

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
(национально исследовательский университет)  
Институт «Политехнический», факультет «Энергетический»  
Кафедра «Автоматизированный электропривод»

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_/А.Н. Шишков/

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Электропривод роботизированного автономного транспортного средства  
на базе шагового двигателя

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ  
КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ**

**ЮУрГУ – 13.03.02.2018.185 ВКП**

Руководитель проекта:  
Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_/А.С. Нестеров/

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор проекта:  
студент группы \_\_\_\_\_ П-476 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_/С.С. Волков/

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер:  
Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_/А.Е. Бычков/

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Челябинск  
2018 г.

## АННОТАЦИЯ

Волков С.С. Электропривод робототизированного автономного транспортного средства на базе шагового двигателя. – Челябинск: ЮУрГУ, П; 2018, 58 с., 11 ил., 18 табл., библиографический список – 11 наим., 3 прил., 1 лист чертежа ф. А4, 1 лист чертежа ф. А3

Целями выпускной квалификационной работы являются:

- систематизация и закрепление знаний по курсам «теория электропривода», «микропроцессорные системы управления электроприводами», «автоматизация типовых технологических процессов»;
- обоснованный выбор силового оборудования и аппаратуры управления электропривода;
- написание программ управления транспортным средством на базе шаговых электродвигателей.

В этой работе спроектирован электропривод роботизированного автономного транспортного средства на базе шаговых электродвигателей: выбраны: электродвигатели посредством расчёта максимального синхронизирующего момента; аккумуляторная батарея, микросхемы, микроконтроллер, Raspberry Pi 3; разработаны программы управления и передачи данных; построена функциональная и принципиальная электрическая схема.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Волков С.С.</i>				<i>Электропривод робототизированного автономного транспортного средства на базе шагового двигателя</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Нестеров А.С.</i>						4	58
<i>Реценз.</i>						<i>ЮУрГУ Кафедра АЭП</i>		
<i>Н.Контр.</i>	<i>Бычков А.Е.</i>							
<i>Утверд.</i>	<i>Шишков А.Н.</i>							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ .....	7
2 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ .....	8
3 ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	9
3.1 Расчёт ускорения .....	9
3.2 Расчёт момента электродвигателя .....	10
3.3 Выбор рода тока и типа электропривода .....	12
3.4 Выбор электродвигателя.....	13
4 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЧАСТИ .....	15
5 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	19
5.1 Выбор основного устройства управления .....	19
5.2 Выбор устройства управления двигателями .....	21
5.3 Выбор типа источника питания .....	21
5.4 Выбор источника питания .....	23
5.5 Выбор датчиков .....	25
5.5.1 Выбор датчиков измерения расстояния.....	25
5.5.2 Выбор датчиков линии .....	26
6 РАЗРАБОТКИ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ .....	28
7 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ .....	30
7.1 Разработка программы для AVR .....	30
7.2 Разработка программы под Raspberry Pi 3 model B.....	33
7.3 Разработка программы для смартфона под управлением Android.....	34
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	37
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРОГРАММА ДЛЯ AVR.....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРОГРАММЫ ДЛЯ RASPBERRY PI 3B .....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ПРОГРАММА ДЛЯ СМАРТФОНА ПОД ANDROID.....	51

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность дипломной работы обусловлена перспективами широкого применения роботизированных транспортных средств. Дистанционное или полностью автономное управление позволяют заменить человека там, где есть опасность причинения вреда его жизни или здоровью. Сюда относятся задачи, связанные с вредными для человека веществами, температурами или другими условиями окружающей или производственной среды; исследование пещер, завалов или других труднодоступных мест. При этом, разумеется, исследовательская функция робота ограничена его конструкцией, питанием и дальностью связи.

Использование автономных транспортных средств позволяет заменить человека на однообразной работе, например, на складских помещениях, где осуществляется погрузка, разгрузка, перемещение и складирование товаров. Для этого могут применяться движение по линии или по меткам (QR-коды). В первом случае используются датчики линии, во втором – камера или простой сканер QR-кода.

Целью дипломного проекта является разработка роботизированного автономного транспортного средства. В ходе разработки требуется выполнить следующие задачи:

1. Выбор электропривода. Среди электродвигателей целесообразно рассматривать электродвигатели, питающиеся от постоянного или импульсного тока; Для выбранного электродвигателя требуется выбрать преобразователь;
2. Исследование устройств управления и средств связи;
3. Исследование датчиков для очувствления робота;
4. Разработка принципиальной электрической схемы;
5. Разработка программного обеспечения.

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01 ПЗ				



## 2 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

На рисунке 2.1 приведена функциональная схема проектируемого электропривода.



Рисунок 2.2 – Функциональная схема электропривода

На рисунке обозначены: ЛД –двигатель, расположенный в левой части корпуса; ПД - двигатель, расположенный в правой части корпуса;

Источник питания используется для обеспечения электрической энергией всех элементов электрической схемы. Устройство управления принимает команды с датчиков и с устройства связи. В соответствии с заложенным в устройство управления алгоритмом на блок управления двигателями формируются управляющие сигналы. Блок управления двигателями преобразует полученные сигналы в скорости или угловые положения двигателей. Пульт управления через устройство связи передаёт на устройство управления команды оператора.

Функциональная схема с указанием использованных элементов приведена в ЮУрГУ-13.03.02.2017.185.02 Э2.



В крайнем случае:

$$m \cdot a = m' \cdot g \cdot \mu_{0min}, \quad (3.1)$$

где  $m$  – полная масса транспортного средства,

$a$  – ускорение транспортного средства;

$m'$  – масса, приходящаяся на ведущие колёса;

$\mu_{0min}$  – минимальное значение коэффициента сцепления.

Так как все четыре колеса являются ведущими, то  $m=m'$ . Из (3.1.) получаем:

$$a = g \cdot \mu_{0mi} = 9,81 \cdot 0,2 = 1,962 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Принимаем допустимое ускорение меньше этой величины для обеспечения необходимого запаса:

$$a_{\text{доп}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

### 3.2 Расчёт момента электродвигателя

Для расчёта момента, который требуется передавать на ведущие колёса, необходимо определиться с диаметром колёс.

