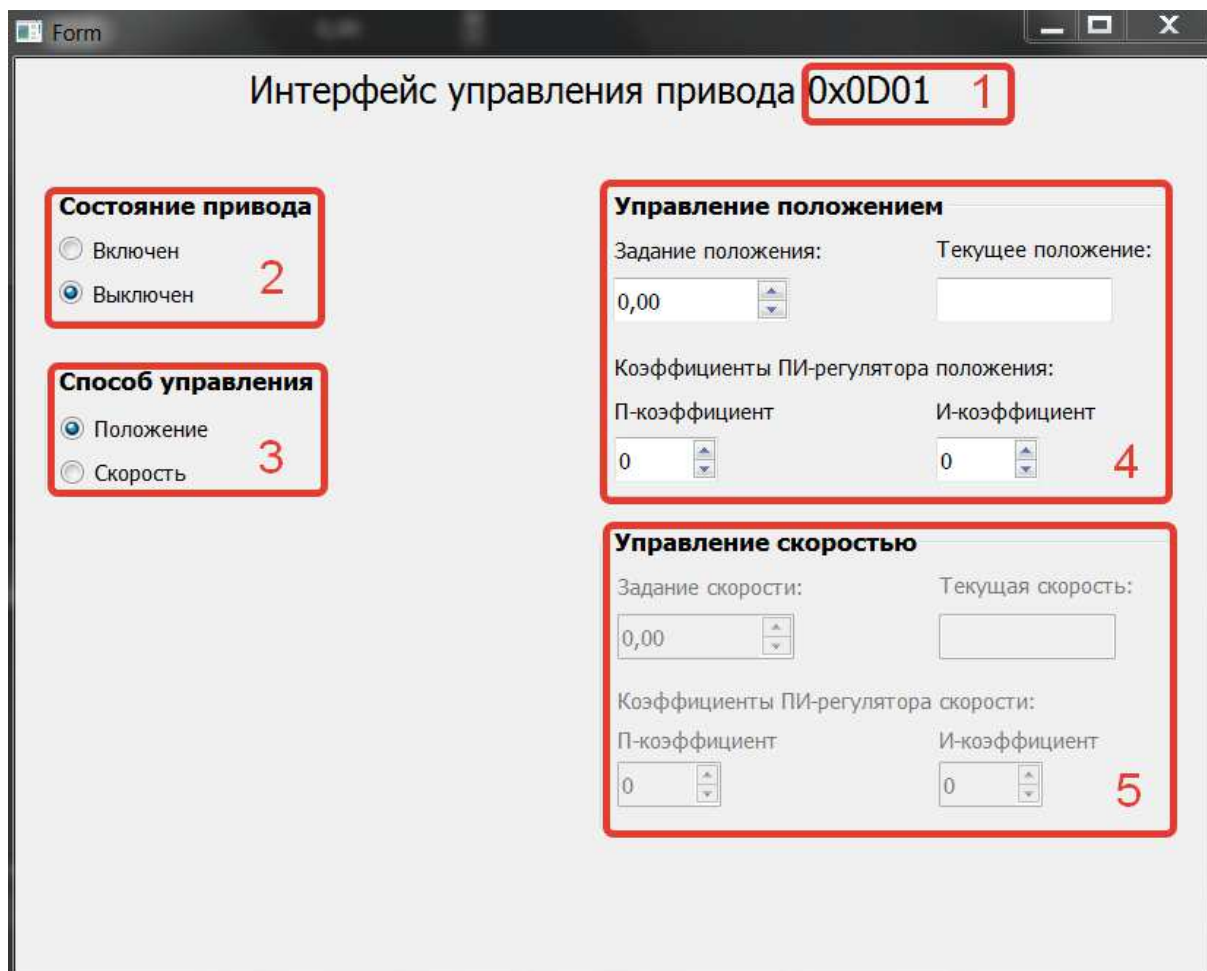
8 – поворот. Здесь выбирается значение угла, на который необходимо повернуться платформе. В случае нажатия на клавишу значение угла передаётся на платформу.

Рисунок 3.23 – Основное окно программы

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
БР – 15.03.06 ПЗ					Лист
					46

3.4.2 Графический интерфейс отладки приводов

Ниже приведено описание различных блоков интерфейса отладки отдельного привода представленных на рисунке 3.24.



