

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Электромеханика и автоматизация промышленных установок

«Допущен к защите»  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Автоматизированной электромеханикой мобильного  
робота специального назначения

Специальность 5В071800 - Электротехника

Выполнил (а) Жоурбаев. А. А. ЭАТК 12-3  
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Журба Ю.А. к.т.н профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Жакупов А.А. к.т.н. профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Ж « 26 » 09 20 16 г.  
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Дюсобеаев М.К. д.т.н. профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Дюсобеаев « 13 » мая 20 16 г.  
(подпись)

Нормоконтролер: ст. прф. каф. ЭАТЭС Кудамберг О.В.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

О.В. « 20 » 05 20 16 г.  
(подпись)

Рецензент: Дюсобеаев М.К. д.т.н. профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

Алматы 2016г.



Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- 1) 2D модель робота специального назначения
- 2) 3-х мерный экспорт робота
- 3) Обобщенный обзор робота
- 4) Двигатель и расположение датчиков для манипулятора
- 5) Паспортные данные двигателя транспортного средства
- 6) Изображение вращающихся шпindelно-шпульных преобразователей
- 7) Принципиальная схема шпindelно-шпульных преобразователей
- 8) Функциональная схема ГИСТ.
- 9) Управление скоростью вращения якоря путем изменения частоты шпульсов.
- 10) Новаторская разработка робота специального назначения.

Рекомендуемая основная литература

- 1) Автоматизированное управление постоянного тока с шпindelно-шпульными преобразователями И.В. Гольд, А.Б. Зуденко, В.М. Остров, Л.А. Шпилер, «Энергия» 1978 - 112с.
- 2) Теория механизмов машин Артоболевский И.И. - М.: Наука 1975 - 421с.
- 3) Шпульное управление на трансформаторах. - "Техническое", 1968.
- 4) Устройство управления роботами Прерко М. ДМК пресс, 2004, 246с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки.	Подпись
Т.Р.Д	Дюсбаев И.К	13.05.16г	
Эксперт. часть	Жакупов А.А	26.04.16г	
Спец. часть	Крба Ю.А	20.04.16г	

**Г Р А Ф И К**  
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Стр. ответственности работтех. сметы специального назначения	22.01.16 - 26.01.16	
2.	Разработка автоматизированного электропривода мобильного робота.	26.01.16 - 12.02.16	
2.1	Механические хар-ки робота раздел.	26.01.16 - 12.02.16	
2.3	Целевой анализ манипулятора выбор электропривода для манипулятора	26.01.16 - 12.02.16	
2.4	Механические хар-ки транспортного средства выбор электропривода транспортного средства. дальнейшее проектирование образоват.лист. выбор шип.	12.02.16 - 12.02.16; 12.02.16 - 14.03.16	
3.	Исследование электропривода	14.03.16 - 20.03.16	
4.	Исследование характеристик	9.04.16 - 24.04.16	
4.2.	БВ. Особенности процесса размагничивания	24.04.16 - 4.05.16	
4.3	Обценка последствий	04.05.16 - 13.05.16	
5.	Экономическая сторона работ в специальном назначении	05.04.16 - 26.04.16	
5.2.	Расчет затрат на разработку схемы управления	26.04.16	

Дата выдачи задания « 12 » Января 20 16 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ (подпись) Сагитов Ф.И. (Фамилия и инициалы)

Руководитель \_\_\_\_\_ (подпись) Аюба Ю. А. (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_ (подпись) Сагитов А.А. (Фамилия и инициалы)

## **Аннотация**

В настоящей работе рассматривается автоматизированный электропривод робота для проведения взрывотехнических мероприятий. Осуществлен расчет и выбор приводных электродвигателей транспортного средства и манипулятора, а также преобразователи с ШИМ модели PWM MUCN3. Проведены исследования динамики электропривода предлагаемого робота на виртуальной модели в среде Matlab. Осуществлен расчет потенциального вреда фронта взрывной волны в зависимости от расстояния. В последнем разделе осуществлен технико-экономический расчет.

## **Аңдатпа**

Берілген дипломдық жұмыста жарылғыш заттардың жарылуын алдын алуға арналған роботтың автоматтандырылған электржетегі қарастырылады. Роботтың транспорттық құралы мен манипуляторға жетекті электрқозғалтқыштар, ЕИМі бар PWM MUCN3 типті түрлендіргіштер таңдалып, олардың есептеулері жүргізілді. Matlab виртуалды моделінде таңдалған роботтың электржетегінің динамикалық сипаттамалары өлшенді. Қашықтыққа тәуелді жарылу толқынының потенциалды зияны есептелінді. Соңғы бөлімде технико-экономикалық өлшемдер жүргізілді.

## **Annotation**

Electrical machine of the sapper robot was considered in the current graduate work. Moreover, it was realized special calculations and selection of electrical machines for the vehicle and manipulator. Then Realized simulation in Matlab Simulink of the electrical machine and PWM MUCN3 model. Also, I've made some calculations of the front of blast wave that depend on distance. In the last section I have made economic research.

## Содержание

Введение.....	13
1 Обзор робототехнических систем специального назначения и электроприводов.....	14
1.2 Общие принципы построения полупроводниковых преобразователей частоты для робототехнических систем специального назначения (РССН).....	14
1.3 Непрерывное регулирование напряжения с помощью управляемого выпрямителя или ШИР с силовым сглаживающим фильтром на выходе.....	15
1.4 Широтно-импульсное регулирование напряжения на основной частоте ...	16
1.5 Широтно-импульсное регулирование напряжения на несущей частоте ...	16
1.6 Законы переключения полупроводниковых приборов и структура силовой цепи мостового инвертора напряжения .....	17
1.7 Определение технических параметров .....	18
1.8 Функциональная схема работа .....	19
1.9 Управление электроприводом робототехнических систем способом широтно-импульсной модуляции.....	24
1.10 Постановка задач исследования .....	25
2 Разработка автоматизированного электропривода мобильного робота специального назначения .....	26
2.1 Кинематическая схема манипулятора.....	26
2.2 Расчет мощности двигателя манипулятора. Выбор двигателя и преобразователя.....	27
4 Безопасность жизнедеятельности.....	50
4.1 Правила работы со взрывчатыми веществами.....	50
4.2 Особенность процесса разминирования .....	52
4.3 Оценка последствий.....	54
5 Экономическая эффективность роботов специального назначения.....	58
5.1 Роль роботов в экономике производства.....	58
5.2 Расчёт затрат на разработку схемы управления и программного обеспечения.....	60
5.3 Итоги.....	66
Заключение .....	69

### ведение

Роботизированные системы стремительно захватывают самые разные области человеческой деятельности. Нельзя недооценивать их влияние на развитие мировой цивилизации. 70-80 лет назад физический труд человека был самым ценным активом предприятий того времени. Но сейчас, все больше и больше компаний внедряют роботизированные системы в свое производство. Если рассматривать в малых масштабах, то основная выгода производству от роботов – это более высокое качество изделий, работа 24 часа в сутки и 7 дней в неделю в зависимости от требуемых мощностей. А в глобальном масштабе, повсеместное внедрение роботов даст человечеству возможность уделить свое время и внимание на развитие науки и культуры. Некоторые веяния приближающегося инновационного будущего можно заметить уже сейчас - в обществе самых развитых стран мира. Молодое поколение в таких странах стремится обучаться и работать в более наукоемких отраслях экономики своей страны, тем самым поддерживая свою страну на переднем рубеже технологического развития всего мира. В качестве примера, я рассмотрел США. По прогнозам некоторых ученых, уже в ближайшие десятилетия мир вступит в новую эпоху технологического развития как нанотехнологии, квантовые вычислительные устройства и биотехнологии. Именно сейчас у нас есть возможность попасть в ядро развития наукоемких технологий.

В настоящее время наибольшее распространение в области экстремальной робототехники получают мобильные роботы, которые применяются при чрезвычайных ситуациях. Такие роботы используются при поиске взрывчатых и радиоактивных веществ в составе мобильных роботизированных взрывчатых комплексов. Предпосылкой создания таких роботов послужило развитие атомной отрасли и авария на Чернобыльской АЭС, а второй причиной создания и принятие в эксплуатацию послужили события повышенной террористической угрозы в мире. Поэтому тема дипломного проекта является актуальной.

В настоящей работе рассматривается автоматизированный электропривод робота для проведения взрывотехнических мероприятий. Осуществлен расчет и выбор приводных электродвигателей транспортного средства и манипулятора, а также преобразователи с ШИМ модели PWSMUCH3. Проведены исследования динамики электропривода предлагаемого робота на виртуальной модели в среде Matlab.

В своей дипломной работе я опирался на исследования отечественных и западных ученых. Надеюсь, что в будущем мой дипломный проект послужит хорошей основой для будущих исследований студентов АУЭСа в области высокоточной робототехники и машиностроения.

## **1 Обзор робототехнических систем специального назначения и электроприводов**

Создание экономичных широкорегулируемых систем частотного управления на базе управления на базе электрических машин переменного тока является одной из важнейших задач современного электропривода и преобразовательной техники.

Проблема создания регулируемых источников питания наилучшим образом решается с помощью статических вентильных преобразователей.

В электроприводах небольшой мощности (от десятых долей до нескольких киловатт) преимущественное распространение получили преобразователи частоты с явно выраженным звеном постоянного тока, в основе которых лежат мостовые однофазные и трехфазные схемы.

Появление полупроводниковых приборов позволило создать достаточно надежные инверторы, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к преобразователям частоты систем электроприводов.

Наиболее простые схемы преобразователей частоты с явно выраженным звеном постоянного тока могут быть созданы на полностью управляемых полупроводниковых приборах, например тиристорах.

### **1.2 Общие принципы построения полупроводниковых преобразователей частоты для робототехнических систем специального назначения (РССН)**

Одной из самых важных частей электромашинной автоматики является полупроводниковый преобразователь частоты, он в большей мере определяет качество управления. Структура силовых цепей преобразователя оказывает основное влияние на технико-экономические показатели, динамические характеристики и диапазон регулирования.

Преобразователи, которые предназначены для машин, должны удовлетворять следующим требованиям.

1. Простота и максимальная надежность, которая не требует постоянного обслуживания.

2. Высокий коэффициент полезного действия, так как преобразователь управляет всем потоком энергии.

3. Внутреннее сопротивление должно не зависеть от режима работы машины, и обладать минимальным значением сопротивления, для сохранения естественных механических и регулировочных характеристик.

4. Напряжение на фазе приемника не должна содержать четные гармоники, а амплитуда высших гармоник тока в фазе должно быть малым.

5. По принятым в системе законам частота и напряжение должна быть изменяемой.



6. Коммутация тока во всем рабочем диапазоне частот и во всех режимах работы должна быть устойчивой.
7. Явление самовозбуждения в системе должна быть исключена.
8. Допустимо чтобы преобразователи позволяли переход машины в генераторный режим или обеспечивали возможность динамического торможения и т.д.

Для того чтобы напряжение не увеличивалось при переключении и приборы не выходили из строя, закон коммутации в приборе должен быть таким, что активно-индуктивное сопротивление не меняла своего значения и не разрывалась. Ветви преобразователя должны обладать свойством двухсторонней симметричной проводимостью. Последнее достижимо шунтированием тиристора неуправляемым диодом. Исполнение этого требования дает возможность преобразования электромеханической энергии, как в прямом, так и в обратном направлении, что в свою очередь обеспечивает эффективное торможение в системе.

При увеличении момента на сопротивлении вала в системе цепи электропривода возможны колебания. Поэтому полупроводниковые устройства каскада выхода защищаются от перегрузок по току. Защита по току должна мгновенно отвечать на перегрузки в цепи преобразователя.

### **1.3 Непрерывное регулирование напряжения с помощью управляемого выпрямителя или ШИР с силовым сглаживающим фильтром на выходе**

В подобной ситуации инвертор питается от трехфазной сети переменного тока с помощью управляемого выпрямителя УВ, на выходе у которого установлен силовой сглаживающий фильтр Ф.

На блок формирования переключающих импульсов УВ и на генератор переменной частоты воздействует напряжение управления. Эти импульсы на выходе ГПЧ преобразовываются в трехфазное или шестифазное напряжение прямоугольной формы. Инвертор, в этом случае – это трехфазная мостовая схема с углом горения вентиляей.

Когда инвертор питается от сети промышленной частоты через УВ, ток в питающей цепи коммутируется с низкой частотой, которая в свою очередь влияет на размеры и вес сглаживающего фильтра. Такие условия работы в системе ПЧАД неблагоприятны. В электрических машинах с частотным управлением напряжение на выходе изменяется дискретно или по довольно сложному периодическому закону, которое способствует появлению колебаний напряжения и тока в системе. Силовой фильтр в цепи питания может привести к тому, что регулятор напряжения фактически становится колебательным или инерционным звеном, которое в системе автоматического регулирования крайне не желательна. У УВ есть несколько недостатков: неудовлетворительный баланс активной и реактивной мощности в цепи

переменного тока. Что в результате приводит к увеличению габаритов трансформатора выпрямителя.

#### **1.4 Широтно-импульсное регулирование напряжения на основной частоте**

В таком случае частота переключения полупроводникового прибора схемы инвертора, которая выполняет регулировочные функции напряжения, равна основной частоте преобразователя. У всех систем с ШИР напряжения есть зависимость гармоник выходного напряжения, что обуславливается кратностью изменения частоты в системе, причем эти изменения есть результат низкочастотных составных спектра.

#### **1.5 Широтно-импульсное регулирование напряжения на несущей частоте**

В системе с ШИМ на несущей частоте элементы коммутации РН, которую можно совместить со схемой инвертора можно переключить с несущей частотой. Она превышает нормальную частоту в несколько раз. На фазе напряжение нагрузки выглядит как знакопеременные серии импульса по ширине.

ПЧ с автономным регулятором импульсов напряжения представляет собой сочетание полупроводниковых элементов импульсного регулятора с инверторной схемой.

В таком случае инвертор берет свое питание из моделированного по длительности импульсов напряжения постоянной частоты следования, чья относительная продолжительность меняется в зависимости от принятого закона регулирования напряжения.