В качестве колёс из [4] были выбраны колёса RKP-RW74x38-SLV с параметрами, представленными в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры выбранных колёс RKP-RW74x38-SLV

Параметр	Размерность	Значение
Диаметр колеса	мм	74
Толщина колеса	мм	38

Определим величину вращающего момента, передаваемого от двигателя на ведущие колеса, необходимую для придания транспортному средству заданного допустимого ускорения.



Кинетическая энергия системы:

$$E_{\text{КИН}} = \frac{m_{\text{T}} \cdot v^2}{2} + 4 \frac{m_{\text{K}} \cdot v^2}{2} + 4 \frac{J_{\text{K}} \cdot \omega^2}{2} = \frac{m_{\text{ПР}} \cdot v^2}{2}, \quad (3.2)$$

где  $m_{\text{ПР}} = m_{\text{T}} + 4m_{\text{K}} + 4 \frac{J_{\text{K}}}{R^2}$  – приведённая масса системы,

$J_{\text{K}}$  – момент инерции колеса.

Найдём момент инерции колеса:

$$J_{\text{K}} = \frac{m_{\text{K}} \cdot R^2}{2}. \quad (3.3)$$

Момент сопротивления качению:

$$M_{\text{СОПР.КАЧ}} = f \cdot g \cdot (m_{\text{T}} + 4m_{\text{K}}), \quad (3.4)$$

где  $f$  – максимальный коэффициент трения качения, равный 0,003 для пары материалов «асфальт – пневматическая шина».

Согласно теореме о кинетической энергии, производная по времени от кинетической энергии равна суммарной мощности всех сил. Найдём производную кинетической энергии по времени:

$$\frac{dE_{\text{КИН}}}{dt} = \frac{m_{\text{ПР}} \cdot v^2}{2} = m_{\text{ПР}} \cdot v \cdot a_{\text{ДОП}} = P_{\Sigma}. \quad (3.5)$$

Суммарная мощность всех сил:

$$P_{\Sigma} = M \cdot \omega - M_{\text{СОПР.КАЧ}} \cdot \omega. \quad (3.6)$$

Решив совместно выражения (3.4), (3.5) и (3.6), можем выразить максимальный требуемый момент на валу двигателя:

$$M = m_{\text{ПР}} \cdot a_{\text{ДОП}} \cdot R + f \cdot g \cdot (m_{\text{T}} + 4m_{\text{K}}). \quad (3.7)$$

Подставляя значения в (3.3) и (3.7) получим:

$$J_{\text{K}} = \frac{m_{\text{K}} \cdot R^2}{2} = \frac{0,025 \cdot 0,037^2}{2} = 1,71 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

									Лист
									11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01 ПЗ				

$$m_{\text{ПР}} = 10 + 4 \cdot 0,025 + 4 \frac{1,71 \cdot 10^{-5}}{0,037^2} = 10,15 \text{ кг};$$

$$M = 10,15 \cdot 1 \cdot 0,037 + 0,3 \cdot 10^{-2} \cdot 9,81 \cdot (10 + 4 \cdot 0,025) = 0,861 \text{ Нм} = \\ = 0,088 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

### 3.3 Выбор рода тока и типа электропривода

В автономных системах удобно использовать электродвигатели, работающие от постоянного тока в виду того, что аккумуляторные батареи имеют постоянное напряжение на выходе. Для использования электродвигателей переменного тока требуется ставить инвертор напряжения. Инвертор напряжения усложняет схему, увеличивает стоимость системы управления, увеличивает массогабаритные показатели. Кроме того, большая часть устройств для подобных автономных систем требуют именно постоянное напряжение, поэтому будет выбран электродвигатель, питающийся от постоянного напряжения.

Среди электродвигателей малой мощности, способных работать от сети постоянного напряжения, выделяют следующие типы:

- Коллекторные электродвигатели постоянного тока;
- Бесколлекторные (вентильные) электродвигатели постоянного тока;
- Шаговые электродвигатели.

Коллекторные двигатели постоянного тока содержат щёточно-коллекторный узел, который является наиболее уязвимым и сложным в ремонте и обслуживании.

Бесколлекторные двигатели требуют специальный контроллер, который отслеживает положение якоря с помощью датчиков Холла или датчиков ЭДС и управляет коммутацией обмоток привода. К числу недостатков бесколлекторных двигателей можно отнести относительно высокую цену с

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

учётом драйвера.

Отличительная особенность шаговых электродвигателей – дискретное угловое перемещение ротора при работе. Последовательное перемещение ротора происходит при переключении напряжения питания с одних обмоток на другие.

Выбран шаговый электропривод, так как он имеет более простую систему управления, чем бесколлекторный; более надёжный, чем коллекторный; способен обеспечить требуемые уровни скоростей и моментов.

### 3.4 Выбор электродвигателя

Шаговые электродвигатели имеют максимальный синхронизирующий момент. Для того, чтобы выбрать электродвигатель, необходимо учесть схему управления и вид управления:

$$M_{MAX} \geq 1,41 \cdot K_{ЗД} \cdot K_{СХ} \cdot K_{СП} \cdot M_{СТ}, \quad (3.8)$$

где  $K_{ЗД}$  – коэффициент запаса двигателя;

$K_{СХ}$  – коэффициент схемы управления;

$K_{СП}$  – коэффициент для способа переключения обмоток;

$M_{MAX}$  – максимальный синхронизирующий момент шагового двигателя;

$M_{СТ}$  – момента статического сопротивления.

Для несимметричного биполярного управления имеем следующие коэффициенты:  $K_{СХ} = 1$ ,  $K_{СП} = 1$ . Выбираем коэффициент запаса  $K_{ЗД} = 1,2$ . По формуле 3.8 получаем:

$$M_{MAX} \geq 1,41 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,088 = 0,148 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Для того, что двигатель мог вращаться с нужной скоростью, требуется также учесть максимальную частоту переключений. Так как нагрузка равномерно делится между двумя двигателями, то максимальный синхронизирующий

момент каждого двигателя должен быть больше либо равен половине полученной величины:

$$M_{дв.маx} \geq \frac{M_{маx}}{2} = 0,074 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

Из каталога [2] выбран шаговый электродвигатель FL20STH30-0604A, его данные приведены в таблице 3.2, схема обмоток приведена на рисунке 3.1.