1 – адрес устройства. В этом месте указывается адрес устройства, управление которым происходит в данный момент

2 – состояние привода. В этом блоке осуществляется включение и отключение привода.

3 – способ управления. В данном блоке устанавливается способ управления конкретным приводом, по скорости или по положению. При выборе одного из режимов не соответствующий ему блок “управления положением” или “управления скоростью” становится неактивным.

4 – управление положением. В этом блоке выбирается задание на положение для отдельного привода и текущее значение скорости. Так же в этом блоке задаются коэффициенты ПИ–регулятора положения.

5 – управление скоростью. В этом блоке выбирается задание по скорости для мобильной платформы и выводится её текущее значение. Так же в этом блоке задаются коэффициенты ПИ–регулятора скорости.

Рисунок 3.24 – Окно отладки привода

3.4.3 Алгоритм работы программы

При запуске программы создаются внутренние переменные и задаются значения периодов для таймеров. После запуска программы следует в

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

выпадающем меню выбрать последовательный COM–порт по которому будет производиться общение с устройствами сети. После того как был выбран порт вызывается метод Start_Commands со стартовыми командами.

В методе Start_Commands происходит проверка подключения устройств к сети и правильности передачи им команд с помощью команды PING. Здесь же отправляется команда Servo_On на отключение приводов и команда LED для включения красного светодиода.

После это запускается таймер _Upd_cycle по истечению периода которого вызывается метод Update. В этом методе вызываются отправляются команды Get_Position и Get_Speed для запроса значений соответственно положения и скорости с приводов. Здесь же идёт отправка команд на включение или отключени приводов (Servo_On), выбора способа управления (Servo_Mode), на установку цвета светодиода (LED), на задание положения (Set_Position), скорости(Set_Speed) и поворота, в соответствии с введёнными пользователем значениями в интерфейсе приложения.

Во время работы с программой можно вызвать окно отладки отдельного привода, нажав по одной из кнопок блока “устройства”. После запуска окна таймер _Upd_cycle основного окна останавливается и запускается уже другой таймер _Upd_cycle, который работает по такому же принципу вызывая уже другой метод Update класса MyDrive.

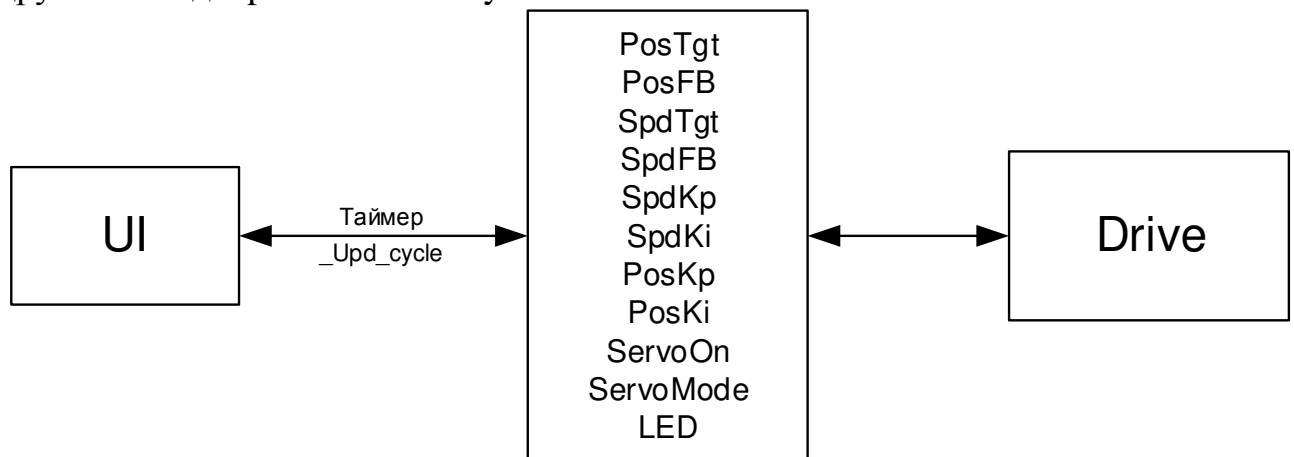


Рисунок 3.25 – Схема обмена переменными

За обработку принимаемых с различных устройств пакетов отвечает метод PacketRecived, который в зависимости от принятой команды меняет значение внутренних структурных переменных, которые после этого методом Update выводятся на форму.