Защита преобразователя от всевозможных перегрузок осуществляется за счет обратной связи по току в цепи питания инвертора. Во время перегрузок реле ограничения тока воздействует на модулятор так, что ток не превышает значения тока уставки реле. Скважность изменяется путем изменением длительности импульсов в реле.

Есть еще преобразователи с совмещенным регулятором с силовым тиристорным инвертором, который выполняет две функций: преобразование выпрямленного напряжения в переменное регулируемое по частоте, и также регулирование среднего значения напряжения за полупериод. При этом получают сложные переключающие импульсы, регулирующие работу полупроводниковых устройств инвертора. Полупроводниковые регуляторы напряжения без силовых сглаживающих фильтров или инверторов с ШИМ позволяют создать безынерционные ПЧ как по каналу управления частотой, так и по каналу управления напряжением.

## 1.6 Законы переключения полупроводниковых приборов и структура силовой цепи мостового инвертора напряжения

АИ напряжения - это преобразователь постоянного напряжения в переменное, также, он представляет из себя проводящий в обе стороны полупроводниковый элемент. АИ обеспечивает обмен реактивной энергией между источником и приемником.

Для широтного регулирования выходного напряжения транзисторы однофазного инвертора должны управляться двумя симметричными прямоугольными напряжениями. Управляющие напряжения создаются за счет генератора тактовых частот и модулятора длительности импульсов.

Таблица 1.1 – Технические характеристики транспортного средства

Параметр		Значение	
Размер	Длина, мм	1300	
	Ширина, мм	680	
	Высота, мм	Компактная форма	1100
		Вертикальное положение м-ра	2800
Горизонтальное положение м-ра		2400	
Собственный вес с манипулятором и аккумулятором, кг		360	
Максимальная скорость, м/с		0,83	
Подъемоспособность по ступеням		32°	
Максимальная загрузка (без манипулятора), кг		500	

Таблица 1.2 – Технические характеристики манипулятора

Параметр		Значение
Количество степеней свободы		6
Ход	Поворот башни	$\pm 205^\circ$
	Наклон верхнего плеча	$+140/-85^\circ$
	Наклон нижнего плеча	$+133/-110^\circ$
	Выдвижение нижнего плеча	390 мм
	Наклон схвата	$\pm 134^\circ$
	Ротация схвата	Не огр.
Скорость	Поворот башни, рад/с	0,178
	Наклон верхнего плеча, рад/с	0,178
	Наклон нижнего плеча, рад/с	0,178
	Наклон схвата, рад/с	0,062
	Ротация схвата, рад/с	0,419
	Выдвижение плеча, м/с	0,018
Сила сжатия губок схвата, Н		600
Максимальная нагрузка, кг		30

## 1.7 Определение технических параметров

Разрабатываемая робототехническая система (РС) предназначена для использования в составе мобильных роботизированных взрывотехнических комплексах (МРВК). Основной задачей РС является выявление, обследование взрывоопасного устройства, а также его транспортировка в безопасное место, для последующего перемещения или уничтожения. РС должна применяться как на открытом пространстве, так и в зданиях. Основными условиями применения в закрытых помещениях является мобильность или манёвренность, а также возможность преодоления лестничных маршей. Основные предъявляемые параметры для транспортного средства приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Параметры для разработки транспортного средства

Параметр	Значение
Максимальная скорость, м/с	0,8-1
Подъемоспособность по ступеням, градусы	35

В таблице приведены только 2 параметра – точные характеристики, предъявляемые к транспортному средству. Однако существуют другие характеристики, которые определяются на этапах разработки – это:

- длина;
- ширина;
- высота с манипулятором и без него, при различных положениях манипулятора;
- вес транспортного средства;
- грузочная способность.

Высота, длина, и ширина тележки зависят от веса и размеров рабочего органа. Эти параметры определяют устойчивость РС при перемещении по наклонным поверхностям и при работе манипулятора. Чем меньше каждый из установленных параметров, тем лучше мобильность и манёвренность робота, но меньше его устойчивость. При работе в замкнутых пространствах такой параметр, как ширина, определяет возможность прохождения дверных проёмов различной ширины. Вес тележки движителя зависит от многих составляющих. Основными из них являются используемые материалы, масса приводов, масса аккумуляторов. Максимальной нагрузкой транспортного средства является его грузоподъёмность без рабочего органа. Этот параметр зависит от веса и грузоподъёмности рабочего органа, а также дополнительной грузоподъёмности, которую может установить заказчик проекта.

Рабочий орган является главным функциональным устройством РС. Он обладает хорошей подвижностью, а также максимально большой рабочей зоной. Основными параметрами рабочего органа являются: максимальная грузоподъёмность, количество степеней свободы, величина и скорость передвижения по каждой степени.

Наиболее подходящей рабочей зоной (РЗ) является сферическая рабочая зона. РЗ робота приведена на рисунке 1.12. Радиусы  $R$  и  $r$  – это соответственно радиусы внутренней и внешней сфер ограничивающих рабочую зону.

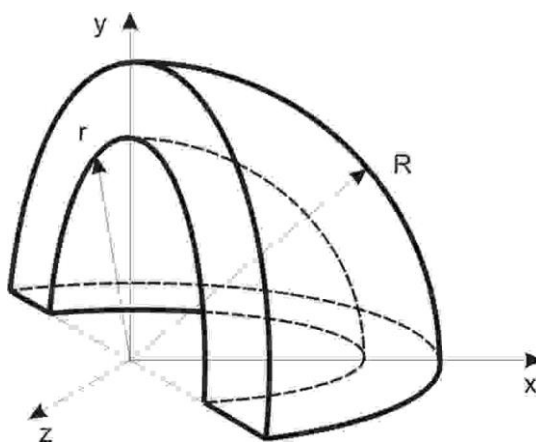


Рисунок 1.12 – Сферическая рабочая зона

Управление РСН осуществляется с пульта управления. Пульт управления может быть специально разработанное устройство или персональный компьютер. В данном случае, пультом управления является персональный компьютер и джойстик. Обмен данными между РС и блоком управления происходит через стандартный интерфейс компьютера RS-232. ПО компьютера представляет собой управляющую программу. Главной задачей этой программы является обеспечение человеко-машинного интерфейса. Таким образом, программа должна обеспечивать инструменты и функции для управления роботом, а также отображать информацию в требуемом виде. К такой информации можно отнести:

- данные о положении звеньев манипулятора;
- данные от различных датчиков: температуры, давления, влажности, газов и других типов.
- изображение, получаемое от телекамер.

Ранее были рассмотрены начальные параметры для разработки робота. Все эти условия определяются заказчиком и уточняются в течении всего проектирования.

## 1.8 Функциональная схема робота

В разделе 1.2 были рассмотрены роботы, используемые в мобильных роботизированных взрывотехнических комплексах. Из всего выше сказанного следует, что эти роботы имеют похожую структуру, набор инструментов, а также манипулятор с уже отработанной кинематической схемой. Независимо от технологических параметров робота, как полноценная система, может быть представлен тремя составляющими:

- сам робот;
- система энергоснабжения;
- блок управления.

Помимо этих трёх составляющих в систему так же можно включить информационно-измерительную систему. При более глубоком рассмотрении данной системы видно, что измерительная система относится к системе управления роботом, а информационная система представляет связь между блоком управления и системой управления робота. На рисунке 1.13 показана структура системы робота, а также взаимосвязь между составляющими этой системы.

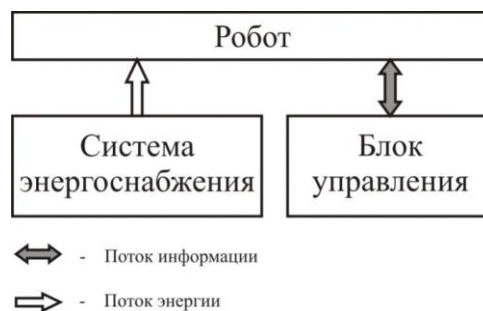


Рисунок 1.13 – Структурная схема системы робота

Как видно из рисунка 1.13, система робота была разбита на отдельные подсистемы, отвечающие за какие-то определённые функции. Подобная декомпозиция позволяет разбить сложную систему на подсистемы и рассматривать их как независимые компоненты. В то же время такой способ представляет наглядную информацию о взаимосвязи таких компонент.

Система энергоснабжения выполняет функции получения, преобразования и распределения энергии. Данная система может получать энергию от различных источников. Это могут быть аккумуляторные батареи, генератор автомобиля или автономный генератор, работающий на топливе, а также от электросети зданий. Преобразование напряжения представляет собой преобразование из переменного в постоянный ток или наоборот. Под распределением напряжения понимается распределение напряжения по различным уровням, согласно характеристикам оборудования. В общем случае функциональная схема может быть представлена в виде, показанном на рисунке 1.14. Помимо функций электропитания робота система энергоснабжения может обеспечивать напряжением и блок управления.

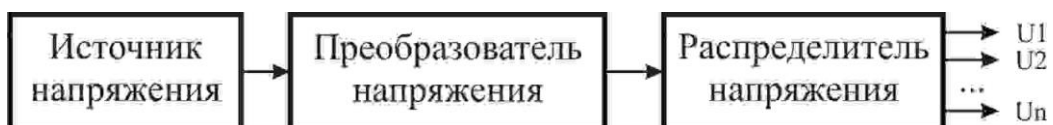


Рисунок 1.14 – Функциональная схема системы энергоснабжения

Робот условно можно разделить на две части: манипулятор и транспортное средство, функции управления которыми возложены на систему управления роботом. Упрощённо, взаимодействие этих компонентов можно описать следующим образом. Получив команды от блока управления, система управления роботом распределяет команды по исполнительным устройствам и подаёт им сигналы. Параллельно с процессом управления процесс сбора информации от датчиков и её дальнейшей передачи к блоку управления. Конструктивно манипулятор закреплен на транспортном средстве, однако является отдельным устройством управления и может использоваться с другим транспортным средством. Учитывая этот факт, два этих устройства можно рассматривать независимо друг от друга.

Согласно технологическим требованиям транспортное средство является платформой с гусеничным приводом. Оно включает в себя корпус, который является несущей конструкцией всего робота. К нему крепятся ходовая часть, манипулятор, дополнительные средства, а также внутри корпуса располагается система управления роботом. Ходовая часть является гусеничной. Она включает электродвигатели, передаточный механизм, гусеничный механизм. Функциональная схема ходовой части представлена на рисунке 1.15.

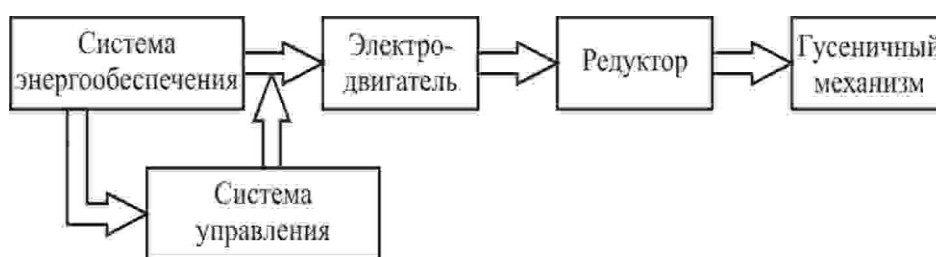


Рисунок 1.15 – Функциональная схема ходовой части робота

Манипулятор представляет собой открытую кинематическую цепь, состоящую из звеньев, соединенных кинематическими парами. На конце манипулятора крепится схват, который служит для захвата объекта манипулирования. Наибольшее распространение получили манипуляторы с шестью степенями свободы. За каждую степень отвечает один модуль. Наиболее распространённой является следующая компоновка модулей:

- модуль поворота;
- модуль наклона плеча;
- модуль наклона предплечья;
- модуль выдвижения предплечья;
- модуль наклона схвата;
- модуль ротации схвата.

На рисунке 1.16 показано схематическое изображение манипулятора, состоящего из выше описанных модулей, и закрепленного на транспортном средстве.

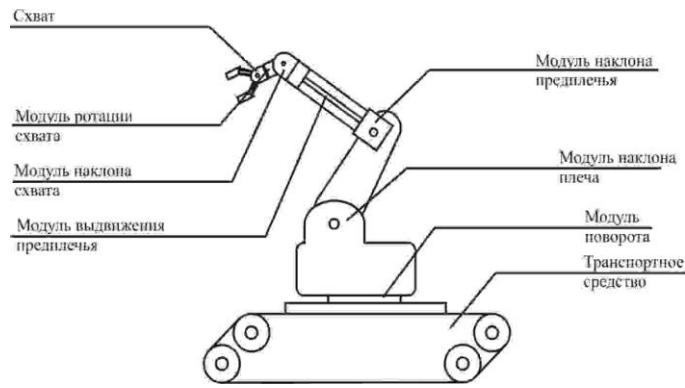


Рисунок 1.16 – Модули манипулятора робота

Функционально манипулятор можно представить, как последовательное соединение блоков действующих на следующий блок. Блоки звеньев соединены между собой редукторами. Звено с редуктором представляют механическую часть мехатронного модуля движения. Функциональная схема этого модуля движения представлена на рисунке 1.17.

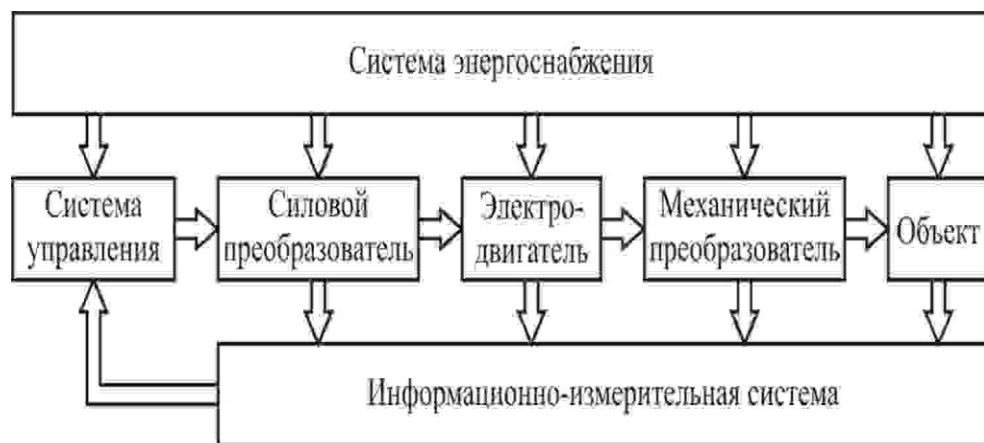


Рисунок 1.17 – электромеханический мехатронный модуль

Схема, приведённая на рисунке 1.17, является обобщенной. Силовой преобразователь, который является гальванической развязкой между системой управления и напряжением питания двигателя, может входить в систему управления. Механический преобразователь преобразует движение, например, из вращательного в поступательное. Объектом может быть как предмет манипулирования, так и следующий модуль манипулятора.