Таблица 3.3 - Параметры двигателя FL20STH30-0604A

Параметр	Размерность	Значение
Максимальный синхронизирующий момент	кг · см	0,18
Активное сопротивление обмотки	Ом	6,5
Индуктивность обмотки	мГн	1,7
Рабочий ток в обмотке	А	0,6
Величина полного шага	град	1,8

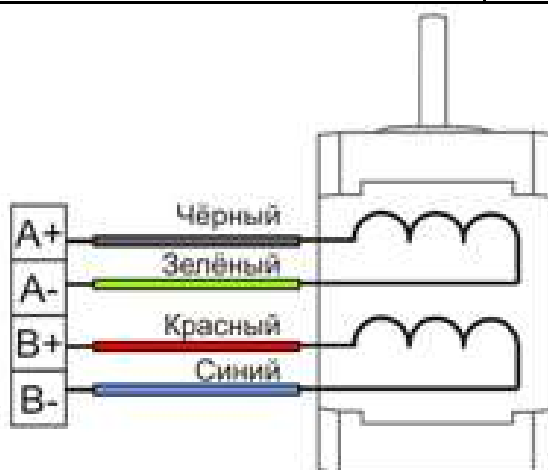


Рисунок 3.1 – Схема обмоток шагового двигателя

Проверку на нагрев шаговых электродвигателей обычно не производят, так как они рассчитаны на длительный режим прохождения импульсов тока по обмоткам управления.

## 4 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЧАСТИ

После выбора электродвигателя требуется выбрать элементы силовой части. В качестве элементов силовой части может быть выбрана система, состоящая из транзисторов, драйверов управления транзисторами и обратных диодов. Также можно использовать готовые решения в виде интегральных микросхем, например, связка микросхем L297 и L298 или микросхема TB6612FNG.

Интегральная микросхема TB6612FNG фирмы Toshiba имеет преимущества перед связкой L297 и L298 как в цене, так и в типе используемых транзисторов. Микросхема L298 использует биполярные транзисторы, поэтому такие микросхемы обычно разогреваются даже при сравнительно слабом токе. Микросхема TB6612FNG использует MOSFET транзисторы, имеет встроенные обратные диоды, защиту по температуре, перенапряжению и короткому замыканию.

Характеристики интегральной микросхемы TB6612FNG фирмы Toshiba и функции контактов микросхемы представлены в таблицах 4.1 и 4.2, расположение контактов и схема подключений приведены на рисунках 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 – Характеристики интегральной микросхемы TB6612FNG

Параметр	Значение
Напряжение на выходе	2,5-13,5 В
Максимальный ток на выходе	1,2 А
Максимальный пиковый ток на выходе	3,2 А (10 мс) 2 А (20 мс)
Выходное сопротивление во включенном состоянии	0,5 Ом
Входное напряжение	от 2,7 В до 5,5 В
Ток управления на входе	от 5 до 25 мкА (типовой 15 мкА)
Максимальная частота ШИМ на входе	100 кГц
Рабочая температура	от -20 до 85 °С

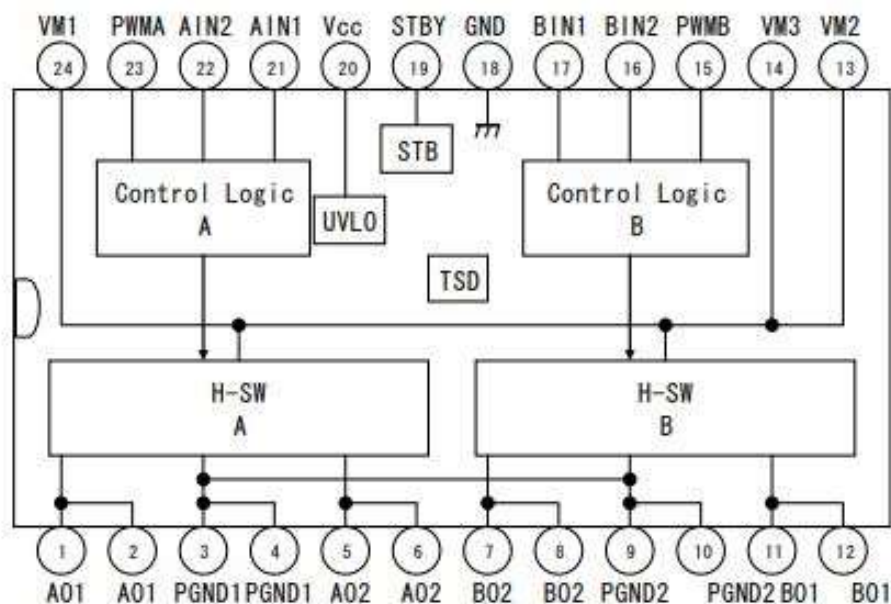


Рисунок 4.1 – Схема расположения контактов микросхемы TB6612FNG

Таблица 4.2 – Функции контактов микросхемы TB6612FNG

Номер	Название контакта	Функция
1	AO1	Выход 1 канала А
2	AO1	
3	PGND1	Земля силового источника питания для канала А
4	PGND1	
5	AO2	Выход 2 канала А
6	AO2	
7	BO2	Выход 2 канала В
8	BO2	
9	PGND2	Земля силового источника питания для канала В
10	PGND2	
11	BO1	Выход 1 канала В
12	BO1	
13	VM2	Питание мотора (2,5-13,5 В)
14	VM3	
15	PWMB	Вход ШИМ канала В ( $R_{ВН}=200$ кОм)
16	BIN2	Вход 2 канала В ( $R_{ВН}=200$ кОм)
17	BIN1	Вход 1 канала В ( $R_{ВН}=200$ кОм)
18	GND	Земля источника питания микросхемы
19	STBY	Вход разрешения ( $R_{ВН}=200$ кОм)
20	V <sub>CC</sub>	Вход питания микросхемы (высокий уровень)

Продолжение таблицы 4.2

Номер	Название контакта	Функция
21	AIN1	Вход 1 канала А ( $R_{BH}=200 \text{ кОм}$ )
22	AIN2	Вход 2 канала А ( $R_{BH}=200 \text{ кОм}$ )
23	PWMA	Вход ШИМ канала А ( $R_{BH}=200 \text{ кОм}$ )
24	VM1	Питание мотора (2,5-13,5 В)