Листинг программы приведён в приложении Б.

3.5 Разработка команд для коммуникации в сети

Для удобства управления устройствами и обмена между ними данными необходимо ввести единую систему команд.

3.5.1 Общие команды

Общие команды — это команды одинаковые для всех устройств сети. Они представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Общие команды

Команда	Код команды	#
PING	B00B	0
RESET	5EBE	0
LOAD2BOOT	B001	0

Ниже приведено описание команд из Таблица 15.

PING(uint16_t addr) – проверка подключения устройства в сеть.

Данные: отсутствуют.

Ответ: если команды была отправлена обратно значит устройство подключено в сеть и принимает пакет исправно. Данные в ответе отсутствуют.

RESET(uint16_t addr) – команда сброса.

Данные: отсутствуют.

Ответ: не предусмотрен

LOAD2BOOT(uint16_t addr) – команда ухода в загрузчик.

Данные: отсутствуют.

Ответ: не предусмотрен

3.5.2 Команды для привода

В таблице 16 представлены команды для общения с приводом.

Таблица 16 – Команды для привода

Команда	Код команды	#	Данные								
			0	1	2	3	4	5	6	7	
LED	0001	1	LED								
Servo_Mode	0002	1	ServoMode								
Servo_On	0003	1	ServoOn								
Servo_On_Check	0004	0									
Set_Speed	0005	4	SpdTgt								
Set_Speed_PID	0006	8	SpdKp					SpdKi			
Set_Position	0007	4	PosTgt								
Set_Position_PID	0008	8	PosKp					PosKi			
Get_Speed	0009	0									
Get_Speed_PID	000A	0									

Таблица 16 – Продолжение

Команда	Код команды	#	Данные							
			0	1	2	3	4	5	6	7
Get_Position	000B	0								
Get_Position_PID	000C	0								

Ниже представлено описание команд из таблицы 16.

*LED(uint16_t addr, uint8_t * data)* – включение RGB светодиода. Первые три бита переменной LED управляют цветом включаемого светодиода.

Данные: 1 байт uint8_t. 0 – включение, 1 – отключение. Например, 0b00000110 – включение красного светодиода, а 0b000001 зелёного.

Ответ: не предусмотрен.

*Servo_Mode(uint16_t addr, uint8_t *data)* – выбор способа управления приводом.

Данные: 1 байт uint8_t. 0 – управление скоростью, 1 – управление положением.

Ответ: не предусмотрен.

*Servo_On(uint16_t addr, uint8_t *data)* – включение или отключение привода.

Данные: 1 байт uint8_t. 0 – отключение, 1 – включение.

Ответ: не предусмотрен.

Servo_On_Check(uint16_t addr) – запрос проверки состояния работы привода.

Данные: отсутствуют.

Ответ: 1 байт uint8_t. Если 0 – то привод выключен, если 1 – то включен.

*Set_Speed(uint16_t addr, float *data)* – задание значения скорости.

Данные: 4-х байтное float значение скорости.

Ответ: не предусмотрен.

*Set_Speed_PID(uint16_t addr, float *data)* – задание значений коэффициентов ПИ-регулятора скорости.

Данные: 8 байт. Два 4-х байтных float значения K_p и K_i .

Ответ: не предусмотрен.

*Set_Position(uint16_t addr, float *data)* – задание значения положения.

Данные: 4-х байтное float значение положения.

Ответ: не предусмотрен.

*Set_Position_PID(uint16_t addr, float *data)* – задание значений коэффициентов ПИ-регулятора положения.

Данные: 8 байт. Два 4-х байтных float значения K_p и K_i .

Ответ: не предусмотрен.

Get_Speed(uint16_t addr) – запрос текущего значения скорости.

Данные: отсутствуют.

Ответ: 4-х байтное float значение текущей скорости.

Перв. примен.	<p><i>Get_Speed_PID</i>(uint16_t addr) – запрос коэффициентов ПИ–регулятора скорости. Данные: отсутствуют. Ответ: 8 байт. Два 4-х байтных float значения K_p и K_i. <i>Get_Position</i>(uint16_t addr) – запрос текущего значения положения. Данные: отсутствуют. Ответ: 4-х байтное float значение текущего положения. <i>Get_Position_PID</i>(uint16_t addr) – запрос коэффициентов ПИ–регулятора положения. Данные: отсутствуют. Ответ: 8 байт. Два 4-х байтных float значения K_p и K_i.</p>				
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
БР – 15.03.06 ПЗ					51

4 Технико-экономическое обоснование проекта

Целью технико-экономического расчета является определение сметы затрат на системы управления мобильного робота.