Систему управления роботом можно представить в виде отдельных модулей, которые несут определённую функциональную нагрузку. В неё входят:

- модуль обмена данными;
- модуль управления приводом;



- модуль информационно-измерительной системы;
- силовой модуль.

Модуль обмена данными выполняет функцию обмена информацией с блоком управления. Также в его функции входит распределение полученной информации и её передача модулю управления приводами и приём данных от информационно-измерительной системы. Функции передачи информации выполняет микроконтроллер, который имеет модуль какого-либо интерфейса обмена данными. Это могут быть UART, USB, SPI и параллельный интерфейс. Модуль управления приводами выполняет функции запуска, остановки, реверса, изменения скорости привода. В его задача состоит в формировании управляющих сигналов для силового модуля. Также модуль управления приводами может отвечать за сбор информации от датчиков перемещения, скорости, ускорения. Информационно-измерительная система выполняет функции получения информации от датчиков и её передачи модулю обмена данными. Задачей силового модуля является гальваническая развязка между модулем управления приводами и цепью питания электродвигателей. Функциональная схема системы управления приведена на рисунке 1.18.



Рисунок 1.18 – Функциональная схема системы управления

В таких модулях как, модуль обмена данными, управления приводами, информационно-измерительной системе, могут присутствовать один или несколько микроконтроллеров, такие системы управления называются мультипроцессорными.

Для управления транспортным средством используется H-образный мостовой преобразователь для управления двигателем постоянного тока. Управление H-образным мостом осуществляется за счет широтно-импульсного преобразователя, где используется широтно-импульсная модуляция. Эффективное управление ДПТ осуществляется за счет регулирования направления тока в цепи якоря двигателя. Метод ШИМ самый эффективный и самый выгодный, так как с его помощью мы не только сможем контролировать направление вращения якоря, но и плавно регулировать скорость вращения. Для управления роботом эти критерии являются самыми важными, потому что благодаря этому, робот будет просто и точно контролироваться одним оператором. Контроль скорости вращения будет осуществляться за счет изменения входного напряжения.

## 1.9 Управление электроприводом робототехнических систем способом широтно-импульсной модуляции

ШИМ широко применяются в робототехнике и в высокоточном производстве. Существует множество разных способов управления электроприводами, но самый простой и легкий способ - это широтно-импульсная модуляция. Управление двигателем осуществляется за счет управления шириной пульсаций. Изменением или модулированием длительностью этих пульсаций управляется скорость вращения якоря. Например, чем дольше длительность пульсации, тем быстрее вращается якорь, или наоборот, чем короче длительность, тем медленнее скорость вращения якоря двигателя. Другими словами, чем шире импульс, тем больше значение среднего напряжения подводимого к якорю двигателя, тем сильнее магнитный поток в якорной цепи и быстрее скорость вращения якоря.

1.9.1 Н-мост (инвертор). Н-мост – это силовая электрическая цепь, которая позволяет регулировать скорость и направление вращения двигателя. Вращение якоря ДПТ зависит от того, как к нему подключен источник питания т.е. полярность. Точнее, если мы хотим чтобы якорь двигателя вращался в прямом направлении, подключаем положительный вывод провода двигателя к положительному проводу источника питания, а отрицательный провод двигателя к отрицательному проводу источника питания. И наоборот, если мы хотим реверс вращения якоря двигателя, подключаем положительный провод источника питания к отрицательному проводу вывода цепи якоря, и отрицательный провод источника питания к положительному проводу вывода цепи якоря.

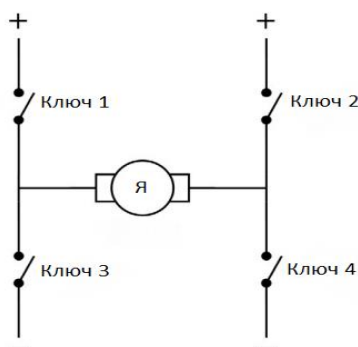


Рисунок 1.19 – Н-образная мостовая схема

Н-образная мостовая схема позволяет менять направления вращения якоря двигателя в обе стороны с минимальным количеством логических входных сигналов. Как показано на рисунке 1.7 при необходимости вращения двигателя в прямом направлении необходимо замкнуть ключ 1 и ключ 4.

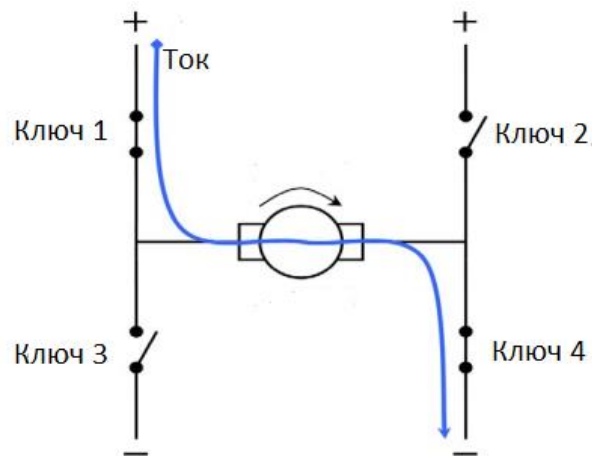


Рисунок 1.20 – Вращение якоря в прямом направлении

Если требуется обратное направление вращения двигателя, то ключи 1,4 размыкаются, замыкаются ключ 2 и ключ 3 (рисунок 1.21)

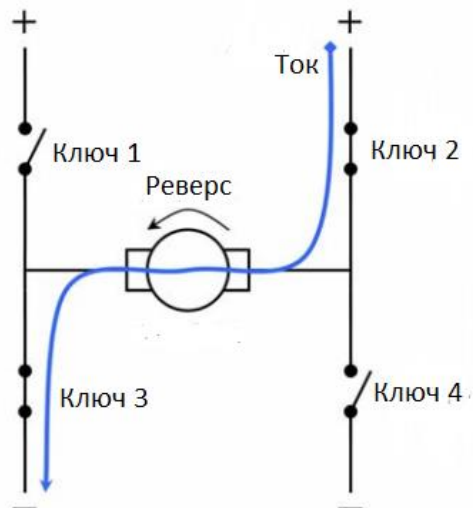


Рисунок 1.21 – Вращение якоря в обратном направлении

### 1.10 Постановка задач исследования

В данной дипломной работе мне предстоит рассчитать динамические характеристики кинематических цепей робота специального назначения, исходя из требуемых характеристик, которые были описаны ранее. Точнее, суммарная механическая нагрузка на манипулятор и на транспортное средство. По получившимся данным т.е. требуемым мощностям я должен подобрать электроприводы для манипулятора и транспортного средства. Исходя из мощности и класса напряжения электрических машин, требуется подобрать широтно-импульсные преобразователи для автоматизации системы управления роботом специального назначения. Получившиеся данные проверю в виртуальной модели MatlabSimulink. После сделаю раздел

безопасности жизнедеятельности, и технико-экономическое обоснование разработки робота специального назначения.

## 2 Разработка автоматизированного электропривода мобильного робота специального назначения

### 2.1 Кинематическая схема манипулятора

При выборе кинематической схемы манипулятора следует учитывать тип рабочей зоны манипулятора [4]. Однако манипуляторы роботов специального назначения не имеют определённой рабочей зоны. Основной же задачей при составлении кинематической схемы является манёвренность манипулятора. Поэтому решение этой задачи полностью зависит от разработчика.

Трёхмерная модель разрабатываемого робота представлена на рисунке 2.1 и состоит из модулей поворота, наклона плеча, наклона предплечья, выдвижения, наклона кисти и ротации.



Рисунок 2.1 – Трёхмерная модель робота

После выбора кинематической схемы производится расчет длин звеньев, согласно полученным перемещениям. Так как модули вращения не требуют расчета длин звеньев, то в данной схеме требуется определить только размеры модуля выдвижения. Для этого следует отдельно рассмотреть модуль выдвижения. Схема рассматриваемого модуля приведена на рисунке 2.2.

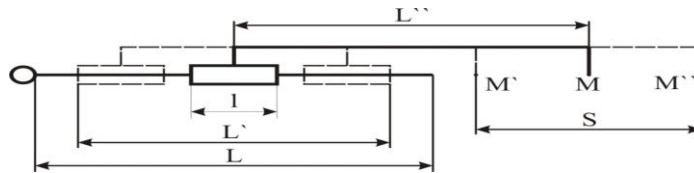


Рисунок 2.2 – Схема модуля выдвижения

Длина ползуна определяется как 0,1 от требуемого перемещения.

$$l = 0.1S = 0.1 \cdot 0.2 = 0.02 \text{ м.} \quad (2.1)$$

Длины, указанные на рисунке 2.2 как  $L$ ,  $L'$  и  $L''$ , определяют полный размер направляющей, размер направляющей, включая длины ползунов, и размер звена подвижной части модуля. Эти размеры определяются по формулам 2.2, 2.3, 2.4 [8].

$$L' = 1.1S = 1.1 \cdot 0.2 = 0.22 \text{ м.} \quad (2.2)$$

$$L = 1.2S = 1.2 \cdot 0.2 = 0.24 \text{ м.} \quad (2.3)$$

$$L'' = 1.15S = 1.15 \cdot 0.2 = 0.23 \text{ м.} \quad (2.4)$$

Помимо рассчитываемых длин звеньев следует определить установленные длины звеньев. К таким звеньям относятся модули плеча, кисти и модуль ротации. В определённых случаях требуется учитывать размеры модуля поворота. В таблице 2.1 определены длины звеньев, требуемые в последующих расчетах.

## 2.2 Расчет мощности двигателя манипулятора. Выбор двигателя и преобразователя

2.2.1 Кинематический анализ манипулятора. В кинематике модулей манипуляторов используются следующие понятия:

- ход модуля;
- время срабатывания;
- время разгона;
- время торможения;
- быстродействие.

Таблица 2.1 – Длины звеньев манипулятора

Звено	Длина, м
Модуль плеча	0,6
Модуль предплечья (включая модуль выдвижения)	0,6
Модуль наклона кисти	0,07
Модуль ротации	0,03

При практическом расчёте кинематики считается, что время срабатывания модуля за время хода имеет три фазы:

- разгон;
- установившееся движение;
- торможение.

$$T = t_p + t_{уд} + t_m, \quad (2.5)$$

где  $t_p$  – время разгона,  $t_{уд}$  – время установившегося движения,  $t_m$  – время торможения ( $t_p > t_m$ ) [8].

Время срабатывания модуля и его фазы зависят от вида привода, от инерционных параметров, сил сопротивления и тормозного устройства. На графике скорости, показанном на рисунке 2.3, считается, что на разгоне и торможении имеет место линейное изменение скорости, на фазе установившегося движения скорость постоянна. В зависимости от типа привода выбираются коэффициенты времени разгона и торможения. Для электромеханического привода  $k_p = 0,2$  и  $k_T = 0,1$ .

$$k_p = \frac{t_p}{T}, \quad (2.6)$$

$$k_m = \frac{t_m}{T}. \quad (2.7)$$

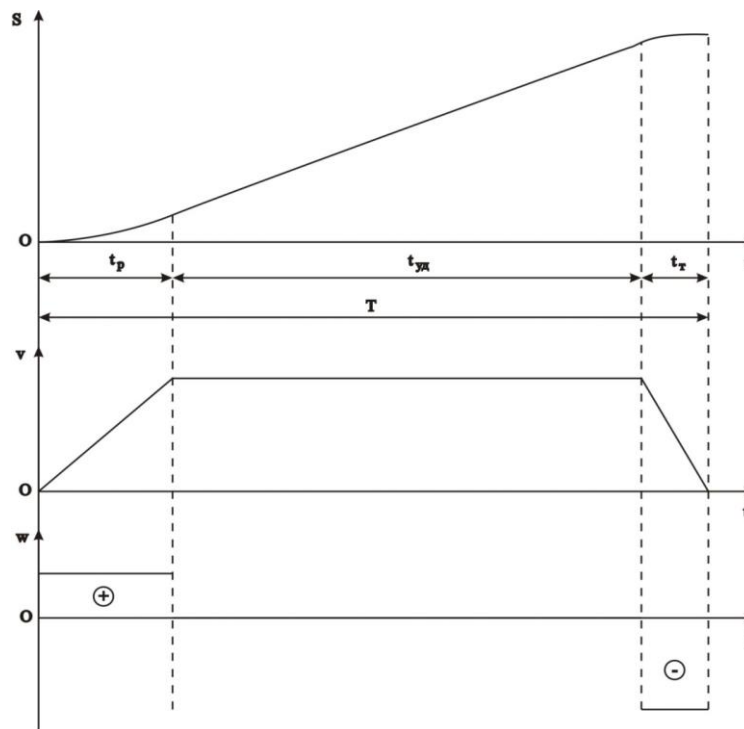


Рисунок 2.3 – График скорости

При практических расчётах скорости срабатывания модуля используют формулы 2.8 и 2.9, в которых учитывается время, затраченное на разгон и на торможение:

$$v = \frac{S}{T} \cdot \frac{1}{1 - 0.5(k_p + k_m)}, \quad (2.8)$$

$$\omega = \frac{\varphi}{T} \cdot \frac{1}{1 - 0.5(k_p + k_m)}, \quad (2.9)$$

где  $S$  – ход модуля поступательного движения,  $T$  – время срабатывания модуля,  $\varphi$  – угол поворота модуля вращения.

