

Лазуренко С.С. Программно-аппаратная система автоматизированной уборки помещений, Выпускная квалификационная работа бакалавра по направлению: «Информатика и вычислительная техника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, кафедра: «Вычислительные системы и технологии», Нижний Новгород, 2017.

Руководитель: доцент кафедры «Вычислительные системы и технологии» Гай В.Е.

Работа описывает проектирование и реализацию Программно-аппаратной робототехнической системы, решающей задачу перемещения робототехнического устройства в пространстве и уборке помещения. Описывается структура системы, методы и способы реализации модулей, входящих в систему.

Подробно рассматривается реализация системы на аппаратном уровне, а также процесс создания программного обеспечения для робототехнического устройства.

В результате тестирования установлено, что разработанная система корректно решает поставленную задачу.

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

Введение.....	4
1. Технические требования и назначение.....	5
2 .Анализ технического задания.....	6
3 Разработка системы на структурном уровне.....	7
3.1 Структура робототехнического устройства.....	7
3.2 Выбор вариантов реализации подсистем.....	8
3.2.1 Исполнительная подсистема.....	8
3.2.2 Устройство управления.....	9
3.2.2 Устройство управления.....	10
3.3 Структурная схема устройства.....	11
4. разработка системы на уровне механики.....	12
4.1 описание базовой механики.....	12
4.2 доработка механики.....	13
5 Разработка системы на аппаратном уровне.....	15
5.1 Разработка платы контроллера.....	15
5.2 Сборка робототехнического устройства.....	24
6 Разработка системы на программном уровне.....	25
6.1 Алгоритм движения робота.....	26
6.2 Разработка архитектуры программного уровня системы.....	29
7 Тестирование системы.....	34
Заключение.....	36
Список использованной литературы.....	37

Подп. и дата	6 Разработка системы на программном уровне.....25			
	6.1 Алгоритм движения робота.....26			
	6.2 Разработка архитектуры программного уровня системы.....29			
	7 Тестирование системы.....34			
	Заключение.....36			
Взам. инв. №	Список использованной литературы.....37			
Инв. № дубл.				
Подп. и дата				
Инв. № подл				

					<i>ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ</i>				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	<i>аппаратно-программная система автоматической уборки помещений</i>				
Разраб.		Лазуренко С.С.							
Пров.		Гай В.Е.							
Т. контр.									
Н. контр.									
Утв.									

Лит		Лист		Листов	
		3		41	

НГТУ им Р.Е. Алексеева

Введение

В последнее время в связи с быстрым развитием технологических процессов позволяющих создавать все более компактные и более мощные вычислительные системы и увеличивая интеграцию компонентов робототехническая отрасль получила мощный импульс для своего развития. Робототехнические системы все больше проникают в жизнь и быт людей не только косвенно участвуя в процессе производства, но и непосредственно взаимодействуя с людьми.

Одним из примеров таких робототехнических устройств является роботы-пылесосы. На сегодняшний день производители представляют различное множество вариантов данных систем, начиная от простых роботов , заканчивая системами с построением карт помещений на основе лидаров.

Разработка роботов на сегодняшний день стала доступна и в домашних условиях . В интернете и специализированной прессе можно увидеть огромное количество материалов о создании различных устройств, имеющих возможность самостоятельно выполнять определенные функции, основываясь на данных об окружающей среде. Развитие робототехнической отрасли среди энтузиастов обусловлено появлением на рынке широкого выбора доступных элементов и модулей, необходимых для разработки робототехнических устройств.

В связи со всем вышесказанным возникла идея создания устройства, способного перемещаться в пространстве и выполнять уборку помещений.

Таким образом, данная работа посвящена разработке и созданию робототехнического устройства, выполняющего уборку помещения по программно заданному алгоритму.

В дальнейшем планируется доработка данного устройства, а именно ,добавления возможности построения карты помещения на основе одометрии и данных с инфракрасного дальномера.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ					Лист
										4

1 Технические требования и назначение

Назначение разработки и область применения

Разрабатываемое устройство предназначено для осуществления перемещения в пространстве по определенному алгоритму и осуществления уборки посредством турбины.

Разрабатываемая система должна выполнять следующий функционал:

1. Осуществление перемещения в пространстве на основе заданного алгоритма с помощью стандартных средств передвижения.
2. Выполнять уборку помещения.
3. Требования к аппаратной системе:
4. Выполнять точное соблюдения алгоритма движения в условиях хаотически возникающих внешних влияний.
5. Иметь возможность перепрограммирования алгоритма движения

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ					Лист
										5

2 Анализ технического задания

В этом модуле будут кратко описаны концепции реализации устройства и сделан выбор в пользу одной из них.

Реализацию аппаратно программной системы можно выполнить двумя способами:

1. Воспользоваться готовым конструктором компонентов таки как Lego Mindstorm;
2. Использовать отдельные комплектующие и на их основе собрать систему.

Рассмотрим первую концепцию, конструктор привлекателен быстротой реализации за счет готовых и хорошо спроектированных блоков, и возможностью быстрого прототипирования.

К недостаткам конструкторов мы можем отнести высокую стоимость, малую гибкость готового решения.

Вторая концепция реализации робототехнического устройства предполагает использование в качестве каждого из модулей независимых устройств (каркас, колесная база, двигатели, управляющий контроллер и т.д.) и объединение их в единую систему.

Преимуществом данного варианта является сравнительно низкая рыночная стоимость деталей, использование минимально необходимого набора деталей, а также большую гибкость реализации готового решения. Недостатком является необходимость самостоятельного объединения всех модулей в единую систему, что увеличивает итоговое время реализации решения.

Исходя из всего выше перечисленного, было решено идти по пути реализации второй концепции. Основными причинами принятия такого решения были:

1. более низкой рыночной стоимости реализации
2. также необходимости изучения и применения большего числа технологий и методов для интеграции всех модулей в единую систему, что несомненно является важным условием написания квалификационной работы бакалавра.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ					Лист
										6

3.1 Структура робототехнического устройства

Структурная схема робототехнической системы представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Структурная схема робототехнической системы

3.2 Выбор вариантов реализации подсистем

3.2.1 Исполнительная подсистема

Исполнительная система данного робототехнического устройства должна состоять из стандартных компонентов: каркаса, колесной части и двигателей, приводящих колесную часть в движение.

Исходя из анализа имеющихся на рынке решений, было решено, что для моего проекта более всего подходит круглая форма робота, с расположением ведущих колес на центральной оси робота и подруливающего колеса спереди. Такая форма позволяет добиться наибольшей управляемости в условиях высокой плотности препятствий, что как раз соответствует квартире.

Для того чтобы сократить время на реализацию проекта и избежать множества ошибок при проектировании механики, и избавиться от необходимости ручного изготовления технически сложных деталей, таких как турбина пылесоса было решено использовать механику от дешевого китайского робота-пылесоса (pulman pl-1016) см. рис. 2. Это в свою очередь обеспечило наличие всех необходимых частей исполнительной подсистемы.

При выборе такого варианта реализации подсистемы необходимо будет решить следующие проблемы:

1. добавление оптических энкодеров на валы колес.
2. установка на корпусе инфракрасного дальномера.

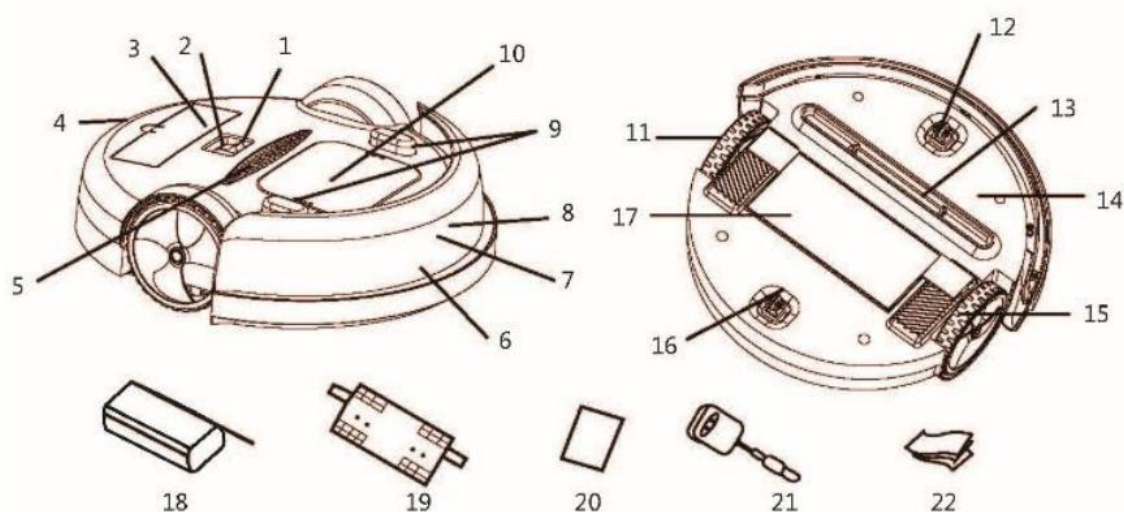


Рисунок 2. Внешний вид используемого корпуса робота-пылесоса.