Смета затрат - это выражение в денежной форме затрат предприятия на разработку и выполнение хозяйственно-договорной работы. Смета затрат будет складываться из затрат на:

- стоимость программного обеспечения, оборудования;
- заработную плату;
- электроэнергию;
- аренду помещения.

Далее представлен расчет всех составляющих сметы затрат на разработку системы.

4.1 Расчёт затрат на основное оборудование, программное обеспечение и изготовление системы автономного питания

Стоимость затрат на приобретение оборудования, программного обеспечения и деталей учебно-лабораторного стенда вычислим по формуле:

$$S_z = S_{об} + S_{прог} + S_{пит} + S_{расх}, \quad (4.1)$$

где $S_{об}$ – затраты на приобретение основного оборудования, представлены в таблице 17;

$S_{прог}$ – затраты на приобретение программного обеспечения, представлены в таблице 18;

$S_{пит}$ – затраты на изготовление системы автономного питания, представлены в таблице 19

$S_{расх}$ – затраты на расходные материалы для 3D-принтера, равные 1400 руб. за катушку пластика.

Таблица 17 – Стоимость основного оборудования

Наименование	Количество, шт	Стоимость, руб
Ноутбук SONY VAIO	1	25000
3D-Принтер Tevo Tarantula	1	23000
Общая стоимость		48000

Таблица 18 – Стоимость программного обеспечения

Наименование	Стоимость, руб
Microsoft Windows 10 pro	10000
Microsoft Office 2019	15000

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Перв. примен.
Справ. №

Таблица 18 – Продолжение

Наименование	Стоимость, руб
SolidWorks	48000
MatLAB	150000
Общая стоимость	88000

Таблица 19 – Стоимость оборудования для создания автономного питания

Наименование	Количество, шт	Стоимость за ед., руб
Литий-ионная батарея	8	170
Плата защиты	2	120
Общая стоимость		1600

Общая стоимость затрат на приобретение оборудования и программного обеспечения равна:

$$S_3 = 48000 + 88000 + 1600 + 1400 = 151600 \text{ руб.} \quad (4.2)$$

4.2 Затраты на заработную плату

С 1 июня 2011 года в Российской Федерации повсеместно Единая Тарифная Сетка отменена. Во всех организациях бюджетной сферы РФ зарплата выплачивается по НСОТ. Оценка уровня квалификации персонала производится по правилам отраслевых систем сертификации.

Основным принципом новой системы оплаты труда (НСОТ) является разделение заработной платы работника на две части - на гарантированную часть, которая выплачивается работнику за исполнение должностных обязанностей, и на стимулирующую часть, размер которой зависит от того, насколько качественно, эффективно и результативно работал сотрудник. Размер стимулирующих выплат не ограничен.

В период разработки бортовой системы управления мобильного робота оклад ведущего инженера составил 55000 рублей в месяц.

$$S_{окл} = 55000 \text{ руб.} \quad (4.3)$$

Тарифная заработная плата (оклад) инженера дипломного проекта без районного и территориального коэффициента составила:

$$S_{ОСН}^{ИТР} = S_{3/П}^{МЕС} \cdot n = 55000 \cdot 5 = 275000 \text{ руб.}, \quad (4.4)$$

где $n = 5$ – количество месяцев работы по 21 рабочему дню в каждом.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Выплата районного коэффициента 30% рассчитывается по формуле

$$S_{РАЙ.К.}^{ИТР} = S_{ОСН}^{ИТР} \cdot k_{Р.К.}, \quad (4.5)$$

$$S_{РАЙ.К.}^{ИТР} = 275000 \cdot 0.3 = 82500 \text{ руб.} \quad (4.6)$$

Выплата северного коэффициента 20% рассчитывается по формуле

$$S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = S_{ОСН}^{ИТР} \cdot k_{С.К.}, \quad (4.7)$$

$$S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = 275000 \cdot 0.2 = 55000 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