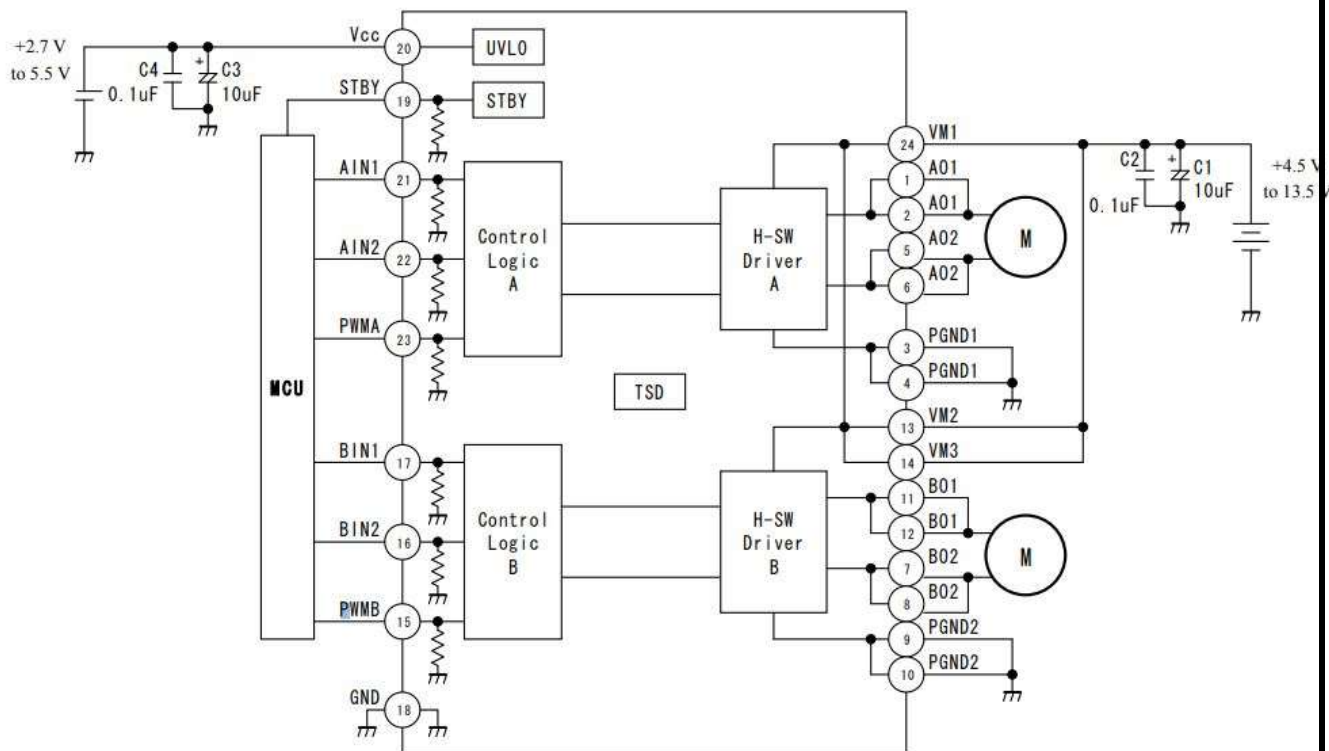


Рисунок 4.2 – Схема подключений микросхемы TB6612FNG

В соответствии с документацией на микросхему TB6612FNG требуется установка конденсаторов номиналами 0,1 мкФ и 10 мкФ на выходе источников питания. Данные конденсаторы следует размещать как можно ближе к интегральной микросхеме.

Для упрощения разработки из [5] выбрана плата Polulu на TB6612FNG. Данная плата представляет собой сборку интегральной микросхемы TB6612FNG и требуемых конденсаторов. В комплект входят две штыревые прямые вилки 1x8 с шагом 2,54 мм, что позволяет использовать данную плату со стандартными макетными и монтажными платами с расстоянием между выводами 2,54 мм, либо припаять провода прямо на плату. Внешний вид выбранной платы приведён на рисунке 4.3.

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

ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01 ПЗ

Лист

17

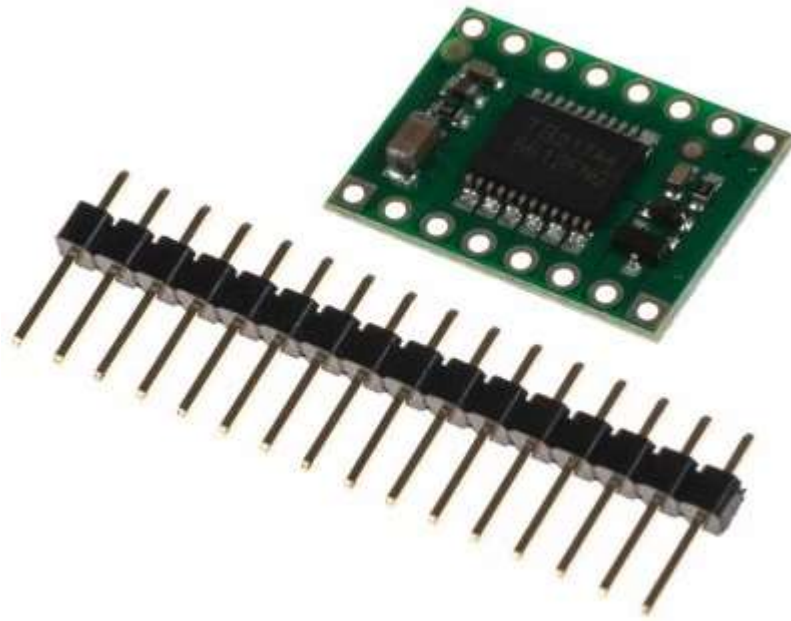


Рисунок 4.3 – Внешний вид платы Polulu на TB6612FNG



## 5 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

### 5.1 Выбор основного устройства управления

В качестве основного устройства управления рассматриваются две платы, часто применяемые в проектах робототехники: Arduino и Raspberry Pi.

Arduino работает на базе микроконтроллеров AVR. Это даёт ей преимущество в простоте реализации аппаратных проектов. Она способна в реальном времени считывать аналоговые и цифровые сигналы, что предоставляет гибкость для работы с датчиками и микросхемами. Raspberry Pi позволяет работать только с цифровыми сигналами. Для считывания аналоговых сигналов требуются дополнительные аппаратные средства.