Для расчета ускорений также используются формулы, учитывающие время разгона и торможения, однако рассчитываются ускорение разгона и ускорение торможения, ускорение при установившемся движении равно нулю.

$$w_p = \frac{S}{T^2} \cdot \frac{1}{k_p [1 - 0.5(k_p + k_m)]}, \quad (2.10)$$

$$w_m = \frac{S}{T^2} \cdot \frac{1}{k_m [1 - 0.5(k_p + k_m)]}. \quad (2.11)$$

Также следует сказать, что большинство манипуляторов роботов специального назначения из рассматриваемой группы не обладают высоким быстродействием, так как процесс, при котором используется устройство, не требует больших скоростей, поэтому ускорения, а соответственно и динамические нагрузки – маленькие.

В результате проведения расчетов были получены данные, которые сведены в таблицу 2.2. В данной таблице определено наибольшее из ускорений разгона и торможения.

Таблица 2.2 – Результаты расчёта скоростей и ускорений

Модуль	Ход, рад, м	Время, с	Скорость, рад/с, м/с	Ускорение рад/с <sup>2</sup> , м/с <sup>2</sup>
Ротации	2π	50	0,148	0,03
Кисти	Π	72	0,051	0,007
Выдвижения	0,2	40	0,006	0,002
Предплечья	3,58	72	0,059	0,008
Плеча	2,8	64	0,52	0,008
Поворота	2π	100	0,74	0,007

2.2.2 Силовой анализ манипулятора. При силовом анализе манипулятора с открытой кинематической цепью определяются усилия в кинематических парах. Они соответствуют усилиям приводов манипулятора. Вследствие чего полученные данные будут использоваться при расчете и выборе электродвигателя для модуля выдвижения.

При силовом расчёте манипулятора в виде конструкции, состоящей из отдельных модулей, необходимо определить усилия, действующие на составные части модулей, с учётом их инерционных параметров и сил сопротивления при предварительно найденных усилиях в приводах [8].

Начальной задачей является определения схемы манипулятора, составленного из модулей. Данная схема манипулятора представлена на рисунке 2.4.

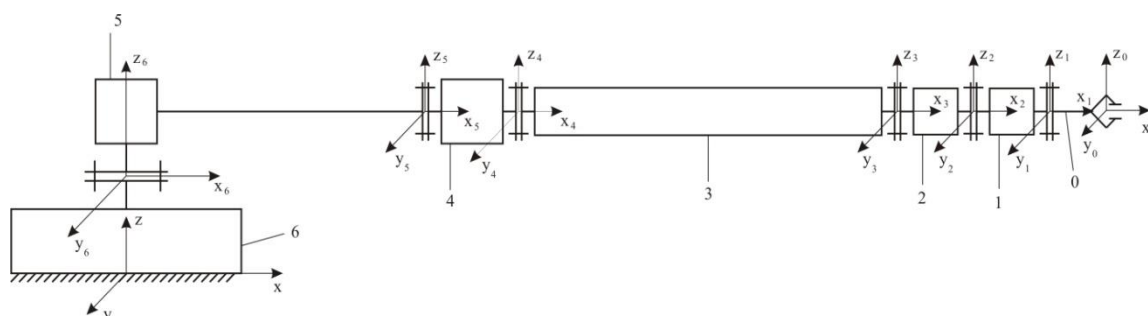


Рисунок 2.4 – Модульная схема манипулятора

На рисунке 2.4 цифрами обозначены следующие модули:

- 0 – схват;
- 1 – модуль ротации;
- 2 – модуль наклона кисти;
- 3 – модуль выдвижения;
- 4 – модуль наклона предплечья;
- 5 – модуль наклона плеча;
- 6 – модуль поворота.

В силовом анализе рассматривают каждый модуль, начиная со схвата манипулятора, и заканчивая последним модулем. Исходными данными для расчёта модуля являются нагрузка на входе модуля и инерционные нагрузки на подвижную и неподвижную часть модуля.

Входной нагрузкой является вектор-столбец  $P$ , включающий векторы главного момента  $M$  и главного вектора силы  $R$ :

$$\bar{P} = \begin{vmatrix} P_x & P_y & P_z & P_\alpha & P_\beta & P_\gamma \end{vmatrix}^T, \quad (2.12)$$



где  $P_x, P_y, P_z$  – проекции  $R$  на оси  $x, y, z$  соответственно;  $P_\alpha, P_\beta, P_\gamma$  – проекции главного момента  $M$  на оси  $x, y, z$ .

Инерционные нагрузки на подвижную и неподвижную части представляют собой вектора подобные вектору входной нагрузки.

$$\overline{H}^n = \left| H_x^n \quad H_y^n \quad H_z^n \quad H_\alpha^n \quad H_\beta^n \quad H_\gamma^n \right|^T, \quad (2.13)$$

$$\overline{H}^n = \left| H_x^n \quad H_y^n \quad H_z^n \quad H_\alpha^n \quad H_\beta^n \quad H_\gamma^n \right|^T. \quad (2.14)$$

Вектор выходной нагрузки имеет следующий вид:

$$\overline{P}_{i+1} = \overline{P}_i^p + \overline{P}_i^n + \overline{P}_i^h, \quad (2.15)$$

где  $\overline{P}_i^p$  – выходной вектор от нагрузки на входе модуля,  $\overline{P}_i^n$  – выходной вектор от сил инерции подвижной части модуля,  $\overline{P}_i^h$  – выходной вектор сил инерции от неподвижной части.

Описанные выше три вектора есть произведения входных нагрузок на матрицу преобразования, которая имеет следующий вид:

$$B_{i(i+1)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_i & -y_i & 1 & 0 & 0 \\ -z_i & 0 & x_i & 0 & 1 & 0 \\ y_i & -x_i & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (2.16)$$

Таким образом, сопоставляя формулы 2.15 и 2.16, получим полное выражение вектора выходной нагрузки  $\overline{P}_{i+1}$ :

$$\overline{P}_{i+1} = B_{i(i+1)}^p \overline{P}_i + B_{i(i+1)}^n \overline{H}_i^n + B_{i(i+1)}^h \overline{H}_i^h. \quad (2.17)$$

**2.2.3 Силовой анализ схвата.** Силовой расчёт схвата состоит из двух частей. На первом этапе определяется момент, создаваемый губками схвата для удержания объекта манипулирования. На втором же этапе рассчитывается выходная нагрузка от модуля схвата, которая является также входной нагрузкой следующего модуля, в данном случае модуля ротации.

Для удержания объекта губки схвата должны приложить такой момент  $M_3$ , чтобы преодолеть силы инерции от объекта, создаваемые вследствие

работы всех модулей манипулятора. Как видно из рисунка 2.5 момент  $M_z$  должен преодолеть силы, действующие по осям  $x$  и  $z$ .

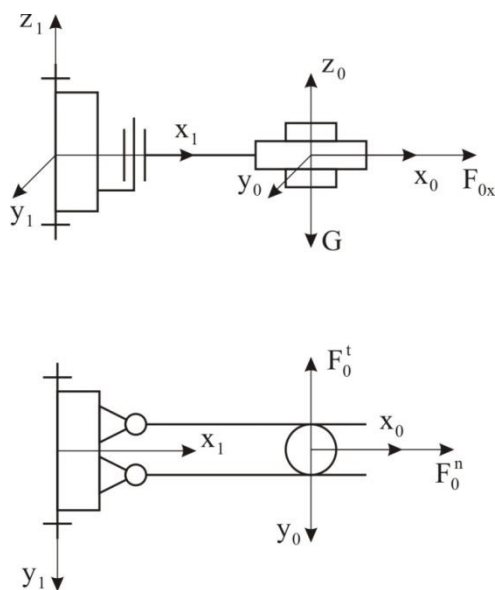


Рисунок 2.5 – Схема схвата

Соответственно момент  $M_z$  можно представить в виде двух моментов  $M_{zx}$  и  $M_{zz}$ , преодолевающих силы, действующие вдоль осей  $x$  и  $z$  соответственно:

$$M_z = M_{zx} + M_{zz}. \quad (2.18)$$

Момент  $M_{zx}$  вычисляется по формуле 2.19:

$$M_{zx} = \frac{(F_0^n + F_{0x})l}{f}, \quad (2.19)$$

где  $F_0^n$  - сила инерции объекта манипулирования, от центробежных ускорений модулей;  $F_{0x}$  - сила инерции, возникающая при работе модуля выдвижения;  $l$  - длина пальца схвата;  $f$  - коэффициент трения материала губок схвата.

Момент  $M_{zz}$  уравнивает силу тяжести объекта манипулирования и вычисляется следующим образом:

$$M_{zz} = \frac{Gl}{f} = \frac{mgl}{f}, \quad (2.20)$$

где  $G$  – сила тяжести объекта манипулирования,  $m$  – масса объекта,  $g$  – ускорение свободного падения.

Центробежная сила инерции  $F_0^n$  определяется:

$$F_0^n = m(x_{06}\omega_6^2 + x_{05}\omega_5^2 + x_{04}\omega_4^2 + x_{02}\omega_2^2). \quad (2.21)$$

Сила инерции от модуля выдвижения вычисляется следующим образом:

$$F_{0x} = mw_3. \quad (2.22)$$

В результате подстановки соответствующих значений в формулы 2.18-2.22 было получено значение момента, развиваемого губками схвата, для удержания объекта манипулирования  $M_3=73,66\text{Н}$ .

Вектор выходной нагрузки от модуля схвата определяется следующим образом:

$$\bar{P}_0 = \begin{pmatrix} P_{0x} \\ P_{0y} \\ P_{0z} \\ P_{0\alpha} \\ P_{0\beta} \\ P_{0\gamma} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m(x_{06}\omega_6^2 + x_{05}\omega_5^2 + x_{04}\omega_4^2 + w_3 + x_{02}\omega_2^2) \\ mx_{06}\varepsilon_6 \\ m(x_{05}\varepsilon_5 + x_{04}\varepsilon_4 + x_{02}\varepsilon_2) + G \\ \frac{2mR^2\varepsilon_1}{5} \\ Gx_{05} + mx_{05}^2\varepsilon_5 + mx_{04}^2\varepsilon_4 + mx_{02}^2\varepsilon_2 \\ mx_{06}^2\varepsilon_6 \end{pmatrix}. \quad (2.23)$$

При подстановке соответствующих значений был получен следующий результат:  $\bar{P}_0 = |0.0754 \ 0.0455 \ 49.1261 \ 0.0004 \ 63.7735 \ 0.0592|^T$ .

При первоначальных расчетах считается, что схват крепится к модулю ротации без каких-либо смещений, поэтому вектор выходной нагрузки  $\bar{P}_0$  модуля схвата совпадает с вектором входной нагрузки  $\bar{P}_1$  следующего модуля, т.е.  $\bar{P}_1 = \bar{P}_2$ .

Силовой анализ модулей манипулятора. При силовом анализе модуля ротации определяются нагрузки от сил инерции подвижной и неподвижной его частей, возникающие вследствие работы всех модулей. Нагрузка от сил инерции подвижной части имеет вид [8]:

$$\bar{H}_1^n = \begin{pmatrix} H_{1x}^n \\ H_{1y}^n \\ H_{1z}^n \\ H_{1\alpha}^n \\ H_{1\beta}^n \\ H_{1\gamma}^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_1^n(x_{16}\omega_6^2 + x_{15}\omega_5^2 + x_{14}\omega_4^2 + w_3 + x_{12}\omega_2^2) \\ m_1^n x_{16}\varepsilon_6 \\ m_1^n(x_{15}\varepsilon_5 + x_{14}\varepsilon_4 + x_{12}\varepsilon_2) \\ \frac{2m_1^n R_1^2 \varepsilon_1}{5} \\ m_1^n(x_{15}^2\varepsilon_5 + x_{14}^2\varepsilon_4 + x_{12}^2\varepsilon_2) \\ \frac{m_1^n x_{06}^2 \varepsilon_6}{3} \end{pmatrix}. \quad (2.24)$$

При подстановке соответствующих значений в формулу 2.24 был получен следующий результат:

$$\bar{H}_1^n = |0.0059 \quad 0.0036 \quad 0.0065 \quad 0.00002 \quad 0.007 \quad 0.0015|^T.$$

Согласно формуле 2.16 матрица перехода имеет вид:

$$B_{12}^n = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.03 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -0.03 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Точно такой же вид будет иметь матрица перехода для вектора входной нагрузки  $B_{12}^p = B_{12}^n$ .

Нагрузка от сил инерции неподвижной части определяется следующим способом:

$$\bar{H}_1^n = \begin{vmatrix} H_{1x}^n \\ H_{1y}^n \\ H_{1z}^n \\ H_{1\alpha}^n \\ H_{1\beta}^n \\ H_{1\gamma}^n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} m_1^n (x_{16}\omega_6^2 + x_{15}\omega_5^2 + x_{14}\omega_4^2 + w_3 + x_{12}\omega_2^2) \\ m_1^n x_{16}\varepsilon_6 \\ m_1^n (x_{15}\varepsilon_5 + x_{14}\varepsilon_4 + x_{12}\varepsilon_2) \\ \frac{2m_1^n R_1^{n2}\varepsilon_1}{5} \\ m_1^n (x_{15}^2\varepsilon_5 + x_{14}^2\varepsilon_4 + x_{12}^2\varepsilon_2) \\ \frac{m_1^n x_{06}^2\varepsilon_6}{3} \end{vmatrix}. \quad (2.25)$$

При подстановке соответствующих значений в формулу 2.25 был получен следующий результат:

$$\bar{H}_1^n = |0.0101 \quad 0.0071 \quad 0.0125 \quad 0 \quad 0.0132 \quad 0.003|^T.$$

Так как неподвижная часть крепится к модулю наклона кисти, то матрица преобразования  $B_{12}^n$  является единичной матрицей. Подставив полученные выше значения в выражение 2.17, получим следующий результат:

$$\bar{P}_2 = B_{12}^p \bar{P}_1 + B_{12}^n \bar{H}_1^n + B_{12}^n \bar{H}_1^n = |0.0914 \quad 0.0562 \quad 49.1451 \quad 0.0004 \quad 65.2677 \quad 0.0622|^T.$$

Вследствие того, что силовой анализ последующих модулей является подобным, ниже представлены только расчётные данные по каждому модулю.