Общая заработная плата инженера дипломного с учетом районного и территориального коэффициента составила:

$$S_{ОБЩ}^{ИТР} = S_{ОСН}^{МЕС} + S_{РАЙ.К.}^{ИТР} + S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = 275000 + 82500 + 55000 = 412500 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Дополнительная заработная плата составляет 5% от основной:

$$S_{ДОП.}^{ИТР} = S_{ОБЩ.}^{ИТР} \cdot 0.05. \quad (4.10)$$

$$S_{ДОП.}^{ИТР} = 412500 \cdot 0.05 = 20625 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

Итого, заработная плата ведущего инженера без начислений на социальные нужды составила:

$$\Phi_{ОПЛ.ТР.}^{ИТР} = S_{ОБЩ.}^{ИТР} + S_{ДОП.}^{ИТР} \quad (4.12)$$

$$\Phi_{ОПЛ.ТР.}^{ИТР} = 412500 + 20625 = 433125 \text{ руб.} \quad (4.13)$$

Отчисления на социальные нужды составили:

$$S_{СОЦ.ОТ.} = R_{СОЦ.ОТ.} \cdot \Phi_{ОПЛ.ТР.}^{ИТР}, \quad (4.14)$$

где $R_{СОЦ.Н.} = 30\%$, состоит из четырех составляющих:

- пенсионный фонд РФ – 22%;
- фонд социального страхования РФ – 2,9%;
- федеральный ФОМС – 5,1%.
- Страхование от несчастных случаев – 0.2%.

$$S_{СОЦ.ОТ.} = 0.32 \cdot 433125 = 138600 \text{ руб.} \quad (4.15)$$

Перв. примен.	Выплата районного коэффициента 30% рассчитывается по формуле				
	$S_{РАЙ.К.}^{ИТР} = S_{ОСН}^{ИТР} \cdot k_{Р.К.}, \quad (4.5)$				
Справ. №	$S_{РАЙ.К.}^{ИТР} = 275000 \cdot 0.3 = 82500 \text{ руб.} \quad (4.6)$				
	Выплата северного коэффициента 20% рассчитывается по формуле				
	$S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = S_{ОСН}^{ИТР} \cdot k_{С.К.}, \quad (4.7)$				
	$S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = 275000 \cdot 0.2 = 55000 \text{ руб.} \quad (4.8)$				
	Общая заработная плата инженера дипломного с учетом районного и территориального коэффициента составила:				
	$S_{ОБЩ}^{ИТР} = S_{ОСН}^{МЕС} + S_{РАЙ.К.}^{ИТР} + S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = 275000 + 82500 + 55000 = 412500 \text{ руб.} \quad (4.9)$				
	Дополнительная заработная плата составляет 5% от основной:				
	$S_{ДОП.}^{ИТР} = S_{ОБЩ.}^{ИТР} \cdot 0.05. \quad (4.10)$				
Подпись и дата	$S_{ДОП.}^{ИТР} = 412500 \cdot 0.05 = 20625 \text{ руб.} \quad (4.11)$				
	Итого, заработная плата ведущего инженера без начислений на социальные нужды составила:				
Инв. № дубл.	$\Phi_{ОПЛ.ТР.}^{ИТР} = S_{ОБЩ.}^{ИТР} + S_{ДОП.}^{ИТР} \quad (4.12)$				
	$\Phi_{ОПЛ.ТР.}^{ИТР} = 412500 + 20625 = 433125 \text{ руб.} \quad (4.13)$				
Взам. инв. №	Отчисления на социальные нужды составили:				
	$S_{СОЦ.ОТ.} = R_{СОЦ.ОТ.} \cdot \Phi_{ОПЛ.ТР.}^{ИТР}, \quad (4.14)$				
Подпись и дата	где $R_{СОЦ.Н.} = 30\%$, состоит из четырех составляющих:				
	<ul style="list-style-type: none">– пенсионный фонд РФ – 22%;– фонд социального страхования РФ – 2,9%;– федеральный ФОМС – 5,1%.– Страхование от несчастных случаев – 0.2%.				
Инв. № подл.	$S_{СОЦ.ОТ.} = 0.32 \cdot 433125 = 138600 \text{ руб.} \quad (4.15)$				
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
БР – 15.03.06 ПЗ					Лист
					54

Заработная плата с отчислениями на социальные нужды составила:

$$\Phi_{\text{СОЦ.Н.}}^{\text{З/П}} = \Phi_{\text{ОПЛ.ТР.}}^{\text{ИТР}} + S_{\text{СОЦ.ОТ.}} = 433125 + 138600 = 571725 \text{ руб.} \quad (4.16)$$

4.3 Затраты на электроэнергию

Исходные данные для расчета стоимости электроэнергии:

- мощность, потребляемая ПК с монитором – 220 Вт;
- мощность, потребляемая генератором – 150 Вт;
- мощность, потребляемая 3D–принтером – 240 Вт;
- мощность, потребляемая лампой дневного света – 40 Вт;
- количество ламп в помещении – 10 шт.