3.2.2 Устройство управления

В данном робототехническом устройстве роль устройства управления должен выполнять контроллер, способный работать с аналоговыми датчиками, наличием достаточно большого количества портов для работы с периферией, а также наличием аппаратного ШИМ для реализации алгоритмов движения.

Исходя из этого, были сформулированы требования к контроллеру:

1. Аппаратный ШИМ
2. Большое количество портов, ввода/вывода
3. Наличие АЦП
4. Приемлемая стоимость
5. Доступность
6. Возможность удобного программирования данного контроллера.

В настоящее время на рынке имеется множество различных контроллеров, имеющих в своем арсенале данный функционал. Среди них можно выделить контроллеры AVR серии atmega, платы семейства Arduino и им подобные, а также одноплатный компьютер Raspberry Pi.

Arduino - торговая марка аппаратно-программных средств для построения простых систем автоматики и робототехники, ориентированная на непрофессиональных пользователей. Программная часть состоит из бесплатной программной оболочки (IDE) для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры. Аппаратная часть представляет собой непосредственно сам контроллер, выполненный на AtMega328 и различные модули выполненные набором смонтированных печатных плат, продающихся как официальным производителем, так и сторонними производителями. Полностью открытая архитектура системы позволяет свободно копировать или дополнять линейку продукции Arduino.

Raspberry Pi – одноплатное устройство, которое, несмотря на свои размеры, содержит в себе функционал полноценного компьютера. Raspberry Pi выпускается в нескольких комплектациях: модель «А», модель «В», модель «В+» и модель «2 В». Модель «2 В» оснащается процессором с 4 ядрами Cortex-A7 с частотой 1ГГц и оперативной памятью размером 1ГБ. На плате имеется 4 порта USB2.0 , а также присутствует порт Ethernet.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата																											
					Лит					Изм.					№ докум.					Подп.					Дата						
										ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ																				Лист	
																														80	

Помимо основного ядра, BCM2835 включает в себя графическое ядро с поддержкой OpenGL ES 2.0, аппаратного ускорения и Full HD-видео и DSP-ядро. Одной из самых интересных особенностей Raspberry Pi является наличие портов GPIO (general purpose input/output). Благодаря этому её можно использовать для управления различными устройствами. В модели «2В» платы присутствуют 40 портов GPIO.

Исходя из всего ранее перечисленного, выбор был сделан в пользу контроллеров AVR серии AtMega модель AtMega16. Он обладает 40 портами ввода/вывода, 7 каналов 10битного АЦП, а также 4 канала аппаратного ШИМ. Стоимость одного экземпляра при заказе в Китае варьируется в пределах 100рублей. Возможность программирования через интерфейс ISP, видно что все вышеперечисленное полностью соответствует требованиям проекта.

От raspberry Pi решено отказаться, так как для целей проекта использование этого контроллера является избыточным и излишне удорожит конструкцию. От arduino было решено отказаться для обеспечения высокой интеграции компонентов на плате.

3.2.3 Сенсорная подсистема

В данной робототехнической системе сенсорная подсистема все сенсоры используемые роботом для сбора информации об окружающем его мире. В нашем случае она состоит из 3х инфракрасных датчиков препятствия закрепленных на подвижном бампере и одного инфракрасного дальномера закрепленного на корпусе.

Для реализации сенсорной системы можно рассмотреть несколько вариантов:

1. Датчики препятствия без бамперов
2. Бампер на контактных кнопках

К плюсам первого варианта можно отнести отсутствие механического износа, за счет чего срок его эксплуатации приравнивается к паспортному сроку службы элементов использованных в нем, минусом является ненадежное срабатывание на матовых черных, и зеркальных поверхностях, что в нашем варианте не приемлемо.

Плюсами же второго варианта является простота реализации (в том числе и программная), гарантированное срабатывание при контакте с любым типом поверхности. Минусами являются быстрый механический износ тактовых кнопок.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата																																			
					Лит					Изм.					№ докум.					Подп.					Дата					Лист									
																																			11				

Объединив эти два варианта получаем систему, которая позволяет нивелировать недостатки друг этих методов и расширить функционал бампера, а именно гарантированное срабатывание независимо от типа поверхности, отсутствие механического износа а также возможность определения отсутствия поверхности. Более подробно это будет рассмотрено в разделе посвященному описанию механики робота.

3.3 Структурная схема устройства

В связи с приведенным выше описанием подсистем робототехнической системы и интерфейсов между ними структурная схема устройства будет иметь вид показанный на рисунке 3.

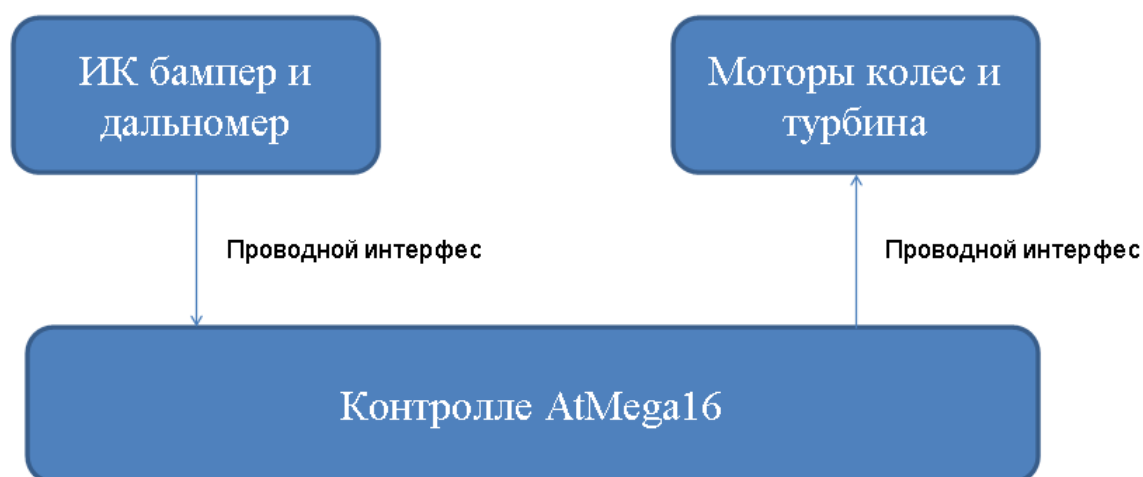


Рисунок 3. Структурная схема устройства.

Данная структурная схема была получена путем переработки схемы, представленной на рисунке 1.

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

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

4 Разработка системы на уровне механики

4.1 описание базовой механики

В большинстве своем механику роботов-пылесосов можно разделить на основные узлы:

1. Мотор-редукторный колесный блок
2. Турбинный узел
3. Подвижный бампер
4. Щеточный узел

Мотор-редукторный колесный блок представляет из себя 2 отдельных блока т.е по блоку на каждое колесо. Привод представляет из себя червячную передачу.

Турбинный узел является стандартной уменьшенной копией пылесосной турбины

Подвижный бампер представляет собой весьма интересное решение. Геометрия бампера позволяет срабатывать при касаниях под любым углом к поверхности. Инфракрасные датчики препятствия в нем расположены по краям и середине, при контакте с поверхностью они уходят внутрь корпуса. Такое расположение датчиков позволяет на базе такого бампера реализовать функционал обнаружения конца поверхности. Бампер представлен на рисунке 4 и 5.

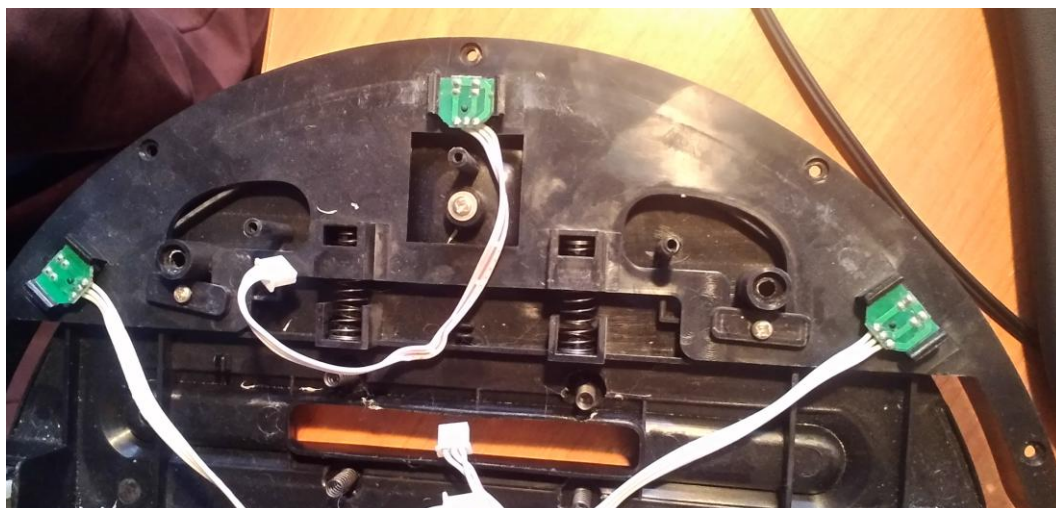


Рисунок 4. Расположение датчиков на бампере (вид сверху)

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

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата



Рисунок 5. Корпус датчика в бампере (вид снизу)

4.2. Изменения в механике

Так как данный робот был взят как базовое решение, то для нужд моего проекта необходимо было внести в механическую часть доработки в виде добавления энкодеров.