Raspberry Pi имеет преимущества в возможностях программного обеспечения, поскольку на ней используется полноценная операционная система. Она работает на операционной системе Linux, специально адаптированной для неё. Имеет процессор, память, порты USB, аудиовыход и графический выход HDMI. Это позволяет ей использовать преимущества многозадачности: несколько программ в фоновом режиме могут работать одновременно.

Выбран микрокомпьютер Raspberry Pi 3 model B за счёт его производительности, встроенным порту Ethernet и беспроводному адаптеру Wi-Fi. На базе Raspberry Pi проще организовать взаимодействие через локальную сеть, съёмку и передачу изображений. Функцию точного управления шаговыми электродвигателями будет выполнять микроконтроллер фирмы Atmel.

Характеристики Raspberry Pi 3 представлены в таблице 5.1, внешний вид приведён на рисунке 5.1.

										Лист
										19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01 ПЗ					

Таблица 5.1 – Технические характеристики Raspberry Pi 3 model B

Параметр	Значение
Производитель процессора	Broadcom
Модель процессора	BCM2837
Количество ядер процессора	4
Частота процессора	1200 МГц
Тип оперативной памяти	SDRAM
Размер оперативной памяти	1 Гб
Видео интерфейсы	HDMI, MIPI (CSI) вход
Аудио интерфейсы	3,5 мм jack
Интерфейсы периферии	USB 2.0x4, GPIO, micro USB
Вид доступа в Интернет	Ethernet (RJ-45), Wi-Fi
Скорость сетевого адаптера	100 Мбит/с
Дополнительное встроенное оборудование	Bluetooth 4.1



Рисунок 5.1 – Внешний вид Raspberry Pi 3 model B

## 5.2 Выбор устройства управления двигателями

Выбор микроконтроллера производится по требованиям, сформированным к нему исходя из составленной функциональной схемы. Разработанная функциональная схема приведена в ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.02Э2. Сопоставление требуемых характеристик микроконтроллера с характеристиками выбранного микроконтроллера AVR приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Характеристики управляющего устройства

Параметр	Характеристики	
	Требуется контроллер	Выбран Atmega8535
Напряжение электропитания	5В	4,5-5,5 В
Частота кварцевого генератора	8 МГц	0-16 МГц
8-ми разрядные таймеры	2	2
16-разрядные таймеры	1	1
Выходы ШИМ	-	4
Цифровые входы/выходы	25	32
из них: входы	13	
выходы	12	
Аналоговые входы	-	8

Кварцевый резонатор выбирается исходя из допустимого диапазона частот микроконтроллера. Также, для надёжности запуска в работу микроконтроллера необходимо правильно выбрать конденсаторы кварцевого резонатора. Исходя из данных технической документации на ATmega8535 выбираем конденсаторы с ёмкостью 22 пФ и кварцевый резонатор на 8МГц.

## 5.3 Выбор типа источника питания

В разрабатываемой системе требуется портативный источник питания, способный обеспечивать требуемые уровни напряжений достаточный промежуток времени. Поэтому в качестве источника питания будет выступать аккумуляторная батарея.

Аккумуляторные батареи подразделяются на два основных типа:

- никелевые аккумуляторы (Ni-MH и NiCd),
- литиевые аккумуляторы (Li-ion и Li-Pol).

Никель-металл-гибридные батареи (Ni-MH) имеют напряжение на выходе равным 1,2В, разряжаются сами по себе со временем, требуют более сложных схем зарядных устройств, но они меньше подвержены «эффекту памяти». Эффект заключается в том, что если разрядить батарейку не до конца, а потом зарядить, то ёмкость батареи снизится.

Литий-ионные имеют напряжение на выходе от 3В при полном разряде до 4,2В в полностью заряженном состоянии. Для удобства берут среднее значение – 3,7В. Они не имеют «эффекта памяти», имеют в запасе 1000-1500 циклов заряда-разряда, почти не разряжаются сами по себе, требуют более простые схемы зарядных устройств, но со временем их ёмкость снижается. Кроме того, батарея выходит из строя при разряде ниже 3В и зарядке свыше 4,2В, поэтому выпускают батареи с внутренней платой, которая отключает батарею в случае сильного разряда или перезаряда.

Разница между литий-ионными и литий-полимерными аккумуляторами заключается в типе используемого электролита. У литий-полимерных это специальный полимер, насыщенный литийсодержащим раствором. Многие характеристики литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов схожи, однако литий-полимерные аккумуляторы способны обеспечить более высокие разрядные токи.

Выбираем литий-полимерные батареи, так как требуются частые заряды-разряды батареи, они способны обеспечить достаточный разрядный ток и уровень напряжений близкий к 5В.

										Лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01 ПЗ					

#### 5.4 Выбор источника питания

Источник питания будет представлять собой аккумуляторную батарею, удовлетворяющую следующим рассчитанным значениям напряжения, ёмкости и разрядного тока.

Напряжение, подаваемое на обмотки шагового двигателя:

$$U_{\text{шд}} = I_{\text{н}} \cdot R_{\text{дв}}, \quad (5.1)$$

где  $I_{\text{н}}$  - номинальный ток шагового двигателя;

$R_{\text{д}}$  - активное сопротивление фазы шагового двигателя;

$$U_{\text{шд}} = I_{\text{н}} \cdot R_{\text{дв}} = 0,6 \cdot 6,5 = 3,9 \text{ В.}$$

Микроконтроллеры ATmega8535 и Raspberry Pi 3 model B требуют источников питания с напряжением 5 В. Исходя из этого источник питания выбираем с напряжением 5 В, а номинальный ток шагового двигателя будет обеспечиваться введением добавочного сопротивления:

$$R_{\text{доб}} = \frac{U_{\text{ип}}}{I_{\text{н}}} - R_{\text{дв}}. \quad (5.2)$$

$$R_{\text{доб}} = \frac{5}{0,6} - 6,5 = 1,83 \text{ Ом.}$$

Микроконтроллер Raspberry Pi потребляет ток до 1 А, а двигатели по 0,6 А. Исходя из этого требуемый разрядный ток равен:

$$I_{\text{разр}} = I_{\text{Rpi}} + I_{\text{шд}} = 1 + 2 \cdot 0,6 = 2,2 \text{ А.}$$