Модуль наклона кисти:

$$\bar{H}_2^n = |0.0103 \quad 0.0062 \quad 0.0109 \quad 0 \quad 0.0115 \quad 0.0026|^T,$$

$$\bar{H}_2^n = |0.0139 \quad 0.0067 \quad 0.0115 \quad 0 \quad 0.0115 \quad 0.0027|^T,$$

$$\bar{P}_3 = |0.1156 \quad 0.0691 \quad 49.1675 \quad 0.0004 \quad 68.7322 \quad 0.0632|^T.$$

Модуль выдвигания:

$$\bar{H}_3^n = |0.0238 \quad 0.0143 \quad 0.0244 \quad 0 \quad 0.0245 \quad 0.0057|^T,$$

$$\bar{H}_3^n = |0.0139 \quad 0.0106 \quad 0.0155 \quad 0 \quad 0.011 \quad 0.003|^T,$$

$$\bar{P}_4 = |0.1533 \quad 0.094 \quad 49.2074 \quad 0.0004 \quad 98.2828 \quad 0.0276|^T.$$

Модуль наклона предплечья:

$$\bar{H}_4^n = |0.0049 \ 0.0042 \ 0.0048 \ 0 \ 0.0028 \ 0.0008|^T,$$

$$\bar{H}_4^n = |0.0049 \ 0.0042 \ 0.0048 \ 0 \ 0.0028 \ 0.0008|^T,$$

$$\bar{P}_5 = |0.1631 \ 0.01024 \ 49.217 \ 0.0004 \ 127.8186 \ 0.5398|^T.$$

Модуль наклона плеча:

$$\bar{H}_5^n = |0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.0048 \ 0.0017|^T,$$

$$\bar{H}_5^n = |0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.0001|^T,$$

$$\bar{P}_6 = |0.1631 \ 0.1024 \ 49.217 \ 0.0004 \ 127.8234 \ 0.5416|^T.$$

Выходная нагрузка от модуля наклона плеча является нагрузкой для модуля поворота манипулятора.

2.2.4 Механизмы выдвигания (МВ). Общая информация о передаче винт-гайка. Передача винт-гайка применяется в разнообразных машинах и механизмах для превращения вращательного движения в поступательное, во многих случаях эти передачи используются для получения большого выигрыша в силе. Достоинства передачи винт-гайка: возможность достижения медленного движения и сверхвысокой точности перемещения при простой, недорогой конструкции передачи, большая несущая способность и компактность. Недостаток передачи – низкий к.п.д. Передачу винт-гайка используют в различных машиностроительных конструкциях, например, как подъёмно-транспортные машины, станки, измерительные приборы, прокатные станы, винтовые прессы и другие [11].

По строению винт представляет из себя цилиндрический стержень с резьбой на большей части длины; гайку в большинстве случаев изготавливают в форме втулки с фланцем для осевого крепления. В отдельных передачах применяются винты и гайки чуть более сложной конструкции. Соответственно передаточные винты резьбы должны обеспечить наименьшее трение между винтом и гайкой.

Для передаточного винта применяется трапецеидальная резьба, которая получается фрезерованием. Трапецеидальная резьба изготавливается с мелким, средним и крупным шагами. Резьба с мелким шагом применяется для перемещения повышенной точности, а с крупным шагом – при тяжёлых условиях работы передачи (опасности повышенного износа). Резьба винта и гайки передачи в зависимости от назначения может быть правой или левой, однозаходной и многозаходной. Для самотормозящей передачи применяется однозаходная резьба.

Винт передачи без термообработки изготавливается из стали Ст45, 50 и других, а с закалкой – из стали Ст65Г, 40Х, 40ХГ и других. Для уменьшения трения и износа резьбы гайки передач изготавливаются из бронзы БрОФ10-1, БрОЦС6-6-3, БрАЖ9-4 и других. Для экономии бронзы гайки передач делаются биметаллическим (стальной или чугунный корпус заливается

бронзой). По тому же соображению гайки передач при небольших нагрузках и скоростях изготавливают из антифрикционного чугуна.

Передача винт-гайка выполняется: с вращающимся винтом и поступательным движением гайки; с вращающимся и одновременно поступательно перемещаемым винтом; с вращающейся гайкой и поступательным движением винта. Существуют передачи других конструкций, такие как телескопическая с двумя винтовыми парами. Применяются передача винт-гайка, в которой трение скольжения заменено трением качения. Такая передача состоит из винта, гайки и шариков, заполняющих пространство между впадинами резьбы. Перемещение шариков происходит по замкнутому каналу, соединяющему первый и последний витки резьбы гайки. Разные конструкции шариковых винтовых пар отличаются профилем резьбы и расположением канала для шариков. Достоинства шариковых винтовых пар: высокий к.п.д. (до  $\eta=0,9$ ), возможность полного устранения осевого и радиального зазоров.

2.2.5 Расчёт винтов и гаек передач. В качестве критерия износостойкости резьбы винтовой пары принимают давление  $q$  между резьбами винта и гайки, которое не должно превышать допускаемого  $[q]$ , зависящего от материалов винтовой пары и условий её эксплуатации [11]. Условие износостойкости:

$$q = \frac{F}{\pi d_2 h z_g}, \quad (2.26)$$

где  $F$  – осевая сила, действующая на винт и гайку;  $d_2$  - средний диаметр резьбы;  $h$  – рабочая высота профиля резьбы;  $z_g$  - число витков резьбы гайки.

Рабочая высота  $h$  профиля для квадратной и трапецеидальной резьбы определяется как:

$$h = 0.5P, \quad (2.27)$$

где  $P$  - шаг резьбы.

Число витков резьбы  $z_g$  гайки связано с её высотой  $H$  и шагом резьбы соотношением:

$$z_g = \frac{H}{P}. \quad (2.28)$$

После подстановки в формулу 2.26 значений  $h$  и  $z_g$  из формул 2.27 и 2.28 получим:

$$q = \frac{2F}{\pi d_2 H} \leq [q]. \quad (2.29)$$

При проектировочном расчёте винта и гайки на износостойкость резьбы пользуются формулой:

$$d_2 = \sqrt{\frac{2F}{\pi k[q]}}, \quad (2.30)$$

Полученной из формулы 2.29 заменой  $H = kd_2$ , где  $k = 1.2 \div 2.5$  для цельных гаек и  $k = 2.5 \div 3.5$  для разъёмных гаек; значение  $k$  тем больше, чем больше диаметр резьбы. Рекомендуют принимать для закалённой стали по бронзе  $[q] = 10 \div 13$  МПа (для нажимных винтов прокатных станков  $[q] = 15 \div 20$  МПа); для незакалённой стали по бронзе  $[q] = 8 \div 10$  МПа, для незакалённой стали по чугуноу  $[q] = 5 \div 6$  МПа. Формулы 2.29 и 2.30 относятся к винтам и гайкам с трапецеидальной и квадратной резьбой, но ими пользуются также при расчёте винтов и гаек с другими профилями резьбы.

По найденному значению среднего диаметра  $d_2$  для стандартной резьбы принимают размеры всех параметров резьбы: наружного диаметра  $d$ ; внутреннего диаметра  $d_1$ ; высоты профиля и шага резьбы.

Размеры квадратной резьбы определяют по формулам:

$$h = 0.1d_2,$$

$$d = d_2 + h,$$

$$d_1 = d_2 - h,$$

$$P = 2h.$$

Для всякой резьбы ход  $P_h$  и угол наклона  $\psi$ , который принимается по среднему диаметру резьбы  $d_2$ , определяют по формулам

$$P_h = nP,$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{P_h}{\pi d_2},$$

где  $n$  - число заходов резьбы.

Для сильно нагруженных винтов рекомендуется производить проверочный расчёт на прочность, на совместное действие кручения и растяжения (или сжатия), а в некоторых случаях и изгиба. Винт, работающий на растяжение и кручение, рассчитывают на прочность по гипотезе наибольших касательных напряжений:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\left(\frac{4F}{\pi d_1^2}\right)^2 + 4\left(\frac{T}{0.2d_1^3}\right)^2} \leq [\sigma_p], \quad (2.31)$$

где  $\sigma_{\text{экв}}$  - приведённое (эквивалентное) напряжение для опасной точки винта;  $[\sigma_p]$  - допускаемое напряжение на растяжение для винта;  $F$  - продольная сила;  $T$  - крутящий момент.

В ряде случаев крутящий момент в опасном сечении винта равен моменту  $T$  в резьбе, определяемому для прямоугольной резьбы

$$T = 0.5d_2 F \operatorname{tg}(\psi + \varphi),$$

для трапецеидальной и треугольной резьб по формуле:

$$T = 0.5d_2 F \operatorname{tg}(\psi + \varphi'),$$

где  $\varphi$  - угол трения, а  $\varphi'$  - приведённый угол трения:

$$\varphi' = \frac{\varphi}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)},$$

где  $\alpha$  - угол профиля резьбы. Для трапецеидальной резьбы  $\alpha = 30^\circ$  и, следовательно  $\varphi' = 1.04\varphi$ , а для стандартной треугольной резьбы  $\alpha = 60^\circ$  и  $\varphi' = 1.15\varphi$ .

Так как для трапецеидальной резьбы  $\varphi'$  мало отличается от  $\varphi$ , то при расчёте принимают  $\varphi' = \varphi$ . Угол трения  $\varphi$  определяется по формуле известной из теоретической механики:

$$\operatorname{tg} \varphi = f,$$

где  $f$  - коэффициент трения в резьбе, при слабой смазке для стали по бронзе  $f = 0.1$ , для стали по чугуноу  $f = 0.15$ .

Допускаемые напряжения на растяжение  $[\sigma_p]$  и сжатие  $[\sigma_c]$  для винтов передач:

$$[\sigma_p] = [\sigma_c] = \frac{\sigma_m}{3},$$

где  $\sigma_m$  - предел текучести материала винта.

Длинный винт, находящийся под действием сжимающей силы  $F$ , дополнительно проверяют на устойчивость (продольный изгиб):

$$F \leq \frac{\pi^2 EI}{[s_y](\mu l)^2}, \quad (2.32)$$

где  $E$  - модуль продольной упругости материала винта;  $I$  - приведённый момент инерции площади сечения винта;  $[s_y]$  - допускаемый коэффициент запаса устойчивости;  $[s_y] = 2.5 \div 4$  - для вертикальных,  $[s_y] = 3.5 \div 5$  - для горизонтальных винтов;  $\mu$  - коэффициент приведения длины винта, зависящий от типа его опорных закреплений; при одной жёсткой опоре винты домкратов  $\mu = 2$ ; при двух шарнирных опорах  $\mu = 1$ ; если одна опора жёсткая, а другая шарнирная, то  $\mu = 0.7$ ;  $l$  - свободная длина винта;  $\mu l$  - приведённая длина винта.

Приведённый момент площади сечения винта определяется как

$$I = \frac{\pi d_1^4}{64} \left( 0.4 + \frac{0.6d}{d_1} \right).$$



Формула 2.32 основана на формуле Эйлера для определения критической силы и, следовательно, применима при гибкости винта  $\lambda$  не ниже предельной  $\lambda \geq \lambda_{np}$

$$\lambda = \frac{\mu l}{i} \geq \lambda_{np},$$

где  $i$  - радиус инерции площади:

$$i = \sqrt{\frac{4I}{\pi d_1^2}}.$$

Для винтов из сталей Ст5, 40, 45, 50 при  $\lambda = 55 \div 90$  выполняют проверку на устойчивость:

$$F \leq \frac{\pi d_1^2}{4} \left( \frac{5890 - 38.2\lambda}{[s_y]} \right).$$

При  $\lambda \leq 55$  проверка на устойчивость не требуется.

Высота гайки определяется как

$$H = kd_2.$$

Наружный диаметр гайки  $D$  с округлением до целого числа миллиметров определяют из условия расчёта на растяжение с допущением, что вся сила  $F$  воспринимается той частью гайки, которая расположена вне фланца, условие прочности гайки на растяжение

$$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{F}{\sigma_p},$$

Откуда

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma_p]} + d^2}, \quad (2.33)$$

где  $[\sigma_p]$  - допускаемое напряжение на растяжение для гайки.

Наружный диаметр  $D_1$  фланца определяют из расчета на смятие

$$D_1 \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma_{cm}]} + D^2}, \quad (2.34)$$

где  $[\sigma_{cm}]$  - допускаемое напряжение на смятие.

Толщину фланца  $\delta$  определяют из условия прочности на срез:

$$\delta \geq \frac{F}{\pi D[\tau_c]}, \quad (2.35)$$

где  $[\tau_c]$  - допускаемое напряжение на срез для фланца гайки.

Рекомендуют принимать: для бронзы  $[\sigma_p] = 35 \div 45$  МПа; для чугуна  $[\sigma_p] = 20 \div 25$  МПа; для бронзы или чугуна по чугуну или стали  $[\sigma_{см}] = 35 \div 45$  МПа; для бронзы  $[\tau_c] = 20 \div 25$  МПа; для чугуна  $[\tau_c] = 20 \div 30$  МПа.

К.п.д. передачи винт гайка с некоторым приближением можно определить как к.п.д. винтовой пары: при прямоугольной резьбе по формуле

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\psi + \varphi)},$$

при трапецеидальной резьбе – по формуле

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\psi + \varphi')}.$$

В результате выполнения вычислений, описанных выше, были получены и сведены в таблицу 2.3 основные параметры передачи винт-гайка.

Таблица 2.3 – Параметры механизма выдвижения

Параметр	Значение
Средний диаметр резьбы винта, мм	8
Рабочая высота профиля, мм	0,8
Внешний диаметр резьбы, мм	8,8
Внутренний диаметр резьбы, мм	7,2
Шаг резьбы, мм	1,6
Продолжение таблицы 2.3	
Ход резьбы, мм	1,6
Угол подъёма резьбы, градусы	3,69°
Высота гайки, мм	20
Наружный диаметр гайки, мм	9
Наружный диаметр фланца, мм	9
Толщина фланца, мм	1

Также для винта был выбран материал – сталь Ст40ХСН2МА, а для гайки – бронза БрАЖ9-4.