В выполненном мной проекте было решено что для выполнения требования соблюдения алгоритма движения необходимо добавить одометрию на оптических энкодерах. Оптические энкодеры делятся на инкрементальные и абсолютные.

Инкрементальные – показывают изменение положения поверхности и возможно, направление вращения.

Абсолютные – показывают абсолютное положение, закодированное в двоичном коде (чаще всего используется код грея)

Для обеспечения поддержания одинаковой скорости вращения колес будет достаточно использовать инкрементальные энкодеры. Отслеживать направление вращения колес у нас тоже нет необходимости, так как модель движения робота предполагает одновременное вращение колес только вперед. Также благодаря энкодерам мы сможем контролировать угол поворота робота и пройденное расстояние.

Энкодеры в данном проекте представляют собой опто-щелевые прерыватели и диски с прорезями выполненные из оргстекла. Диски было решено заказать готовые из Китая, так как при самостоятельном изготовлении проблематично добиться приемлемой точности. Разрядность энкодеров составляет 18 градусов (20 делений). Энкодеры размещены непосредственно на валу колеса по причине того что двигатель убран в слишком маленький для размещения диска энкодера корпус, а также такое расположение позволяет исключить из

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

расчетов энкодера погрешность вызванную огрехами в изготовлении шестерней червячного механизма. Расположение дисков и энкодеров показано на рисунках 6 и 7.

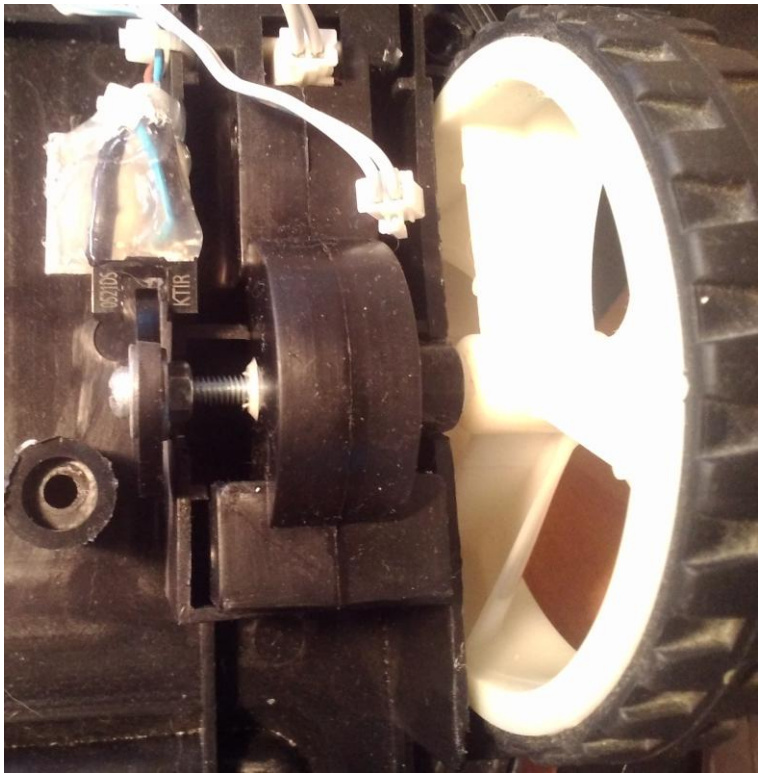


Рисунок 6. Монтаж энкодера (вид сверху)

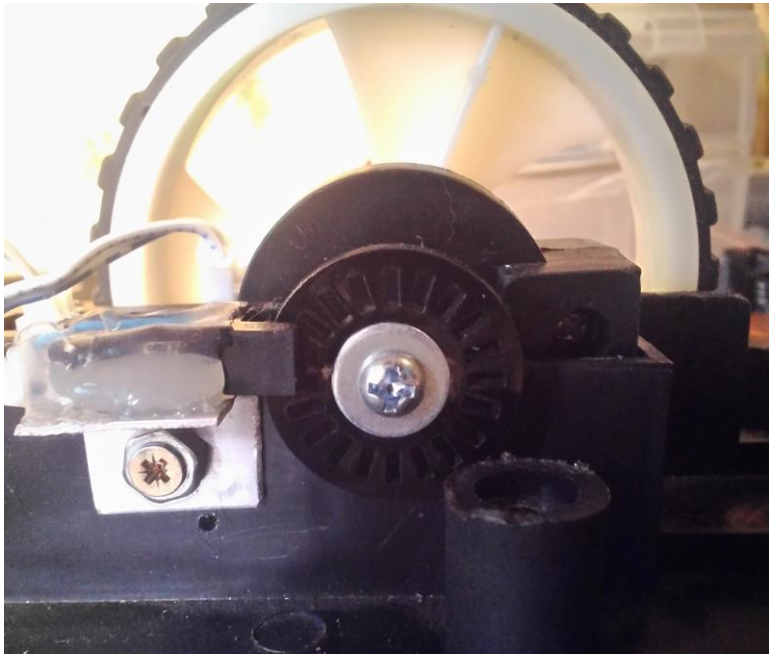


Рисунок 7. Монтаж энкодера (вид сбоку)

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

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

5 Разработка системы на аппаратном уровне

5.1 Разработка платы контроллера

На этапе анализа было определено что контроллером для данного устройства будет из семейства AVR AtMega. Решено было использовать контроллере AtMega16 так как в бедующем планируются доработки этого проекта.

Основными задачами платы управления является расположения на ней контроллера и коммутация его со всей периферией. В нашем случае плата управления можно разделить на следующие функциональные блоки:

1. Блок питания (обеспечение питанием компонентов на плате)
2. Блок контроллера
3. Сенсорный блок (размещается необходимая для работы сенсоров обвязка)
4. Блок управления двигателями

Рассмотрим эти функциональные блоки более подробно по отдельности.

Блок питания, основная задача этого блока это обеспечить подходящее напряжение для компонентов платы, в нашей плате будет использоваться 3 номинала напряжения, это 12в,5в и 3.3в. двигатели будут питаться от 12 вольт, так как это позволяет нам уменьшить ток потребления двигателей. Все микросхемы расположенные на плате по документации имеют напряжение питания от 3.3 до 5 вольт. Напряжение 3.3 вольта необходимо для бедующей доработки (планируется подключение esp8266). Для реализации данной задачи было решено использовать линейные стабилизаторы напряжения по причине доступности, дешевизны, и минимального количества обвязки необходимой для их работы. Таким образом для 5в я взял микросхему LM7805 в корпусе TO220 , для 3.3вольт была использована микросхема AMS1117-3.3 в корпусе SOT-223. Схема включения и обвязки для них предоставлена на рисунках 7 и 8 соответственно.

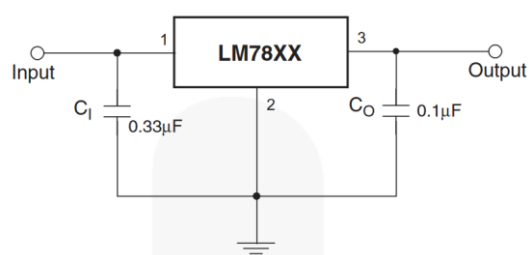


Рисунок 7. Схема включения LM7805.

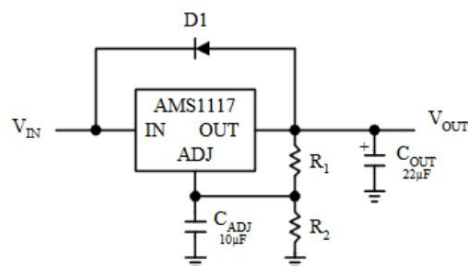


Рисунок 8. Схема включения AMS1117-3.3.

Блок контроллера, блок контролера состоит из контроллера и необходимой для него обвязки, в нашем случае она представляет собой кварцевый генератор с необходимыми ему конденсаторами, и подтяжку к линии +5в ножки контроллера reset для избегания наводок.

Сенсорный блок, отвечает за необходимую сенсорам обвязку. Из сенсоров в нашем случае используется оптопрерыватели и инфракрасные датчики препятствия. Так как с точки зрения электротехники они представляют собой светодиод и транзистор, то схема их включения соответственно тоже одинаковая, она представлена на рисунке 9.

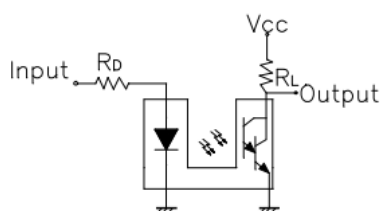


Рисунок 9. Схема включения оптопрерывателя.

Инфракрасный дальномер SHARP 2Y0A21 согласно документации специфического подключения не требует, вся необходимая обвязка находится в корпусе датчика.