Автономное транспортное средство требует времени работы от аккумулятора равным одному часу. Так как время разряда меньше 2 часов, то рассчитанную ёмкость аккумулятора требуется удвоить.

$$C_{\text{акк}} = 2 \cdot t_{\text{раб}} \cdot I_{\text{разр}}. \quad (5.3)$$

$$C_{\text{акк}} = 2 \cdot 1 \cdot 2,2 = 4,4 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Исходя из рассчитанных параметров из [3] выбираем аккумуляторную батарею ROBITON LP115181, технические параметры которой приведены в таблице 5.3, а внешний вид приведён на рисунке 5.2. Батарея снабжена универсальными контактными выводами; встроенной электронной схемой, которая предотвращает перезаряд и перегрев аккумулятора вследствие слишком интенсивного заряда; защитой от короткого замыкания; удобной и прочной упаковкой, которая сохраняет аккумулятор от механического повреждения. Для повышения напряжения используется последовательное подключение трёх аккумуляторов, при этом ёмкость остаётся той же.

Таблица 5.3 – Технические характеристики ROBITON LP115181

Параметр	Значение
Напряжение, В	3,7
Ёмкость, мА·ч	5000
Тип электролита	Li-Pol
Максимальный разрядный ток	2С
Размеры, мм	1,1x51x81
Максимальный ток заряда, мА	5000



Рисунок 5.2 – Внешний вид выбранного аккумулятора

К аккумулятору из [3] выбрано зарядное устройство HobbyCharger01 микропроцессорным контролем заряда, защитами от перегрева, переплюсовки, перезаряда и короткого замыкания. Технические характеристики зарядного устройства указаны в таблице 5.4.





Рисунок 5.3 – Внешний вид выбранного датчика расстояния.

Таблица 5.6 – Описание контактов датчика HC-SR04

Контакт	Значение
<i>Vcc</i>	Положительный контакт питания (3,3-5В)
<i>Trig</i>	Цифровой вход. Для запуска измерения необходимо подать на этот вход логическую единицу на 10 мкс. Следующее измерение рекомендуется выполнять не ранее, чем через 50 мс.
<i>Echo</i>	Цифровой выход. После завершения измерения на этот выход будет подана логическая единица на время, прямо пропорциональное расстоянию до объекта (25-150 мкс). Если в зоне действия датчика отсутствует препятствие, то длительность импульса составит 38 мс.
<i>GND</i>	Отрицательный контакт питания

### 5.5.2 Выбор датчиков линии

В автономном режиме колёсный робот должен двигаться вдоль чёрной линии шириной 5 см. Для этого из [3] выбран цифровой датчик линии *Troyka-Digital Line Sensor*. Выходом датчика является простой бинарный цифровой сигнал: логическая единица, если поверхность под датчиком чёрного цвета или отсутствует, и логический ноль, если цвет не чёрный. Датчик может быть закреплён на основании колёсного робота, чтобы он следил за нарисованной линией. Переменный резистор, установленный на модуле датчика, позволяет регулировать чувствительность сенсора в широких пределах. Это позволяет откалибровать датчик под различные условия освещения, материал покрытия и высоту платформы колёсного робота.





## 6 РАЗРАБОТКИ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Была разработана принципиальная схема, содержащая все элементы системы. На чертеже отображены: аккумуляторная батарея, стабилизатор напряжения, плата Raspberry Pi 3 model B, микроконтроллер AVR, интегральные микросхемы TB6612FNG, обмотки двигателей, датчики расстояния HC-SR04 и датчики линии Digital Line Sensor. Средство связи входит в состав микрокомпьютера Raspberry Pi3 model B, поэтому на схеме его нет. В качестве токоограничивающих элементов последовательно с обмотками двигателей подключены резисторы. Их номинальное сопротивление из (5.2) равны 1,83 Ом. Ближайшее стандартное значение из ряда E24 – 1,8 Ом. Требуемая мощность резисторов:

$$P_R = I^2 R = 0,6^2 \cdot 1,8 = 0,648 \text{ Вт.}$$

Из [3] выбраны резисторы CF-100 (C1-4) мощностью 1 Вт и сопротивлением 1,8 Ом.

Для стабилизации напряжения аккумуляторной батареи до 5В используется импульсный стабилизатор напряжения SCV0023-5V-3A. Он способен обеспечить требуемый ток системе ток без перегрева. Так как стабилизатор работает в импульсном режиме, он имеет высокий КПД и в отличие от линейных стабилизаторов не нуждается в большом теплоотводе. Устройство имеет тепловую защиту и ограничение по выходному току от 3 до 4А. Стабилизатор основан на микросхеме LM2596SX-ADJ. Модуль выполнен на плате с алюминиевой подложкой, что позволяет в течение продолжительного времени снимать ток. Также можно прикрепить радиатор к тыльной стороне платы с помощью крепёжных винтов и термопасты. Модуль уже содержит конденсаторы, поэтому отдельная их установка не требуется. Принципиальная схема модуля изображена на рисунке 6.1.