В результате расчёта на прочность были получены следующие данные.  $\sigma_{экр} = 1,5$  МПа;  $[\sigma_p] = [\sigma_c] = 100$  МПа;  $[F] = 68,4$  Н;  $F = 49,17$  Н.

2.2.6 Выбор двигателя для манипулятора. Необходимая мощность двигателя определяется по формуле:

$$N = \frac{M\omega}{\eta_n}, \quad (2.36)$$

где  $M$  - движущий момент винта;  
 $\omega$  - угловая скорость вращения винта;  
 $\eta_n$  - к.п.д. винтовой передачи.

Момент  $M$  для данного манипулятора будет равен:

$$M = \sqrt{M_\alpha^2 + M_\beta^2 + M_\gamma^2},$$

где  $M_\alpha$ ,  $M_\beta$ ,  $M_\gamma$  - моменты относительно осей x, y, z от момента входной нагрузки.

$$M = \bar{P}_3 + \bar{H}_3^n;$$

Угловая скорость находится из соотношения

$$\omega = \frac{v}{P},$$

где  $v$  - скорость модуля выдвижения;

$P$  – шаг резьбы винтовой передачи.

К.п.д. передачи винт гайка определяется из соотношения

$$\eta_n = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\psi + \varphi)},$$

где  $\psi$  - угол подъёма резьбы передачи;

$\varphi$  - угол трения резьбы.

В итоге находим, что мощность двигателя необходимая для работы системы должна быть 287 Вт.

По результатам механических расчетов я выбрал электродвигатель 4ПБ100S1 УХЛ4 (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Электродвигатель независимого возбуждения 4ПБ100S1 УХЛ4

Таблица 2.4 – Паспортные данные электропривода

Модель	4ПБ100S1 УХЛ4
Вид	Общепромышленный
Тип электродвигателя	Постоянного тока
Серия	4ПБ100S1
Габарит (высота оси вращения),мм	100
Диаметр вала, мм	17
Напряжение	110
Номинальная мощность, кВт.	0,37
Частота вращения, об/мин	1000-4000
Класс защиты IP	44
Максимальная температура окружающей среды, °С	+35
КПД, η%	63
Cosφ	0,7

2.2.7 Для этого двигателя я выбрал широтно-импульсный преобразователь 110V 400W DC motor speed controller PWM MUCH3 spindle governor pump FAN (рисунок 2.7). Широтно-импульсный преобразователь на основе тиристоров мощностью 400Вт, классом напряжения 110В.

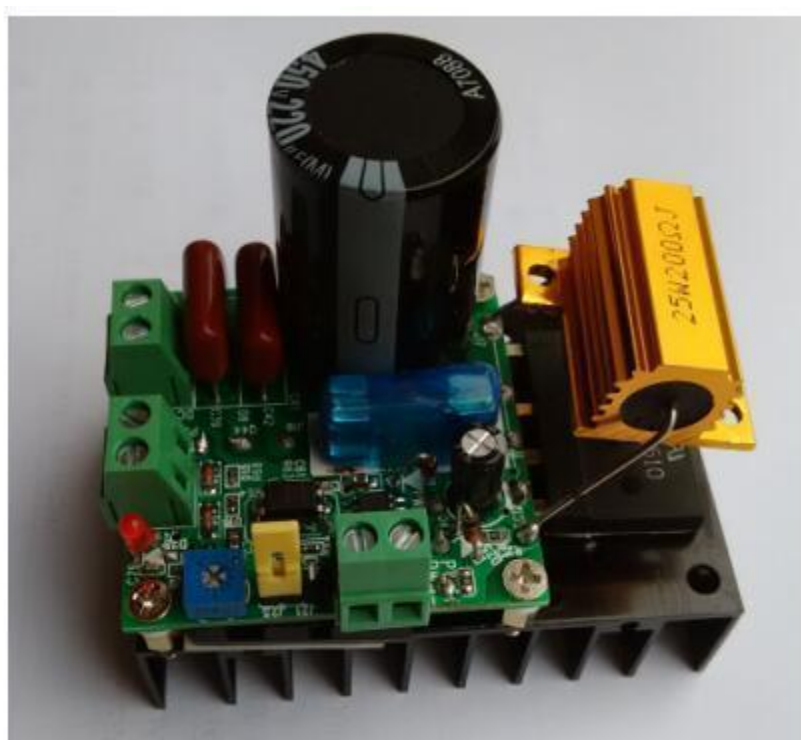


Рисунок 2.7 – 110V 400W DC motor speed controller PWM MUCH3 spindle governor pump FAN

## 2.3 Выбор двигателя и преобразователя ШИМ для транспортного средства

Мощность двигателя рассчитывается согласно формуле

$$N = \frac{Pv}{\eta_n \eta_z},$$

где  $P$  - движущая сила;

$v$  - окружная скорость гусениц;

$\eta_n$  - к.п.д. редуктора привода гусениц;

$\eta_z$  - к.п.д. гусеничной передачи.

При условии возможности подъёма робота по уклону в  $35^\circ$  движущая сила робота определяется следующим образом:

$$F_{\text{дв}} = \sqrt{\left(\frac{Gf \sin \alpha}{\cos \alpha}\right)^2 + \left(\frac{G + Gf \cos \alpha}{\sin \alpha}\right)^2},$$

где  $G$  - вес робота с догрузкой;

$f$  - коэффициент трения между гусеницами и поверхностью;

$\alpha$  - угол наклона подъёма.

Окружная скорость гусениц равна скорости движения транспортного средства. К.п.д. редуктора привода гусеницы равен 0.9, а к.п.д. гусеничной передачи – 0.96.

В результате расчётов была получена мощность двигателя, равная 1.1кВт.

### 2.3.1 Выбор электропривода транспортного средства.

По вышеуказанным механическим показателям мощности было принято решение выбрать двигатель постоянного тока независимого возбуждения ПБСТ 32 (1,2/1500-3750)



Рисунок 2.8-Электродвигатель ПБСТ 32

Таблица 2.5- Паспортные данные двигателя.

Модель	ПБСТ 32
Вид	Общепромышленный
Тип электродвигателя	Постоянного тока
Серия	ПБСТ
Габарит (высота оси вращения),мм	150
Диаметр вала, мм	28
Напряжение	110
Номинальная мощность, кВт.	1,2
Частота вращения, об/мин	1500-3750
Класс защиты IP	44
Максимальная температура окружающей среды, °С	+35
КПД, η%	79
Cosφ	0,75

Так как в паспорте двигателя указывают механическую мощность  $P_2 = 1,2 \text{ кВт}$ , нам нужно определить полную мощность двигателя для определения номинального значения тока  $I_{\text{ном}}$ .

$$I_{\text{ном}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (2.61)$$

$$S = \frac{P_1}{\cos\varphi} \quad (2.62)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.63)$$

Подставив значения в выражения (2.61),(2.62),(2.63) получим:  $I_{\text{ном}} = 10,5 \text{ А}$ .

2.3.2 Выбор ШИП для управления транспортным средством мобильного робота. Для управления двигателем ПБСТ 32, я выбрал широтно-импульсный преобразователь PWMMACH3 SPINDLE 110V . Рабочий диапазон 15÷160V.



Рисунок 2.9-Широтно-импульсный преобразователь PWMMACH3 SPINDLE 110V

Рассмотрим основные режимы работы электропривода с широтно-импульсным преобразователем, в котором (ИУМ) импульсное усиление мощности выполнен по схеме, указанной на рисунке 2.8 . Диаграмма работы ИУМ изображена на рисунке 2.9. Импульсы включения (рисунок 2.9,г) поступают с выхода УИ в моменты времени  $t_2, t_2+T_k, t_2+2T_k, \dots, t_2+nT_k$ , на два тиристора (например, на  $V1$  и  $V2$ ) одновременно. Импульсы включения одного из УВТ (рисунок 2.9,б) в момент времени  $t_1, t_1+T_k, \dots, t_2+2nT_k$ , а импульсы включения необходимо подавать на два рабочих тиристора одновременно как для возможности запуска ИУМ, так и для нормальной его работы в режиме прерывистых токов, когда наблюдается самопроизвольное выключения этих тиристорov. Напряжения источника прикладывается к якору двигателя только при включенном состоянии обоих тиристорov. При включении одного из тиристорov ток якоря замыкается через другой (открытый) тиристор и один из диодов обратного моста. При минимальной скважности импульсов на нагрузке относительное время включения рабочих тиристорov близко к 0,5. Частота принудительного выключения каждого рабочего тиристора вдвое ниже частоты такта.

Торможение электродвигателя осуществляется включением тиристорov  $V3, V4$  обеспечивающих реверс напряжения на якоре. Когда ток якоря достигает уровня токоограничения, прекращается поступление управляющих импульсов на рабочие тиристоры, и так как УВТ продолжают включаться независимо от режима силовой цепи, то тиристоры закрываются. Ток якоря в этом случае замыкается через диоды обратного моста и конденсатор фильтра  $C_\phi$ , в результате чего напряжение на конденсаторе возрастает выше напряжения источника  $U_p$ . Диод  $D5$  запирается.

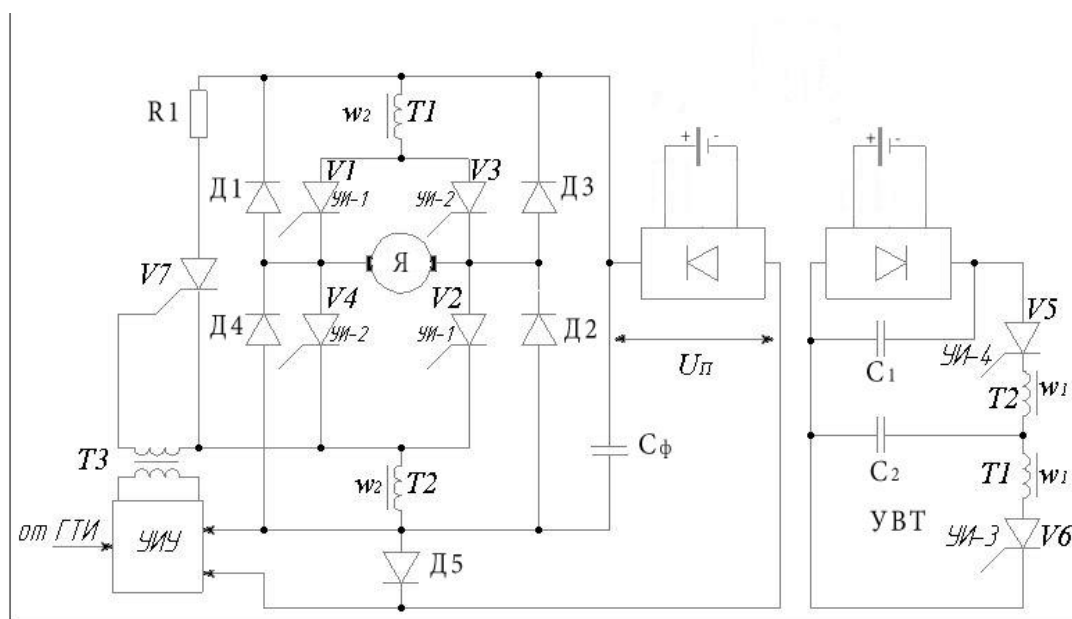


Рисунок 2.8-Импульсный усилитель мощности с поочередным законом коммутации

Обратное напряжение на диоде Д5 используется для открывания до этого момента закрытого управляемого импульсного усилителя (УИУ), включающего тиристор V7, с частотой коммутации якорной цепи. Конденсатор  $C_{\Phi}$  разряжается на резистор  $R_1$ . Тиристор V7 работает только с максимальной скважностью. Выключается он одним из трансформаторов УВТ.

Описанные режимы электропривода определяют функциональную схему преобразователя (рисунок 2.10). Тиристоры ИУМ попарно работают совершенно идентично и отдельно в зависимости от задаваемого направления вращения двигателя. Широтно-импульсный модулятор состоит из одинаковых пороговых устройств 1 и 2 и общего генератора тактовых импульсов ГТИ. Выходы пороговых устройств 1 и 2 связаны с импульсными усилителями УИ -1 и УИ-2, каждый из которых включает по два рабочих тиристора.

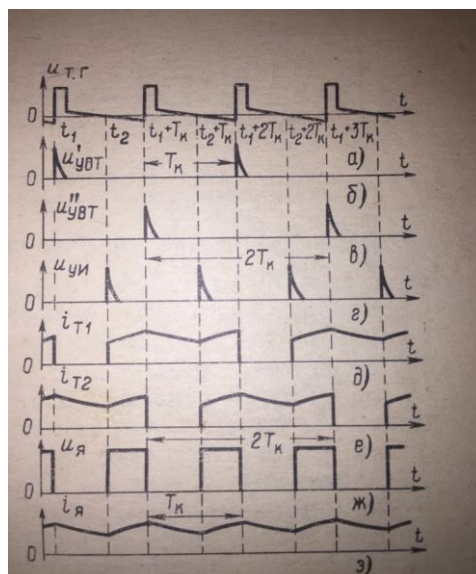


Рисунок 2.9-Диаграмма работы импульсного усилителя мощности

Для включения тиристоров УВТ используются также одинаковые усилители импульсов УИ-3, УИ-4, работающие от различных входов симметричного триггера подаются импульсы от ГТИ, генерируемые фронтом, (передним), прямоугольной составляющей опорного напряжения ШИМ (в моменты времени  $t_1, t_1+T_k$ ). Устройство токоограничения УТО воздействуют на входы пороговых устройств, закрывая их. Тактирующие импульсы на УИУ, генерируемые спадом прямоугольной составляющей опорного напряжения, поступают от ГТИ.