Блок управления двигателями, условно двигатели в нашем устройстве можно разделить на 2 категории, это управление движением и управление турбиной с щеткой. За движение в данном работе отвечают 2 двигателя китайского производства(модель не указанна). 1 двигатель отвечают за работу турбины. Т.к. найти документацию на такие двигатели не представляется возможным , то характеристики двигателей были определены путем проведения замеров тока потребления двигателей в режимах работы(холостого хода, ход с нагрузкой, режим стопора якоря) для колесных двигателей и а режиме работы с нагрузкой и стопора якоря для двигателей турбины и щетки. Результаты измерений показали:

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Колесные двигатели

1. Холостой ход – 200мА
2. Работа с нагрузкой- 350мА
3. Стопор якоря -1.05А

Турбина

1. Работа с нагрузкой-1А
2. Стопор якоря -1.2А

Исходя из результатов измерения тока потребления для колесных двигателей решено использовать схему драйвера двигателей L293D усиленную путем параллельного объединения 2х микросхем т.к. максимально допустимый согласно документам ток для данной микросхемы 600мА, следовательно 1,2А полностью соответствует требованиям проекта. Для питания турбины и щетки будет использован полевой транзистор IRL640N с максимальный пропускной ток 9А. Микросхема L293D специфичного включения не требует, а IRL640N включается по схеме на рисунке 10.

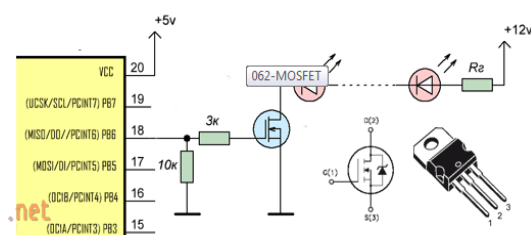


Рисунок 10. Схема включения IRL640N.

Согласно проведенному анализу была собрана информация о компонентной базе.


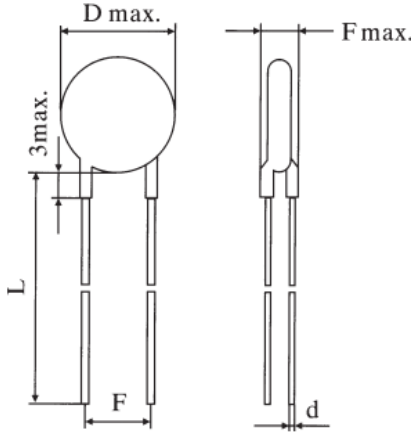
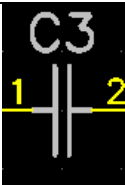
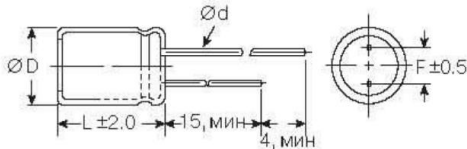
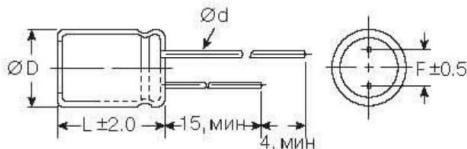
Таблица 1 – Сведения об элементной базе

№	Тип компонента	символ	конструкция	примечания
1	Микросхема LM7805			1 шт.

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

2	Микросхема AMS1117-3.3		<p>SOT-223</p>	1 шт.
3	Микросхема Atmega16-dip40		<p>40-pin plastic DIP (DIP-40P-M02)</p>	1 шт.
4	Микросхема L293d		<p>16-pin plastic DIP (DIP-16P-M03)</p>	1 шт.
5	Полевой транзистор IRF640N			1 шт.


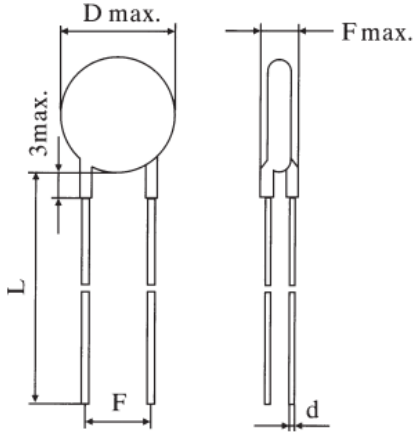
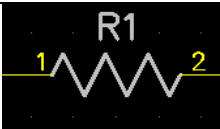
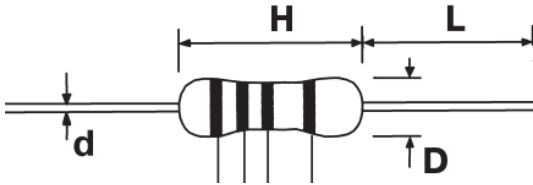
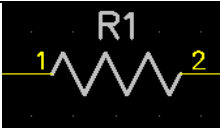
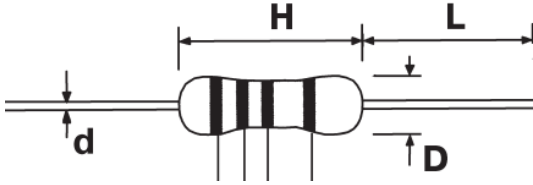
Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

6	Конденсатор керамический 22 пФ		 <p> $L=20\text{мм}$ $F=2.5\text{мм}$ $d=0.5\text{мм}$ $D_{\text{max}}=4\text{мм}$ </p>	2 шт.
7	Конденсатор ЕСАР 10мкФ		 <p> $D=5\text{мм}$ $F=2\text{мм}$ $d=0.5\text{мм}$ </p>	1 шт.
8	Конденсатор ЕСАР 100мкФ		 <p> $D=5\text{мм}$ $F=2\text{мм}$ $d=0.5\text{мм}$ </p>	3 шт.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ

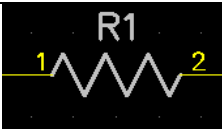
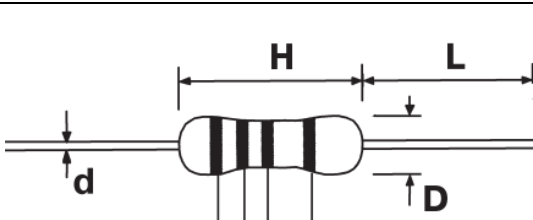
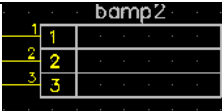
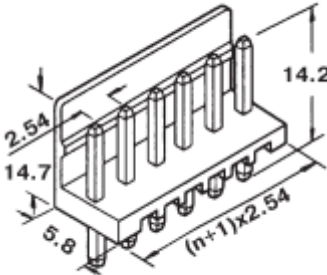

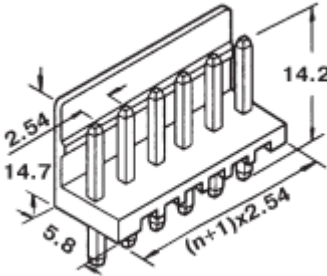
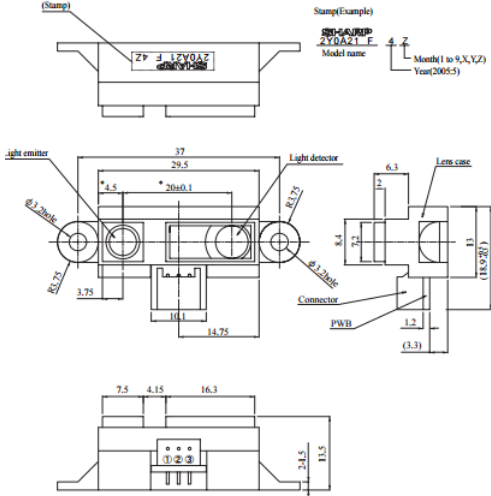
Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

9	Конденсатор керамический 0.01 мкФ		 <p> $L=20\text{мм}$ $F=2.5\text{мм}$ $d=0.5\text{мм}$ $D_{\text{max}}=4\text{мм}$ </p>	1 шт.
10	Резистор MF-25(с2-23) 1кОм		 <p> $D=1.5\text{мм}$ $d=0.48\text{мм}$ $H=3.2\text{мм}$ $L=28\text{мм}$ </p>	5 шт.
11	Резистор MF-25(с2-23) 3кОм		 <p> $D=1.5\text{мм}$ $d=0.48\text{мм}$ $H=3.2\text{мм}$ $L=28\text{мм}$ </p>	1 шт.

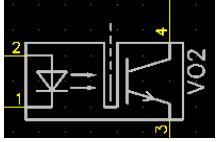
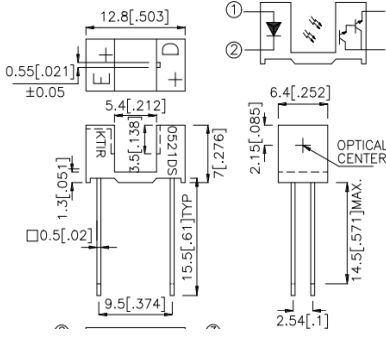
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ

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

12	Резистор MF-25(с2-23) 10кОм		 D=1.5мм d=0.48мм H=3.2мм L=28мм	7 шт.
13	Вилка на плату 2.54мм WF-3 (DS1070-3 M)			7 шт.
14	Вилка на плату 2.54мм WF-2 (DS1070-2 M)			5 шт.
15	ИК дальномер SHARP 2Y0A21			1 шт.