										Лист
										28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01 ПЗ</i>					

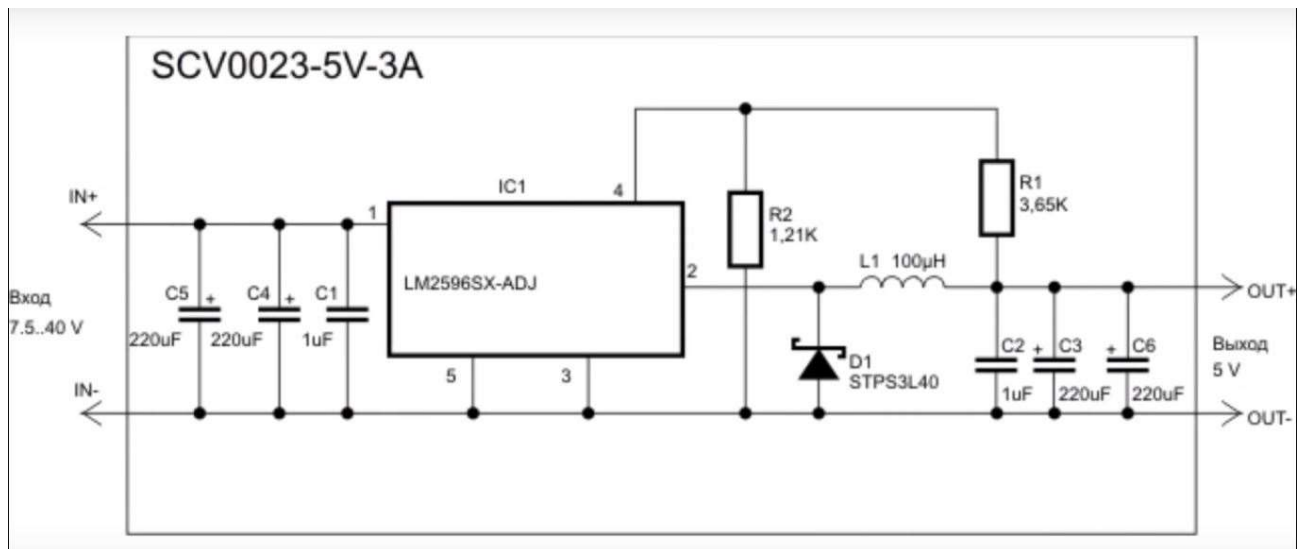


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема импульсного стабилизатора напряжения SCV-0023-5V-3A

Для создания временной задержки сигнала RESET на входе МК AVR используется RC-цепочка. Кварцевый резонатор выбран с частотой 8 МГц.

Полный перечень элементов приведён в ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.04 ПЭ, а схема электрическая принципиальная в ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.03 ЭЗ.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01 ПЗ

Лист

29

## 7 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Управление электроприводом происходит на нескольких уровнях. Для точного управления электродвигателями и приёма сигналов с датчиков используется микроконтроллер AVR ATmega8535. Для выбора режима (автономный или ручной) и управления в ручном режиме используется программа на смартфоне под управлением Android. Для приёма команд со смартфона и формирования команд управления на микроконтроллер AVR используется микроконтроллер Raspberry Pi 3 model B.

При ручном управлении на микроконтроллер Raspberry Pi 3 model B передаются команды управления со смартфона под управлением Android и информация о срабатывании датчиков с микроконтроллера AVR. В свою очередь с Raspberry Pi 3 model B передаются информация о препятствиях впереди транспортного средства и изображение с камеры, установленной на транспортном средстве, на телефон под управлением операционной системы Android, а также заданные уставки по скорости.

### 7.1 Разработка программы для AVR

В программе на AVR прерывания настраиваются таким образом, чтобы прерывания по совпадению канала А таймера T1 отвечали за ускорение шаговых двигателей и получение сигнала с датчиков расстояния. Прерывания таймера T0 по переполнению отвечают за текущую скорость левого шагового двигателя. Прерывания таймера T2 по переполнению отвечают за текущую скорость правого шагового двигателя.

Частота таймера вычисляется по формуле:

$$f_{T0} = \frac{v}{\pi D} \cdot 400. \quad (7.1)$$

Для более плавного изменения скорости она изменяется с шагом в 0,05 м/с.

Полученные значения занесены в таблицу 7.1.

									Лист
									30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01 ПЗ				

Частота таймера T0 также определяется как:

$$f_{T0} = \frac{f_{CLK}}{K_{ПД} \cdot (256 - TCNT0)}. \quad (7.2)$$

Настраиваем  $K_{ПД}$  равным 256. Из формулы 7.2 находим значение регистров сравнения:

$$TCNT0 = 256 - \frac{f_{CLK}}{K_{ПД} \cdot f_{T0}}. \quad (7.2)$$

Полученные формулы полностью справедливы для таймера T2.

Таблица 7.1 – Значения скоростей, частот и регистров сравнения таймера

Скорость, м/с	Частота, Гц	Начальные значения счётного регистра TCNT0 и TCNT2	Начальные значения счётного регистра TCNT0 и TCNT2 в шестнадцатеричной системе
0	0	Таймер отключён	Таймер отключён
0,07	122,1	0	\$00
0,10	172,1	74	\$4A
0,15	258,1	135	\$87
0,2	344,1	165	\$A5
0,25	430,1	183	\$B7
0,3	516,2	195	\$C3
0,35	602,2	204	\$CC
0,4	688,2	211	\$D3
0,45	774,3	216	\$D8
0,5	860,3	220	\$DC
0,55	946,3	223	\$DF
0,61	1032,4	226	\$E2
0,65	1118,4	228	\$E4
0,70	1204,4	230	\$E6
0,76	1290,4	232	\$E8
0,79	1376,5	233	\$E9
0,86	1462,5	235	\$EB
0,91	1548,5	236	\$EC
0,96	1634,6	237	\$ED
1,01	1720,6	238	\$EE
1,07	1806,6	239	\$EF

Продолжение таблицы 7.1

Скорость, м/с	Частота, Гц	Начальные значения счётного регистра TCNT0 и TCNT2	Начальные значения счётного регистра TCNT0 и TCNT2 в шестнадцатеричной системе
1,07	1892,6	239	\$EF
1,14	1978,7	240	\$F0
1,21	2064,7	241	\$F1

Настройка таймера T0: таймер работает в нормальном режиме с коэффициентов предделителя  $K_{ПД}=256$ .

$TCCR0=0b0000\ 0100=0x04$ .

Настройка таймера T2: таймер работает в нормальном режиме с коэффициентов предделителя  $K_{ПД}=256$ .

$TCCR0=0b0000\ 0110=0x06$ .

Настройка таймера T1: таймер T1 работает в режиме СТС, при этом период между прерываниями настраивается на 10 мкс, так как это позволяет точнее измерять время сигналов с датчиков расстояния. При этом частота таймера и регистр сравнения таймера T1 по каналу А соответственно равны:

$$f_{T1} = \frac{1}{T}; \quad (7.3)$$

$$OCR1A = \frac{f_{CLK}}{K_{ПД} \cdot f_{T1}} - 1. \quad (7.4)$$

Подставляя значения в формулу, частота таймера равна 100 кГц, регистр сравнения таймера равен  $OCR1A=79=0x4F$ .

Регистры управления:

$TCCR1A=0b0000\ 0000=0x00$ .