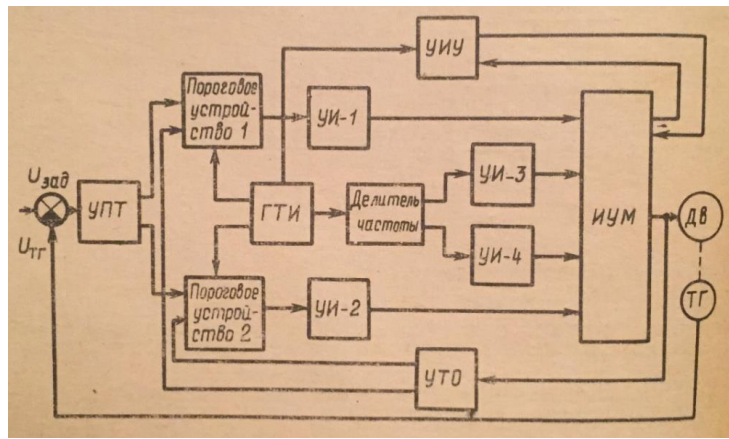


Рисунок 2.10 -Функциональная схема преобразователя

### 3 Исследование динамики электропривода робота специального назначения в среде MatlabSimulink

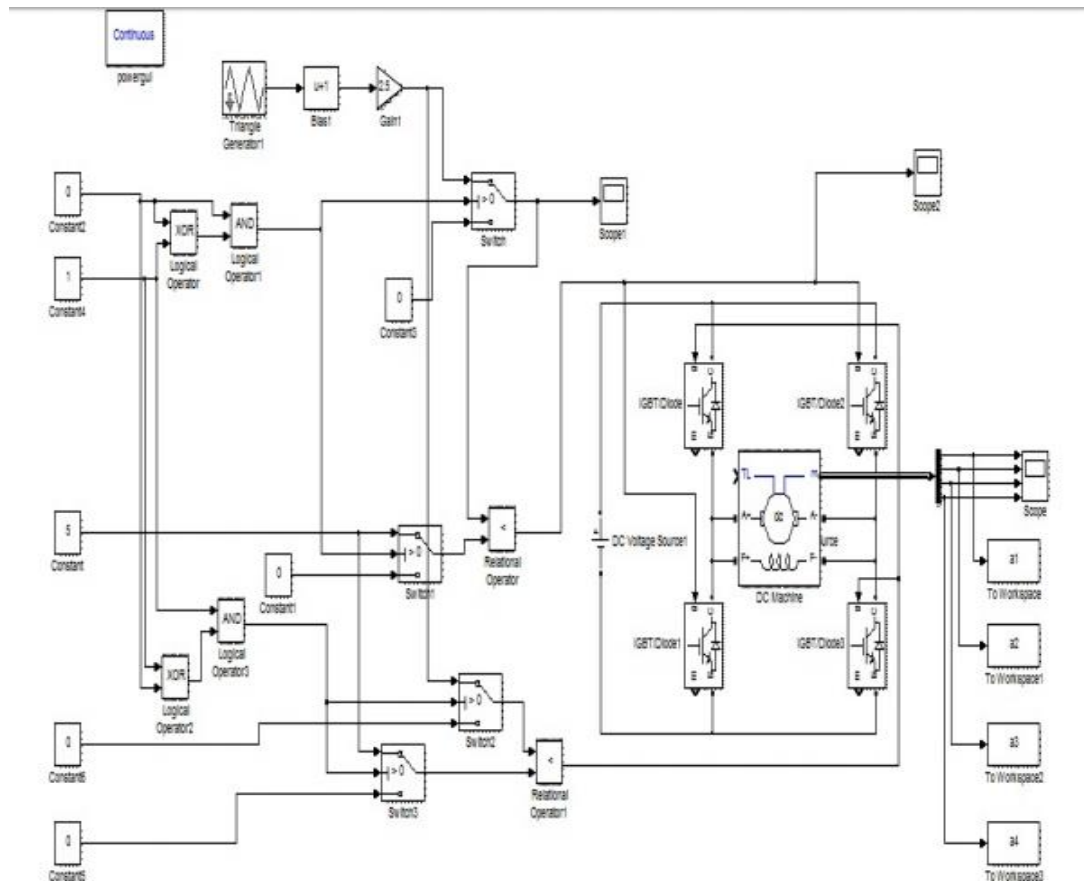


Рисунок 3.11 – Симуляция в программе Matlab

На рисунке 3.11 показана схема всей системы в среде Matlab. Модель собрана по принципиальной схеме которая показана на рисунке 2.9. Результаты данной операции указаны на рисунках ниже. Каждая диаграмма показывает разные параметры при прямом и реверсном вращениях.

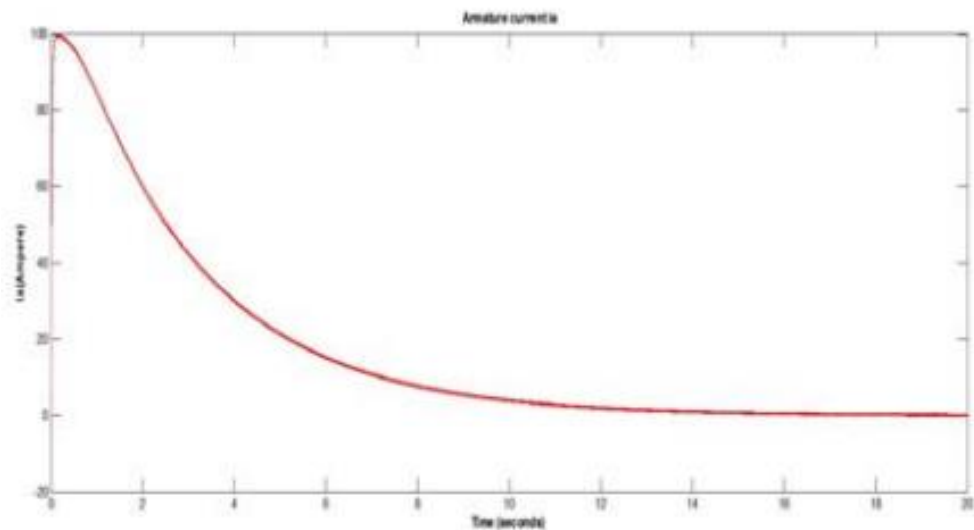


Рисунок 3.12 – Ток в цепи якоря при вращении в прямом направлении

На рисунках 3.12,3.13,3.14,3.15 показаны различные характеристики виртуальной модели широтно-импульсного преобразователя при прямом направлении вращения.

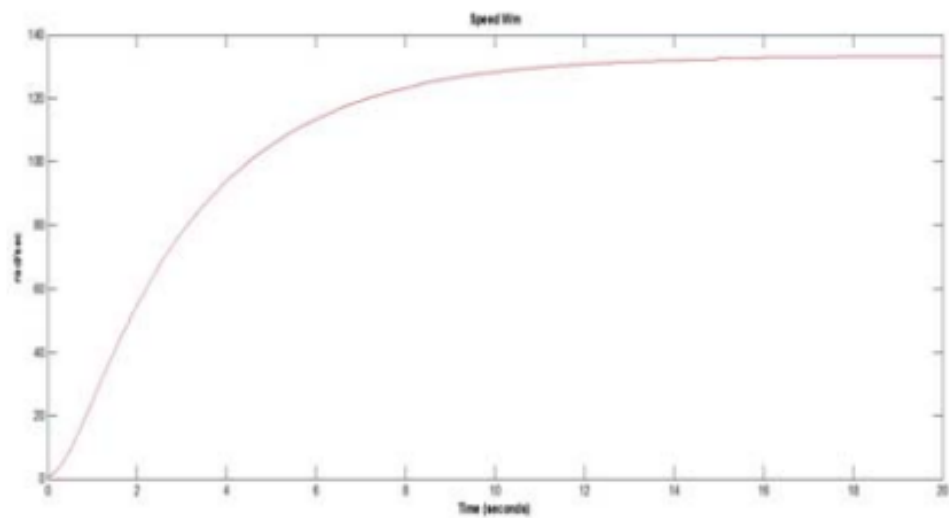


Рисунок 3.14 – Скорость вращения якоря

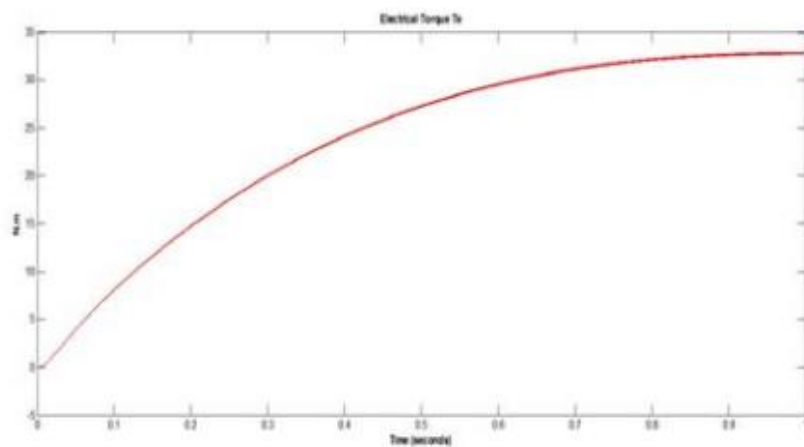


Рисунок 3.15 – Электромагнитный момент Н·м

В диаграммах 3.16,3.17,3.18,3.19 показаны различные параметры при реверсе электропривода.

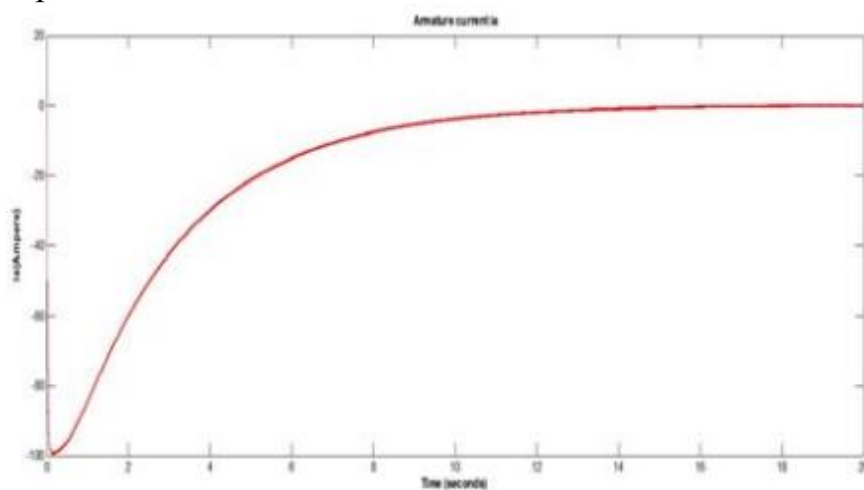


Рисунок 3.16 – Ток в цепи якоря

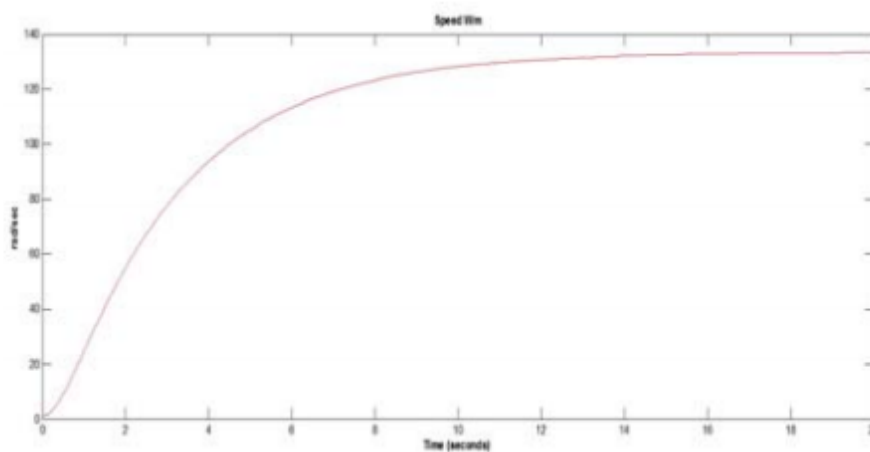


Рисунок 3.18 – Скорость вращения якоря

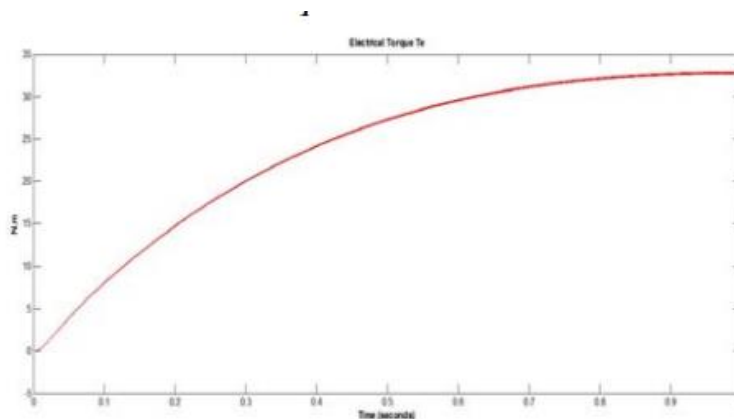


Рисунок 3.19 – Электромагнитный момент

По результатам симуляции математической модели системы видно, что теоретические расчеты были верны. Система удовлетворяет изначальные требования механических характеристик требуемых для управления роботом специального назначения.

## 4 Безопасность жизнедеятельности

### 4.1 Правила работы со взрывчатыми веществами

Самым главным требованием при обращении со взрывчаткой (ВВ) – это деликатность и максимальная аккуратность. Взрывчатка – это смесь химического состава, которая при внешнем воздействии способна к быстрому само-распространяющемуся химическому превращению, которая образует сильно нагретые газы обладающих большим давлением, они же и производят основную механическую работу. Взрыв – это распространение взрывчатки с большой переменной скоростью. Детонация – превращение взрывчатки, которая сопровождается прохождением ударной волны по ВВ и протекает с постоянной скоростью звука. Горение это процесс превращения взрыва, которая обусловлена перемещением энергии из одного слоя в другой способом теплопроводности. Горение происходит при скорости несколько сантиметров или метров в секунду. Инициирование – это побуждение ВВ к превращению.

ВВ можно распознать по нескольким признакам: по предназначению и по силе[32]. По предназначению ВВ распределяются на:

- иницирующие;
- металлообразные;
- бризантные.

По силе ВВ делятся на:

- большей мощности;
- нормированной мощности;

-униженной мощности.