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

16	Оптопрерыватель КТІR0521DS			1 шт.
----	-------------------------------	---	--	-------

На основе собранной информации была спроектирована схема платы на рисунке 11.

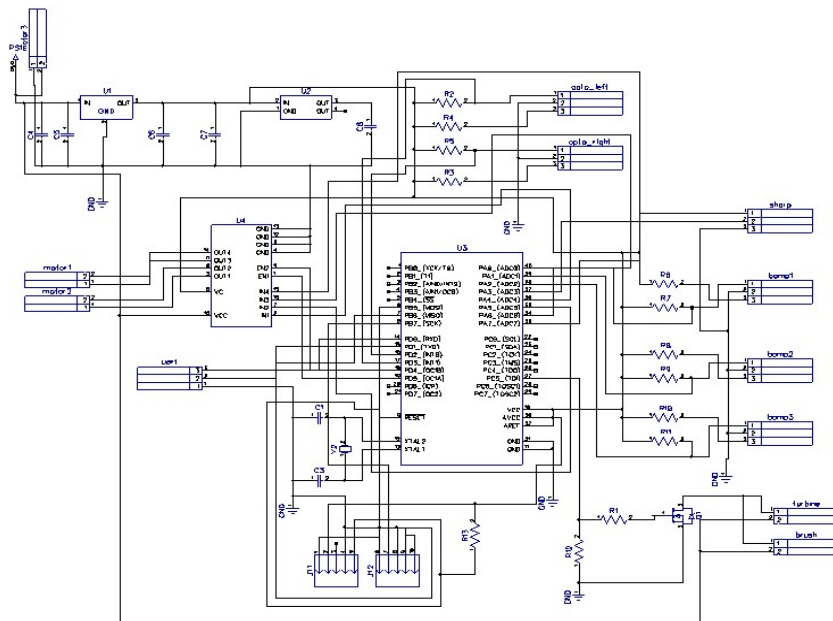


Рисунок 11. Схема платы.

На основе анализа сведений об элементной базе и спроектированной схеме были определены параметры конструкции:

Шаг установки выводов: 2,5 мм; 2,54 мм. Размер выводов: ~0,5 мм.

Перед изготовлением были определены параметры платы:

Компоновочная структура: 1А (элементы печатной платы располагаются на одной стороне и монтируются в отверстия).

Класс точности: 2.

Габариты платы: 50x30x1,5.

Ширина печатного проводника: 0,2. Материал: текстолит.

Печатная плата была спроектирована согласно указанным параметрам. Схема платы, проводящий рисунок и расположение элементов представлено на рисунках 12,13 соответственно.

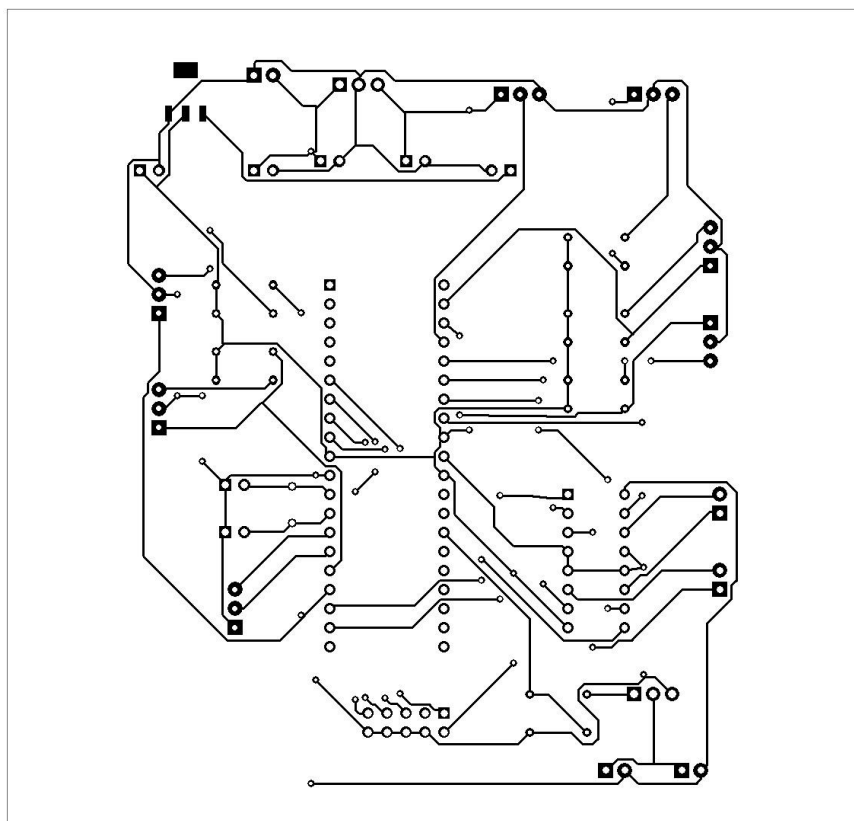


Рисунок 12. Дорожки печатной платы.

Инв. № подп	Подп. и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Лит	Инв. № дубл.		Взам. инв. №	Подп. и дата	
Изм.	Подп. и дата		Взам. инв. №	Подп. и дата	
№ докум.	Подп.		Взам. инв. №	Подп. и дата	
Дата	Подп.		Взам. инв. №	Подп. и дата	

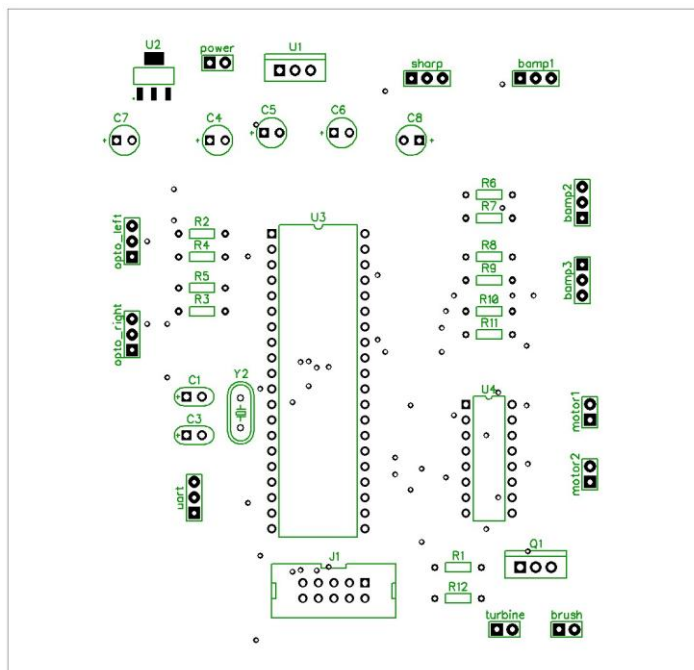


Рисунок 13. Расположение элементов.

Также были спроектированы платы с датчиками (рисунок 14).

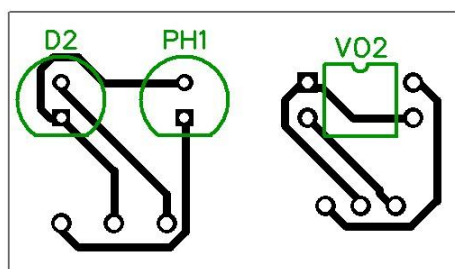


Рисунок 14. Плата датчиков.

В связи с тем что это прототип изделия, спроектированная схема была собрана на макетной плате, для возможности быстрого внесения изменений в случае выявления недочетов.

При изготовлении печатной платы с указанными выше параметрами была выполнена пайка платы. Работоспособность данной платы была протестирована в ходе работы в составе робототехнического устройства. Внешний вид платы управления представлен на рисунке 15.

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

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

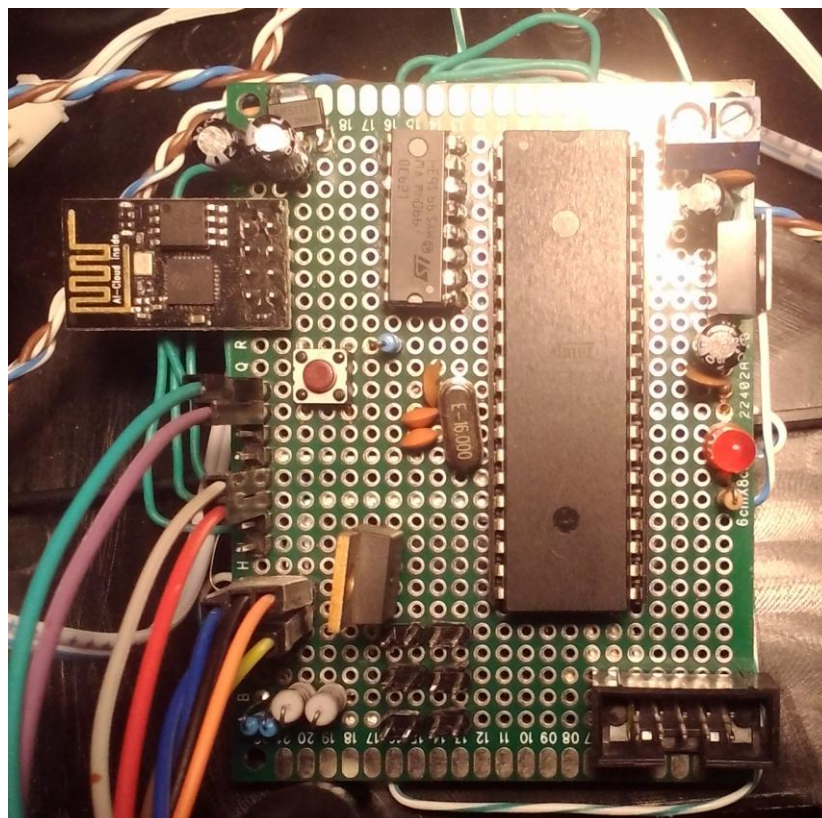


Рисунок 15. Внешний вид платы управления.