$TCCR1B=0b0000\ 1001=0x09$ .



Для работы с контактами GPIO платы Raspberry Pi требуется импортировать модуль RPi. Для приёма сигналов управления из сети интернет требуется использовать протоколы передачи данных. Для этого в программе импортируется модули socket. Также, для более наглядного использования команд, принимаемая команда содержит строку формата «направление+скорость». Для того, чтобы разделить и в дальнейшем сформировать требуемые уставки скорости на входе микроконтроллера AVR, используются регулярные выражения. Для их использования в программе импортирован стандартный модуль re.

Написанная программа состоит из двух файлов. Первый файл содержит функции изменения скорости и направления. Второй файл настраивает беспроводное соединение, принимает, обрабатывает и интерпретирует информацию. Также, в нём содержится логика работы для автономного и ручного режимов управления.

В случае ручного режима управления программа формирует команды для микроконтроллера AVR в соответствии с полученными по беспроводной связи данными. В случае автономного режима управления программа принимает только сигнал скорости по беспроводной связи. Для формирования команд поворотов налево и направо используются датчики линии. В обоих режимах колёсный робот автоматически останавливается при появлении препятствия на его пути.

Листинг программы приведён в приложении Б.

### 7.3 Разработка программы для смартфона под управлением Android

Программа содержит окно ввода локального адреса микрокомпьютера Raspberry Pi, переключатель режимов работы, ползунок установки скорости, кнопки для задания движения «вперёд», «назад» и поворотов «налево» и «направо». Сигналы вперёд или назад являются запоминаемыми, то есть не



требуется постоянное нажатие этих кнопок для движения робота в заданном направлении. Команды «влево» и «вправо» формируются только при удержании одноимённых кнопок и пропадают при их отпуске. Внешний вид программы изображен на рисунке 7.1.

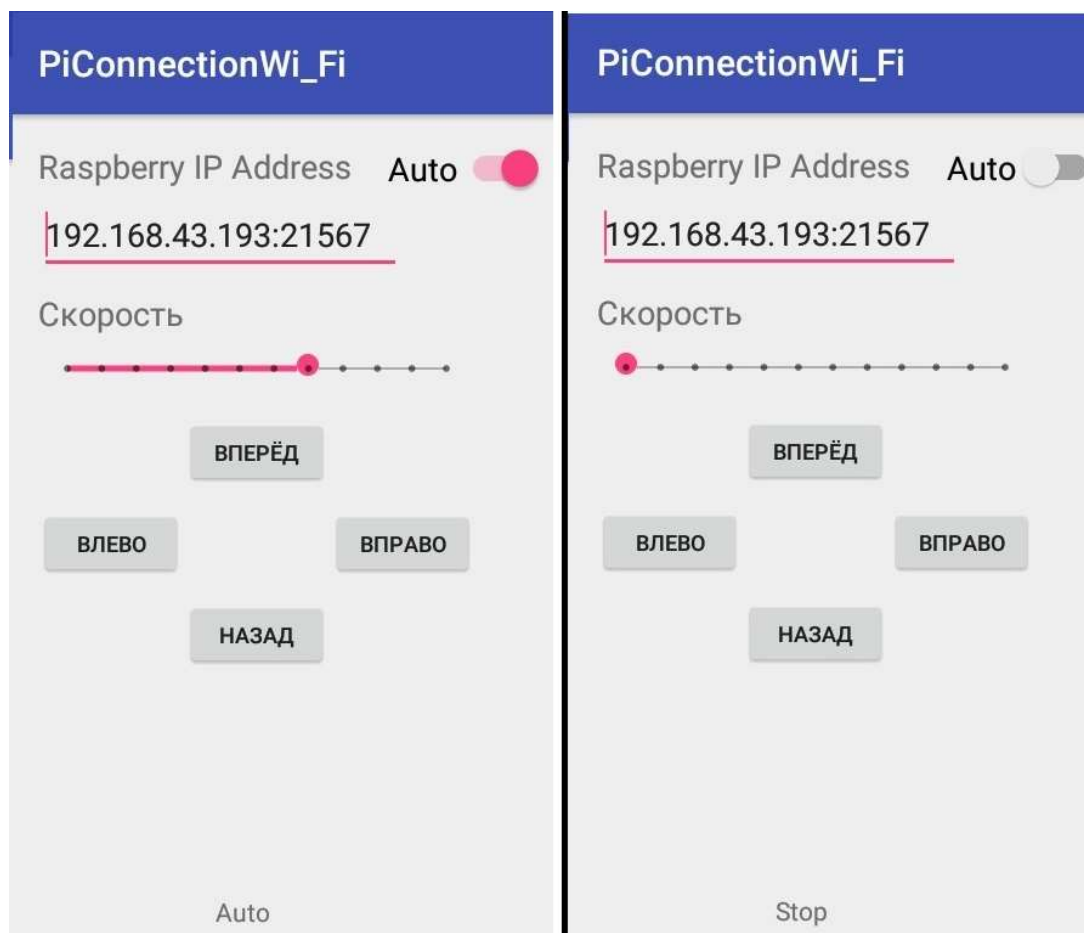


Рисунок 7.1 – Внешний вид программы на ОС Android

Листинг программы приведён в приложении В.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дипломного проектирования был спроектирован электропривод роботизированного автономного транспортного средства на базе шаговых электродвигателей. Привод выполнен с применением одноплатного компьютера Raspberry Pi 3B и микроконтроллера AVR ATmega8535.

Были выбраны двигатели FL20STH30-0604A, датчики расстояния HC-SR04 и датчики линии Troyka Digital Line Sensor.

Построены функциональная и принципиальная схемы. Для стабилизации напряжения на выходе источника питания установлен импульсный стабилизатор напряжения SCV0023-5V-3A.

На основе задач, выполняемых колёсным роботом, были написаны программы для формирования команд управления, программы для управления двигателями в автономном и ручном режимах работы, программы обработки сигналов с датчиков. Было написано мобильное приложение для смартфона под управлением операционной системы Android.

В результате дипломного проектирования был изучен микрокомпьютер Raspberry Pi 3 model B, языки программирования Python и Java; разработаны требования к дипломному проекту, на основе которых был произведён выбор силовых и управляющих элементов, построена принципиальная схема, написаны программы управления.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2018.185.01 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