Расходы на электроэнергию в день:

$$S_{\text{эл.д.}} = (P_{\text{ПК}} + P_{\text{ГЕН}} + P_k \cdot n_l) \cdot N_{\text{ч}} \cdot T_{\text{ЭЛ.}}, \quad (4.17)$$

где $P_{\text{ПК}}$ – мощность, потребляемая ПК с монитором;

$P_{\text{Э}}$ – мощность, потребляемая генератором;

$P_{\text{Л}}$ – мощность, потребляемая лампой дневного света;

n – количество ламп дневного света;

$T_{\text{эл.}}$ – тариф на электроэнергию.

$N_{\text{ч}}$ – часов рабочий день

$$S_{\text{эл.д.}} = (0.22 + 0.15 + 0.06 \cdot 10) \cdot 8 \cdot 1.76 = 13.66 \text{ руб.} \quad (4.18)$$

Расходы на электроэнергию, затраченную на разработку высчитываются по формуле:

$$S_{\text{эл.}} = S_{\text{эл.д.}} \cdot N + P_{\text{П}} \cdot N_{\text{изг.}} \cdot T_{\text{эл.}}, \quad (4.19)$$

где N – количество дней;

$P_{\text{П}}$ – мощность потребляемая принтером;

$N_{\text{изг.}}$ – часов потраченных на изготовление изделий.

$$S_{\text{эл.}} = 13.66 \cdot 105 + 0.24 \cdot 14 \cdot 1.76 = 1440.21 \text{ руб.} \quad (4.20)$$

4.4 Затраты на амортизацию оборудования

Затраты на амортизацию найдем по следующей формуле:

$$Z_{\text{Ам}} = Z_{\text{АМК}} + Z_{\text{АМП}}. \quad (4.21)$$

Перв. примен.				
Справ. №				
Подпись и дата				
Инв. № дубл.				
Взам. инв. №				
Подпись и дата				
Инв. № подл.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
БР – 15.03.06 ПЗ				Лист
				55

где $Z_{\text{АМК}}$ – затраты на амортизацию компьютера, руб;
 $Z_{\text{АМП}}$ – затраты на амортизацию 3D-принтера.

Определим затраты на амортизацию единицы оборудования как:

$$Z_A = \frac{C_K \cdot n_m}{n_l \cdot 12}, \quad (4.22)$$

где C_K – первоначальная стоимость оборудования, руб.;;
 n_m – время использования, мес.;;
 n_l – срок службы, лет.

$$Z_{\text{АМК}} = \frac{25000 \cdot 5}{5 \cdot 12} = 2083.33 \text{ руб.} \quad (4.23)$$

$$Z_{\text{АМП}} = \frac{23000 \cdot 5}{3 \cdot 12} = 3194.44 \text{ руб.} \quad (4.24)$$

Тогда общие затраты на амортизацию:

$$Z_{\text{Ам}} = 2083.33 + 3194.44 = 5277.77 \text{ руб.} \quad (4.25)$$

4.5 Затраты на аренду помещения

Расходы на аренду помещения за время разработки системы составили:

$$Z_{\text{АП}} = Z_A \cdot П \cdot T_p, \quad (4.26)$$

где Z_A – стоимость аренды 1 м² площади, руб.;;
 $П$ – площадь помещения, м²;;
 T_p – продолжительность этапа разработки, мес.

$$Z_{\text{АП}} = 300 \cdot 10 \cdot 5 = 15000 \text{ руб.} \quad (4.27)$$

4.6 Расчёт сметы затрат на системы управления мобильной платформой

Все затраты, связанные с расходами на проектирование и изготовление мобильной платформы, приведены в Таблица 20 и показаны на рисунке 4 с помощью круговой диаграммы.