5.2 Сборка робототехнического устройства

Сборка устройства осуществляется путем установки платы в корпус устройства, все компоненты подключаются через разъемы. Аккумулятор устанавливается в корпус робота и подключается непосредственно к плате.

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ				
					Лист				
					26				

6 Разработка системы на программном уровне

Программный уровень – неотъемлемая составляющая любой робототехнической системы. Программная часть реализует логику и формирует поведение робота в зависимости от внешних условий.

Итак, главная задача программного уровня робототехнической системы – формирование поведения робота в зависимости от внешних воздействий. Из этого следуют требования к программной части:

Организация логики работы с двигателями (подача допустимых сигналов, запрет подачи недопустимых сигналов).

Организация логики работы с сенсорами(инициализация, частота опроса)

Организация интерфейса отладки(в нашем случае UART)

Исходя из этих требований была разработана архитектура программной системы, которая основана на парадигме автоматного программирования. Это парадигма программирования, при использовании которой программа или её фрагмент осмысливается как модель какого-либо формального автомата . Преимущества данной парадигмы:

1. строгая детерминированность состояний программы
2. удобная отладка, за счет явного перехода между состояниями

Так как ПО робота пылесоса функционирует на основе событийно-ориентированной модели, то данная парадигма как нельзя лучше подходит для ее описания.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ					Лист
										27

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

- | | | | | |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подп | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата |
| | | | | |

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

- | | | | | |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подп | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата |
| | | | | |

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Так как частота контроллера будет 8МГц то надо посчитать частоту ШИМ.
 $8000000/256=31250$. 32кГц для данного драйвера слишком много, следовательно надо устанавливать предделитель. Минимальный предделитель является 8, проверим $31250/8 = 3906$. Это полностью соответствует требованию производителя.

Выводы будут работать в режиме прямого ШИМа.

Функция инициализации ШИМа будет выглядеть следующим образом:

```
void init_pwm()
{
    TCCR1A = (1<<COM1A1)|(1<<WGM10)|(1<<COM1B1)|(1<<WGM12);
    TCCR1B = (1<<CS11); //предделитель = 8
    OCR1A = 0x00; //начальное состояние 0

    DDRD |= (1<<PD4)|(1<<PD5);

    OCR1A = (WholePWM+RightBalancePWM)*Spiral;
    OCR1B = WholePWM+RightBalancePWM;
}
```

Регистры COM1A1 и COM1B1 отвечают за установку режима работы выводов PD4 и PD5.

WGM10 и WGM12 устанавливают режим ШИМа(Fast PWM 8bit). CS11 задает частоту работы 3.9 кГц.

6.1.2 Таймер

В данном проекте таймер используется для отсчета времени между импульсами энкодера, что позволяет нам определить скорость вращения колеса относительно друг друга. Для этой задачи выбран T0. Настройка таймера частично аналогична настройке ШИМ. Нужно задать частоту работы таймера и разрешить прерывание по переполнению таймера. Инициализация таймера имеет следующий вид:

```
void initTimer(){
    TIMSK |= (1<<TOIE0);
    TCCR0|=(1<<CS00);
}
```

TIMSK |= (1<<TOIE0); разрешает прерывание по переполнению таймера.

Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Инв. № инв.
Лит	Изм.
№ докум.	Подп.
Дата	

$TCCR0|=(1<<CS00)$; задает задет частоту работы таймера, т.к. ограничений на частоту работы таймера в данном случае у нас нет то частоту ставим 31 кГц что позволяет добиться большей разрядности измерения.

6.1.3 АЦП

Аналогово-цифровой преобразователь, в нашем случае на нем построена работа со всеми сенсорами нашего робота. В AVR есть АЦП, который может через мультиплексор считывать данные с 8 портов, в нашем проекте задействованы 4 порта АЦП с PA0 по PA4. из основных характеристик АЦП необходимо настроить частоту опроса и источник опорного напряжения.

Частоту опроса использовали 64кГц, так как при использовании частоты выше, сильно падает точность измерений. В качестве же опорного напряжения мы взяли напряжение питания(+5в). Функция инициализации АЦП приняла следующий вид:

```
void ADCinit()
{
    ADCSRA |= (1<<ADEN) | (1<<ADPS2) | (1<<ADPS1) | (1<<ADPS0); //делитель 128 64
    кГц

    ADMUX &= ~((1<<REFS1) | (1<<REFS0)); // опорное напряжение
}
```

$ADMUX \&= \sim((1<<REFS1) | (1<<REFS0))$; - явно задает 00 для работы от внешнего напряжения поступающего на вход AREF.

$ADCSRA |= (1<<ADEN) | (1<<ADPS2) | (1<<ADPS1) | (1<<ADPS0)$; - здесь мы задаем частоту работы АЦП 64кГц.

6.1.4 Внешние прерывания

Работа с оптопрерывателями в энкодерах построена на внешних прерываниях. Для настройки внешних прерываний нам необходимо в регистре $MCUCR$ настроить на срабатывание прерываний при появлении на выводах высокого фронта. Включить порт в режим приема сигнала прерываний в регистре $GICR$. В итоге настройка прерываний принимает следующий вид:

```
void externalIntInit( void )
{
    //настраиваем на срабатывание по переднему фронту
    MCUCR |= (1<<ISC01)|(1<<ISC00)|(1<<ISC11)|(1<<ISC10);
    //разрешаем внешнее прерывание INT0 и INT1
    GICR |= (1<<INT0)|(1<<INT1);
    sei();
}
```

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

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

6.1.5 инициализация портов

Для работы с портами микроконтроллера их надо сначала инициализировать, по умолчанию все порты находятся в состоянии приема. Значение каждого порта можно считать из регистра PINx. В проекте используется 4 порта для управления моторами колес и 1 порт для управления турбиной. Настроить порты нужно в режим вывода, это делается путем установки в регистре DDRx бита соответствующего выводу порта в 1. В схеме использованы порты PA4-PA7 для моторов двигателей, PC5 для управления турбиной. Для подачи на выход 1 нужно выполнить аналогичные действия для порта PORTx. Функция инициализации портов:

```
void PortsInit()
{
    DDRA |= (1<<POWER_LEFT_MOTOR)|(1<<POWER_RIGHT_MOTOR)
    |(1<<GROUND_LEFT_MOTOR)|(1<<GROUND_RIGHT_MOTOR);

    DDRC |= (1<<PC5); // turbine
}
```

6.2 логика работы программы

Основной частью любой роботизированной системы является логика ее работы обеспечиваемая программной частью. Для реализации перемещения робота в пространстве был реализован алгоритм хаотичного движения, с периодами движения по спирали.

Робот сначала совершает движение по прямой, после столкновения с препятствием он совершает поворот в сторону противоположной препятствию на заданный угол, после чего опять продолжает движение по прямой. При движении по прямой без столкновений длительный отрезок времени переходит в состояние движения по спирали до столкновения с препятствием. Данный алгоритм лучше всего описывается графом на рисунке 16.

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ					Лист
										31

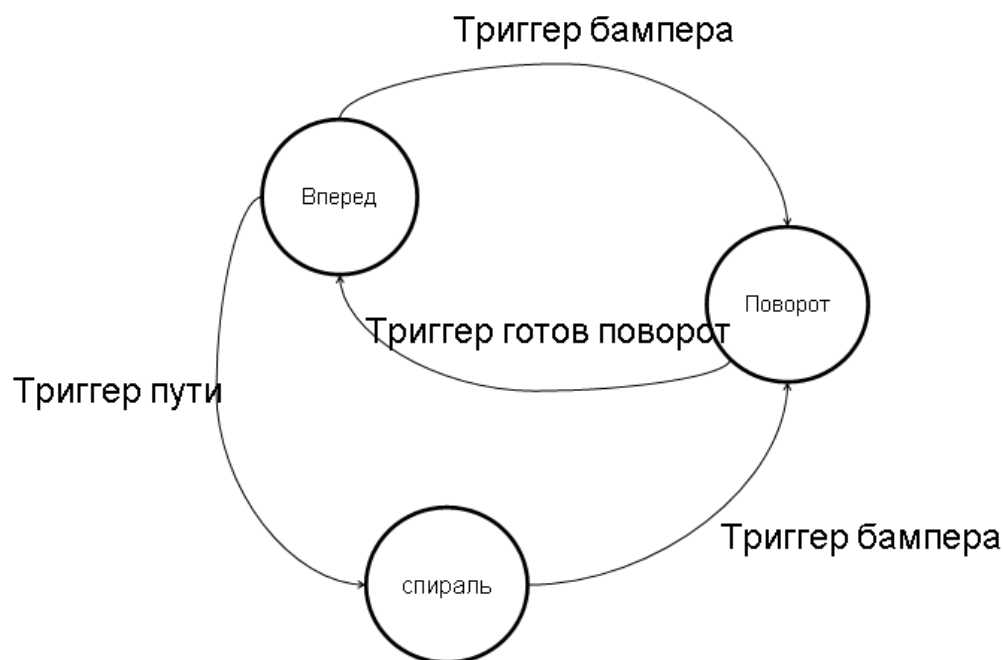


Рисунок 16. Граф движения робота.

Переход между состояниями осуществляется по триггерам изменяемым внутренней логикой функций которые в данном случае представляют автоматы.

При такой реализации, программа приобретает вид отдельных блоков. У каждого блока свои переменные состояний, которые изменяются исключительно в своем блоке. Сигнальные переменные доступны всем блокам, но изменяются исключительно внешними событиями. Такой подход позволяет вносить изменения в блоки, не затрагивая основную логику программы.

Для удобства каждый блок будет описываться отдельно.

6.2.1 Движение вперед

При движении вперед в роботе-пылесосе используется контроль скорости вращения колес и пройденного расстояния. Так как скорость вращения колес одинаковая, то пройденное расстояние возможно замерять по пути пройденному 1 колесом. Далее будет представлена блок схема алгоритма работы функции движения вперед (рис17).

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

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

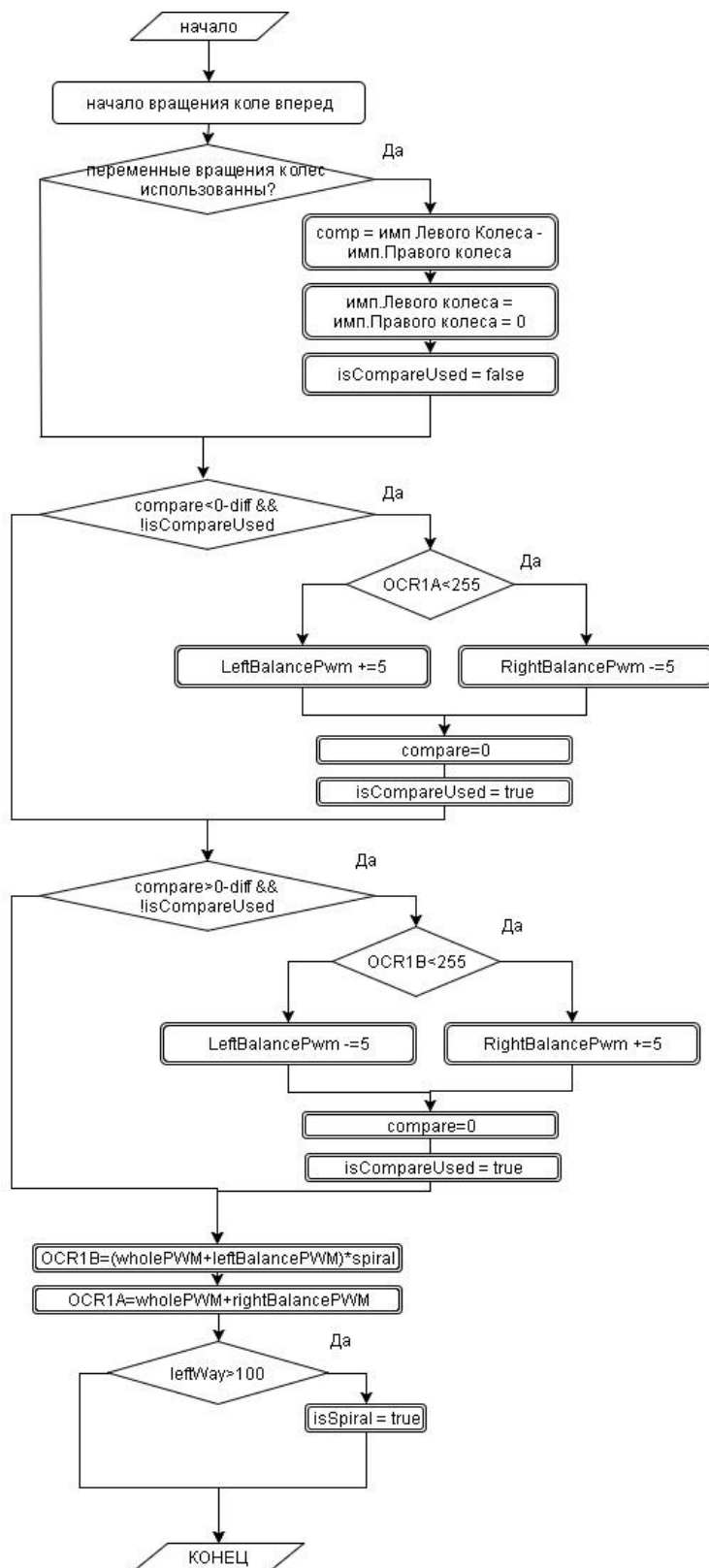


Рисунок 17. Блок-схема движения вперед

Переменные:

1. Compare – переменная для сравнения результат вычитания имп. правого колеса из имп. левого колеса.
2. isCompareUsed – триггер позволяющий определить что переменная в этом сравнении была использована
3. isSpiral – триггер для перехода к движению по спирали
4. wholePWM – Основной уровень ШИМ (75%)
5. leftBalancePWM, rightBalancePWM – корректировочный коэффициент правого и левого колеса соответственно
6. spiral – коэффициент вращения для движения по спирали.

Скважность сигнала ШИМ задаем суммой переменных и формируется следующим образом:

$(\text{wholePWM} + \text{leftBalancePWM}) * \text{spiral}$ для левого колеса и $\text{wholePWM} + \text{leftBalancePWM}$ для правого колеса.

6.2.2 Поворот

Поворот реализован в обе стороны с возможность выбора угла поворота. Путем расчета из геометрии робота было установлено что поворот колеса на 1 деление энкодера составляет длину дуги равную 1.5 сантиметров и поворот робота на 3 градуса. Так как колеса поворачивают симметрично, то поворот робота на 1 импульс составляет 6 градусов. По умолчанию угол поворота при столкновении равен 18 градусов, что соответствует нашим нуждам. Алгоритм поворота:

При столкновении устанавливается триггер поворота isRdone в значение false. После этого проверяются триггеры колес отвечающие за завершение поворота isRotateLeftDone и isRotateRightDone, если триггеры false то устанавливаем переменную rotateTick для колес равной Tick (передается аргументом) . После чего проверяем что $\text{tick} > 0$ то выполняем вращение колес на 3 деления энкодера для поворота влево, если меньше нуля то выполняется поворот вправо. По завершении вращения колес выставаем триггеры isRotateLeftDone и isRotateRightDone в false. Далее проверяем если они установлены в false то устанавливаем триггер isRdone в true, что означает что поворот окончен. Ниже приведена блок схема (рис 18).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
					Лит					
					Изм.					
					№ докум.					
					Подп.					
					Дата					
ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ										Лист
										34