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ
					Лист 56

Таблица 20 – Затраты на проектирование

Наименование затрат	Сумма затрат, руб.
Затраты на основное оборудование, ПО и изготовление системы автономного питания	151600
Основная заработная плата ведущего инженера	412500
Дополнительная заработная плата ведущего инженера	20625
Отчисления на социальные нужды	138600
Затраты на электроэнергию	1440.21
Затраты на амортизацию оборудования	5277.77
Расходы на аренду помещения	15000
Итого	745042.98

Был произведен расчет экономических параметров и составлена смета затрат, так же произведено экономическое обоснование проекта.

Все задачи решались с учетом требований рынка на сегодняшний день, т.е. использовались новые программные продукты, стандарты, а также современное технологическое оборудование, что говорит о реальной пользе проделанной работы.

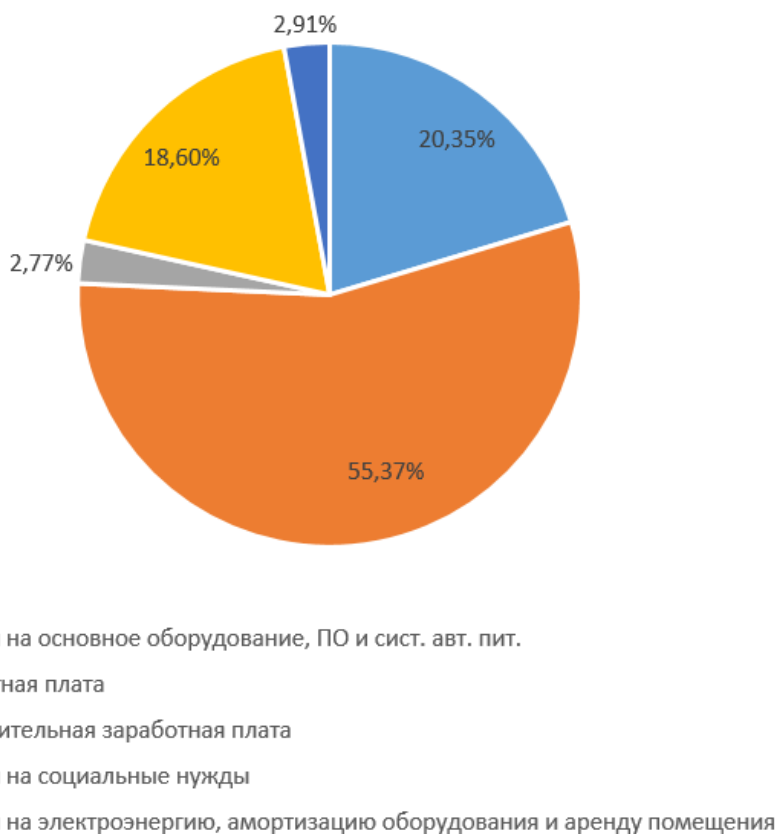


Рисунок 4 – Диаграмма затрат на разработку системы управления мобильной платформой

В данном проекте разработаны меры по обеспечению безопасной эксплуатации оборудования в течение всего срока службы.

Оборудование МК при эксплуатации и в условиях, установленных эксплуатационной и ремонтной документацией по ГОСТ 2.601 и ГОСТ 2.602, не должно создавать опасности в чрезвычайных ситуациях в результате воздействия влажности, высокой температуры, солнечной радиации, механических колебаний, высоких и низких давлений, агрессивных веществ, ветровых нагрузок, обледенения и других негативных факторов, которые имеют место при чрезвычайных ситуациях.

5.1.2 Безопасность исходных материалов

Безопасность МК обеспечивается использованием в конструкции безопасных материалов и веществ. Согласно требованиям, ГОСТ 12.3.002-75:

- материалы конструкции МК не оказывают вредного действия на работающих. При использовании материалов, которые могут оказывать вредное воздействие, предусмотрены соответствующие средства защиты работающих;
- использование новых веществ и материалов разрешено только после утверждения в установленном порядке соответствующих гигиенических нормативов.