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

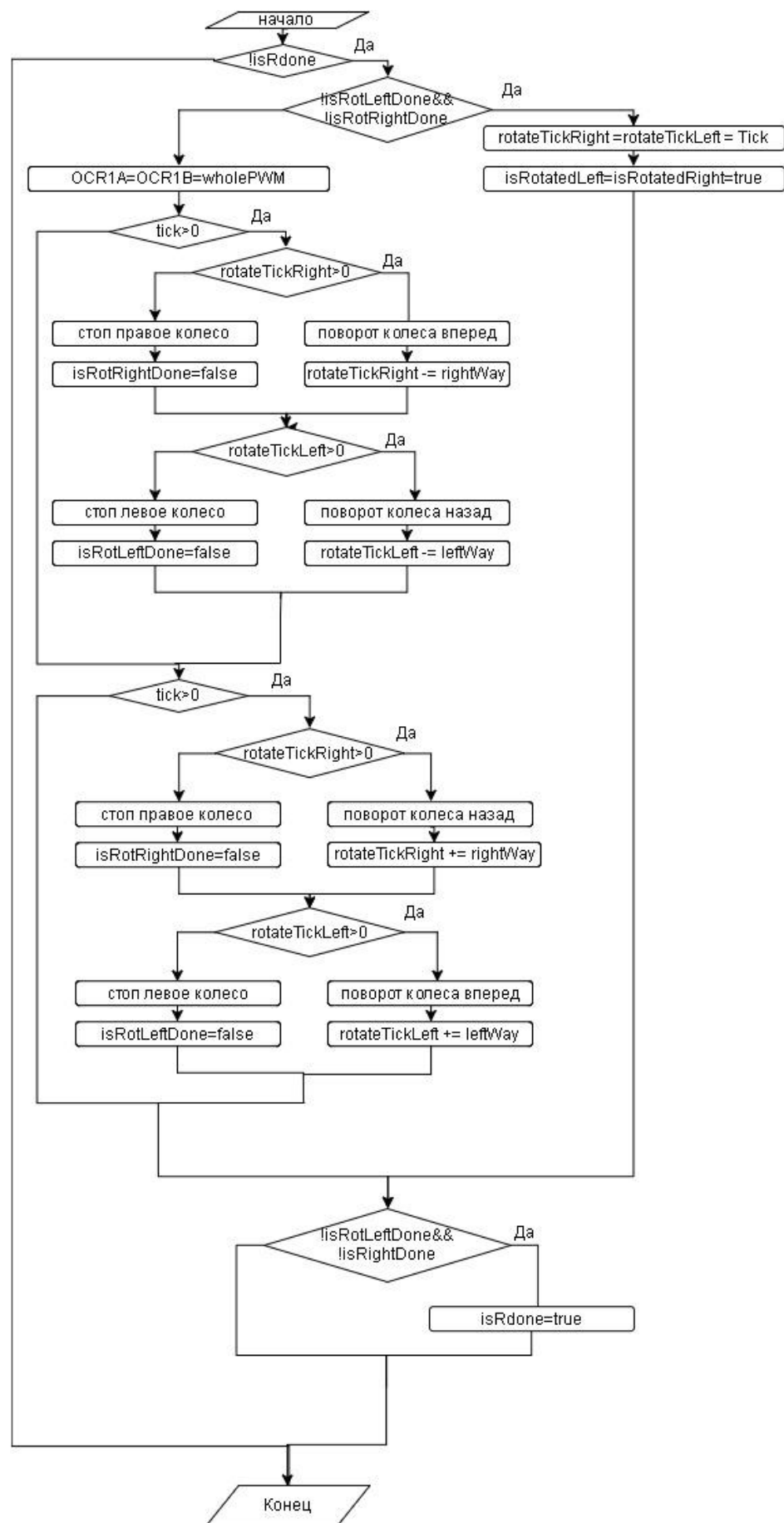


Рисунок 18. Блок-схема поворота.

6.2.3 движение по спирали

Движение по спирали организовано следующим образом. Расчетным путем было установлено что длина окружности проходимая роботом по внешнему диаметру при переменной *spiral* равной 0.1 равняется 198 см. и при увеличении переменной на 0.1 длина окружности будет увеличиваться на 21см. если это первый вход в функцию спирали мы устанавливаем вращение колес вперед, *spiral* равную 0.1 , заносим эти значения в регистр OCR1B. Далее проверяем больше ли переменная *rightWay* чем $(FIRST_LOOP + DEFF_SPIRAL * spiral * 10) * 0.8$ где:

1. *FIRST_LOOP* длина окружности первого круга
2. *DEFF_SPIRAL* длина окружности на которую каждый раз увеличивается круг

Если *rightWay* больше, то мы проверяем что *spiral* меньше единицы, если да, увеличиваем *spiral* на 0.1, обновляем регистр OCR1B и обнуляем переменную *rightWay*. После чего мы смотрим на триггер бампера, если он поднят, то устанавливаем переменную *isSpiral* в false а переменную *isFirst* в true. Блок схема данной функции приведена на рисунке 19.

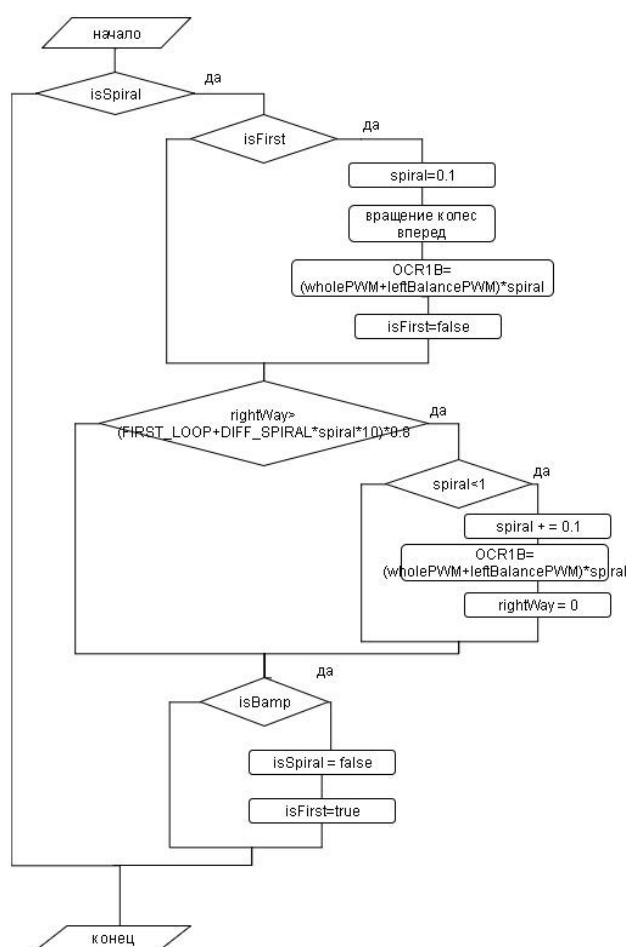


Рисунок 19. Блок-схема движения по спирали.

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

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

7 Тестирование системы

Тестирование аппаратно-программной робототехнической системы – процесс исследования, испытания данной системы, имеющий следующие цели: демонстрация того, что произведенный продукт соответствует требованиям; выявить ситуации, в которых поведение системы является неправильным, нежелательным или несоответствующим спецификации. Один из основных видов тестирования – функциональное тестирование.

Функциональное тестирование – тестирование продукта в целях проверки реализуемости функциональных требований. Именно этот вид тестирования использовался при тестировании робототехнической системы в данной работе.

В качестве тестирования данной роботизированной системы можно выделить следующие функции которые необходимо протестировать:

1. Движение вперед
2. Движение по спирали
3. Поворот
4. Срабатывание при столкновении с препятствиями

Для тестирования каждой функции надо сформировать процедуру проверки и критерии прохождения теста.

Для движения вперед основным параметром для нас является отклонение от маршрута при движении по прямой. Исходя из основной характеристики мы будем запускать робота ехать по прямой и замерять отклонение от прямой линии. Приемлемым для отклонением является 2см на метр.

Движение по спирали, в домашних условиях возможно оценить визуально.

Поворот мы можем проверить измерив фактический угол поворота робота с расчетным. Допустимым отклонением является ± 5 градусов.

Срабатывание при столкновении мы протестируем попеременным столкновением с разных сторон бампера(спереди, слева и справа). Как критерий срабатывание системы при столкновении должно быть 100%.

При тесте движения вперед робот запускался вдоль стены, для проверки чистоты начального позиционирования была проведена линия перпендикулярная стене, на которой

располагались центральные оси колес при старте. Тест показал отклонение в 1см на метре, что соответствует расчетным параметрам. Тест пройден.

Тест поворота был осуществлен путем установки метки на корпус по перпендикуляру, проведенному из центра оси колес. После чего был произведен пуск робота в режиме поворота на 18 градусов. Замер показал что фактически поворот составил 20 градусов, что соответствует заданным условиям. Тест пройден.

Движение по спирали было оценено визуально. Визуально движение соответствует требуемому.

Тест столкновения бампера проводили путем имитации препятствий на пути робота. Тест показал, что бампер распознает препятствия по всем предполагаемым точкам бампера. Тест пройден.

Результаты тестирования показали наличие отклонений фактических параметров от расчетных, предположительно из-за неучтенных в расчетах погрешностях. Но несмотря на это заложенный функционал устройство выполняет.

Инв. № подп	Подп. и дата				
	Взам. инв. №				
	Инв. № дубл.				
	Подп. и дата				
<div> <div>Лит</div> <div>Изм.</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> <div>ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ</div> <div> <div>Лист</div> <div>38</div> </div>					

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была спроектирована и изготовлена аппаратно-программная робототехническая система. Основными задачами данной системы были перемещение в пространстве и выполнение уборки помещения.

Как показало тестирование робототехнического устройства (см. пункт 7 «Тестирование системы»), весь требуемый функционал выполняется системой в полном объеме. В связи с этим можно заявить, что задачи, поставленные перед началом разработки системы, являются полностью выполненными.

В настоящее время устройство может использоваться для выполнения уборки помещений.

Планируется дальнейшее развитие проекта, создание робототехнической системы построенной на клиент серверной архитектуре с навигацией по заранее построенной карте. Построение карты в которой будет выполняться на основе одометрии, с использованием в качестве маяков уникальных участков периметра помещения.

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР-НГТУ-09.03.01-(13-В-1)-002-2017 ПЗ					Лист
										39

Список литературы

Белов А.В. – Микроконтроллеры AVR: от азов программирования до создания практических устройств. 2016г.

Баранов В.А. - Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы 2004г.

Юревич Е.И. – Управление роботами и роботехническими системами. 2000г.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	<div>ВКР-НГТУ-230100-(12-ВМ) ПЗ</div>					Лист
										40
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата						

Инв № подл		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата	
Изм.									
Лист									
№ докум.									
Подп.									
Дата									
XXXX-XXXX-XXXX									
Лист		39							

Инв. № подп	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

XXX-XXX-XXXX

Лист регистрации изменений

[illegible]

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