Таблица 21 – Материалы, входящие в конструкцию МП

Наименование материалов	Класс опасности
Каркас установки из алюминия	4
Электрические силовые и сигнальные кабели	4
Литий-ионные аккумуляторы	2
Корпус бля питания из пластика	4

Все вещества и материалы прошли гигиеническую проверку и поверку на пожароопасность. Материалы конструкции оборудования (Таблица 21) не оказывают опасного и вредного воздействия на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также не создают пожаровзрывоопасные ситуации.

5.1.3 Безопасность при монтажных и ремонтных работах

Безопасность при монтажных и ремонтных работах обеспечивается средствами защиты, инструментами и приспособлениями, которые удовлетворяют требованиям соответствующих государственных стандартов.

Средства защиты, инструменты и приспособления подвергаются осмотру и испытаниям.

Перв. примен.	<p>К обслуживанию изделия допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж и изучившие данное техническое описание и инструкцию по эксплуатации.</p> <p>При монтаже и эксплуатации должны соблюдаться:</p> <ul style="list-style-type: none"> – правила устройства электроустановок; – правила технической эксплуатации электроустановок потребителей; – правила технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 				
	Справ. №	<p>5.1.4 Безопасность при транспортировке и хранении</p> <p>Масса МП вместе с аккумуляторами составляет примерно 14 кг и поэтому нет необходимости в использовании грузоподъемных средств в процессе монтажа, транспортировки, хранения и ремонта на производственном оборудовании.</p> <p>Конструкция МП обеспечивает возможность надёжного закрепления её составных частей на транспортном средстве или в упаковочной таре, и имеет устройства для их фиксации в определённом положении. Помещение для хранения должно быть сухим и не пыльным, в помещении не должно быть сильных электромагнитных установок.</p>			
Подпись и дата		<p>5.1.5 Безопасность при размещении</p> <p>Согласно требованиям, ГОСТ 12.3.002-75, ГОСТ 12.3.003-91, ГОСТ 12.3.061-81, СНиП 31-01-03:</p> <ul style="list-style-type: none"> – производственные (рабочие, монтажные) площадки, на которых выполняются работы вне производственных помещений, соответствуют требованиям действующих строительных норм и правил, а также правил, утвержденных органами государственного надзора; – размещение МП соответствует действующим нормам технологического проектирования; – организация рабочих мест оператора ПК отвечает требованиям безопасности с учетом эргономических требований, устанавливаемых в государственных стандартах на конкретные производственные процессы, производственное оборудование и рабочие места. 			
	Индв. № дубл.				
Взам. инв. №					
Подпись и дата	<p>5.1.6 Требования безопасности к профессиональному отбору</p> <p>К обслуживанию и пользованию мобильной платформой допускаются лица:</p> <ul style="list-style-type: none"> – имеющие профессиональную подготовку в высших или среднетехнических заведениях; – прошедшие инструктаж, обучение и проверку знаний по охране труда; 				
	Индв. № подл.				
					Лист
БР – 15.03.06 ПЗ					60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

природоохранные требования. В конструкции МК применены безопасные и экологичные в соответствии со стандартами ССБТ и охраны окружающей среды, сертифицированные материалы и вещества, прошедшие 1 гигиеническую проверку и проверку на пожароопасность.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

62

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы была создана система управления мобильной платформой, а именно разработано программное обеспечение обеспечивающее управление и контроль за параметрами движения, разработана схема автономного питания, реализован протокол передачи данных между устройствами в сети, разработан интерфейс обеспечивающий видимость и изменение параметров движения. Поэтому, можно считать, что поставленная задача выпускной квалификационной работы выполнена успешно.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

63

17. Стандарт организации «Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» от 2014 г., № СТО 4.2-07-2014.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

БР – 15.03.06 ПЗ

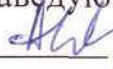
Лист

65

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 А. Н. Соцнев
подпись
« 08 » 07 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Разработка бортовой системы управления мобильного робота

Руководитель


подпись, дата

ст. преподаватель
должность, учёная степень

А. А. Гагарский

Выпускник


подпись, дата

А. А. Рыжиков

Красноярск 2019

Продолжение титульного листа БР по теме разработка бортовой системы управления мобильного робота

Перв. примен.

Консультант по
разделам:

Справ. №

Технико-экономическое обоснование проекта


подпись, дата
08.07.19

А. Н. Сочнев

Подпись и дата

Инв. № д

Взам. инв. №

Подпись и дата

Нормоконтролёр


подпись, дата

08.07.19

В. Н. Куликова

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

2