По ГОСТу 19433-88 и §8, и другими нормативными, нормативными документами промышленно-взрывчатые материалы входят в состав класса 1. Класс 1 - взрывчатые материалы - подразделяется на подклассы, указанные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Подклассы взрывчатых материалов

Номер подкласса	Характеристика подкласса
1.1	ВМ, способные взрываться массой (взрыв, который одновременно охватывает весь груз)
1.2	ВМ, не взрывающиеся массой, но имеющие при взрыве опасность разбрасывания
1.3	ВМ, выделяющие при горении большое количество тепла или загорающиеся один за другим с незначительным эффектом взрыва или разбрасывания, или того и другого вместе
1.4	ВМ, представляющие незначительную опасность взрыва во время транспортирования только в случае воспламенения или инициирования. Действие взрыва ограничивается упаковкой
1.5	ВМ с опасностью взрыва массой, которые настолько нечувствительны, что при транспортировании не должно произойти инициирования или перехода от горения к детонации, а также изделия, содержащие только очень нечувствительные детонирующие вещества, не вызывающие случайного инициирования
1.6	ВМ, содержащие исключительно нечувствительные к детонации вещества, не взрывающиеся массой и характеризующиеся низкой вероятностью случайного инициирования

По возможной степени опасности при обращении с ними ВМ относятся к подразделению групп согласно 4.2.

Таблица 4.2 – Классификация ВМ по степени опасности

Группа совместимости	Описание классифицируемых ВМ
A	Иницирующие ВВ
B	Изделия, содержащие иницирующие ВВ
C	Метательные ВВ и другие дефлагрирующие ВВ или изделия, содержащие их
D	Вторичные детонирующие ВВ; дымный порох; изделия, содержащие детонирующие ВВ без средств инициирования и метательных зарядов
E	Изделия, содержащие вторичные детонирующие ВВ без средств инициирования, но с метательным зарядом (кроме содержащих легковоспламеняющуюся жидкость)
F	Изделия, содержащие вторичные детонирующие ВВ, средства инициирования и метательные заряды или без метательных зарядов

4.1.2 Важно следовать всем мерам безопасности перед обращением с ВВ и СВ. Во время работы с ВВ важно следовать этим правилам[19]:

- 1) важен строгий порядок и прецизионное выполнение следующих указаний;
- 2) все люди, задействованные в ПР должны быть осведомлены о ВВ и СВ, его свойства и обращение с ними;
- 3) в каждой отдельной должности назначается ответственное лицо офицер, который следит и отвечает за успех работы;
- 4) состав крепко должен усвоить, что ему необходимо делать и в какой последовательности;
- 5) абсолютно все движения должны быть выполнены по приказу и сигналу высшего;
- 6) личный состав должен хорошо знать сигнал;
- 7) знаки подаются при помощи разнообразных средств;
- 8) периметр возможного взрыва должен быть оцеплен специальными постами, которые отводят всех на расстояние в зависимости от вида подрывной деятельности;
- 9) прекращение и начало действий, и места всевозможных расстояний, по которым нужно отводить личный состав, указывает главный работник;
- 10) люди, свободные во время ПР, и посторонние не допускаются к работам;
- 11) заряды СВ и ВВ должны быть под охраной часовых;
- 12) СВ содержаться в раздельности с ВВ, а заряды в стороне от места подрывных действий;
- 13) ВВ и СВ выделяются только по приказу и разрешению;
- 14) в жилых помещениях строго запрещено использование ВВ и СВ;
- 15) Строго запрещено курение, разжигание костров на расстоянии ближе чем 99 метров;
- 16) к несработанным зарядам подходить по истечению 15 минут;
- 17) во время работы с ВВ спешка запрещена, а также запрещена всевозможное механическое воздействие;
- 18) железными инструментами ящики с ВВ открывать строго запрещено;
- 19) при электронных СВ нужно удостовериться о отсутствии электромагнитных излучений от ЛЭП и т.д.

## **4.2 Особенность процесса разминирования**

В XXI веке нельзя представить саперную бригаду без боевого робота сапера. Боевой робот сапер используется для выявления и уничтожения взрывчатого вещества.

Рассмотрим реальную ситуацию. На пульт дежурного ГУВД поступил сигнал об обнаружении подозрительного предмета. После уточнения деталей было принято решение отправить на место происшествия специалистов инженерно-саперного отдела. На вызов решили отправить инженерно-саперную бригаду во главе с капитаном Кузнецовым. Первым к опасной находке приближается робот. Подобных роботов принято называть саперами, однако большинство из них могут лишь помочь людям рассмотреть потенциально опасную находку с безопасного расстояния. Он должен открыть её и заглянуть внутрь максимально осторожно, чтобы не спровоцировать взрыв. Робот вездеход ТМ-3 высота 46см, длинна 61см, вес 24кг. Управление роботом осуществляется дистанционно, по радиоканалам или по проводам. Обзорность - две телекамеры поворачиваются в трех плоскостях. Температурный режим работы от -30 до +40С°. Колёсная формула 6×6, время автономной работы 75 минут. Сейчас основная работа ответить опасен этот предмет или нет. Роль человека намного более важная. По картинке передаваемой из камер робота сапера, инженера должны разглядеть что находится внутри коробки. По проводам и силуэту ВВ, сапер должен оценить потенциальную опасность представляемую самодельной бомбой. Самое опасное в самодельных взрывных устройствах, это то что по своей сути это уравнение с тремя неизвестными. А именно, какова разрушительная сила, чем она начинена, как может быть активирован взрыватель, то есть как бомба может быть приведена в действие и это главный вопрос, принцип взрывного устройства пока неизвестен, взрыв может прогреметь в любой момент. Если бомба имеет дистанционное управление, то злоумышленники могут подорвать на ней саперов. А если бомба начинена часовым механизмом, то неизвестно на какое время он установлен. И наконец бомба может взорваться просто от прикосновения. Чтобы саперу начать работать с опасной находкой, ему сперва придется надеть защитный костюм. Костюм сделан из жаропрочной ткани в которую вшиты пластины из кевлара и стали. Его общий вес 57кг. Для обезвреживания бомбы саперу понадобится: генератор радиопомех, портативный нелинейный локатор, сверхчувствительный газоанализатор и компактный рентгеновский аппарат. Сначала на расстоянии нескольких метров от предполагаемой бомбы устанавливается генератор радиопомех, это исключит возможность дистанционного подрыва по радиоканалу. Нелинейный локатор позволяет определить, есть ли электронные составляющие в коробке. Его главный минус ограниченный радиус действия. Но чтобы получить окончательный ответ саперу придется подойти еще ближе к коробке. Сейчас необходимо получить пробы воздуха, чтобы определить есть ли в коробке ВВ, сапер использует портативный газоанализатор. Он за 7 секунд определит есть ли в атмосфере возле бомбы молекулы ВВ. Их не сможет скрыть даже металлическая оболочка. Прибор показывает что это - бомба. Но каким образом она устроена сможет показать только рентгеновский аппарат. Сапер снова подходит к опасному предмету, его задача заключается в том, чтобы максимально близко установить рентгеновский аппарат. И вот

рентген приоткрывает тайны опасной находки. В коробке находится пластид, к нему присоединен взрыватель который связан с мобильным телефоном. Когда на телефон поступит сигнал вызова, электронная цепь замкнется. Источник питания батарейка в телефоне активирует взрыватель. В контейнере находятся болты - дополнительный поражающий элемент. При взрыве они разлетаются в разные стороны, увеличивая радиус поражения. Штаб операции решают нейтрализовать адскую машинку. Это делается с помощью гидрапушки. Она выстреливает пластиковым пакетом, в котором находится незамерзающая жидкость, тосол или антифриз. При выходе из ствола она разрывается и жидкость под давлением 500 атмосфер моментально разрушает объект. После выполненных процедур оперативники собирают все элементы разрушенной бомбы, чтобы проанализировать их и по возможности определить изготовителя.[33]

### 4.3 Оценка последствий

4.3.1 По необходимости согласования решения по обеспечению всевозможной безопасности от влияния ВУВ взрыва на здания, жилища, технологических приспособлений, а также на людей вырабатываются специальные техники безопасности, которые характеризуют поведения ВВ во время военных действий. Самые точнейшие сведения о взрывном расширении можно получать через лабораторные исследования. Иногда такой подход не всегда возможен к применению. Значит распространены рассчитываемые методы, которые позволили бы определить все параметры взрыва. Когда производится расчет использованы следующие параметры:

- вид и объем ВВ;
- параметр взрыва;
- дальность от взрыва до места оценки последствия;
- параметр ВУВ;
- уровень повреждения техники, зданий, а также конструкций.

Для таких условий изобретено и предоставлено в технической литературе всевозможные вариаций функциональных зависимостей, которые делают зависимыми между собой данные показатели. Определенный вид расчетных соотношений, выражающих эти зависимости, определимо условиями взрывного расширения, к которым относятся: вид ВВ, место взрыва, наличие ограждений, которые отражают ударную волну и прочие условия.

Другие авторы предлагают разные виды функциональных определений зависимостей тех же показателей, которые позволяют получить большую точность и простоту и многие другие преимущества проведения расчетов. Из этого следует что выбор того или иного соотношения для проведения возможных расчетов надо обратить внимание на систему ограничений, которые определяют возможности их использования.



Совокупность задач может быть разделена на две группы: задачи по прогнозированию последствий взрывов по количеству взрывчатых веществ, а также задачи решения количества по заданным последствиям взрыва ВВ.

Задачи по прогнозу подходят для ситуаций, когда взрыв еще не прогремел. В подобных задачах в виде исходных данных используют знания о количестве ВВ и о кондициях взрыва. В итоге расчетов должны получиться параметры УВ на определенном расстоянии от эпицентра, или же определение расстояния от места взрыва, при котором значения УВ могут иметь заданное значение.

Задачи исходных характеристик по которым надо найти результаты взрыва опираются на характеристики ВВ при обследований анализа. В подобных задачах известны условия взрывов, их места и степени разрушений по мере расстояния от центра. В результате должны быть известны количества опасных веществ, для их расчетов применяются те же функциональные зависимые переменные.

Количество опасных веществ измеряют в эквиваленте тротила. По этому эквивленту и производится расчет всех функциональных зависимостей взрыва. То есть количество высвобожденной энергии и т.д. Значение ТЭ определяется по соотношению:

$$M_T = kM_{ВВ} \quad (4.1)$$

где,  $M_{ВВ}$  - масса взрывчатого вещества;

$k$ - коэффициент приведения взрывчатого вещества к тротилу (см.таблицу 4.3).

Таблица 4.3

ВВ	Тротил	Тритонал	Гексоген	ТЭН	Аммонал	Порох	ТНПС	Тетрил
$k$	1,0	1,53	1,30	1,39	0,99	0,66	0,39	1,15

Формула 4.1 составлено для взрыва, при котором ударная волна распространяется во все стороны от точки взрыва беспрепятственно, в виде сферы. Очень часто на практике взрыв происходит на некоторой поверхности, например, на земле. В таком случае ударная волна распространяется в воздухе в виде полусферы.

Для взрывов на твердой поверхности вся выделившаяся энергия распространяется в пределах полусферы и, следовательно, значение массы взрывающегося вещества удваивается.

Во время взрыва на не абсолютно твердой поверхности, например, на грунте, часть энергии расходуется на образование воронки. Учет этого расхода выполняется с помощью коэффициента  $\eta$ , значения которого приведены в таблице 4.4. Чем меньше подстилающая поверхность позволяет затрачивать энергию на образование воронки, тем ближе коэффициента к 1.

Есть еще один случай, при взрыве в воздухе, здесь энергия распространяется беспрепятственно. В этом случае коэффициент равен 0,5.

$$M_T = 2\eta k M_{BB} \quad (4.2)$$

Таблица 4.4. Значения коэффициента  $\eta$ , учитывающего характер подстилающей поверхности.

Поверхность	Металл	Бетон	Асфальт	Дерево	Грунт
$\eta$	1.0	0.95	0.9	0.8	0.6

4.3.2 Закон подобия при взрывах. Вычисления параметров ударной волны основывается на использовании соотношения, связывающего параметры взрывов разной мощности. Таким соотношением является закон подобия кубического корня. Согласно этому закону значения параметров ударной волны для взрыва некоторой мощности можно пересчитать для взрывов других мощностей, пользуясь выражениями закона подобия:

$$R_2 = R_1 \sqrt[3]{\frac{M_{T2}}{M_{T1}}} \quad (4.3)$$

$$\tau_2 = \tau_1 \sqrt[3]{\frac{M_{T2}}{M_{T1}}}$$

где:  $R_1, R_2$ -расстояние от центров двух взрывов до некоторых точек 1 и 2, в которых параметры ударной волны этих взрывов равны между собой;

$M_{T2}, M_{T1}$ -эквиваленты массы зарядов приведенные к тротиловому;

$T_2, T_1$ - время с момента взрыва до прихода ударной волны в эти точки.

Выражение (3.3) можно представить в виде:

$$\frac{R_2}{\sqrt[3]{M_{T2}}} = \frac{R_1}{\sqrt[3]{M_{T1}}} = \frac{R}{\sqrt[3]{M_T}} = \bar{R} \quad (4.4)$$

где:  $\bar{R}$  - это приведенный радиус взрыва. Он широко используется в различных расчетных соотношениях для определения параметров ударной волны взрыва.

4.3.3 Оценка значения параметра ударной волны во время взрыва конденсированного ВВ. Излишнее давление  $\Delta P$  для свободно распространяющегося сферического ВУВ уменьшается по мере удаления от эпицентра взрыва. Посему расчет его значения в основном проводится на основании соотношения, в которой давление является функцией двух аргументов - объема ВВ и расстояния от места взрыва.[32]

Сложность разработки и последующего использования такого аналитического выражения определяется следующим обстоятельством. Скорость уменьшения значений  $\Delta P$  по мере удаления от места взрыва

изменяются за счет влияний на ударную волну среды, в которой она распределяется. Чем больше расстояние от места взрыва, тем сильнее искажается функция изменения давления на фронте ударной волны. Для двух ударных волн, которые при одинаковых условиях распространяются в некоторый момент времени имели одно и то же значение  $\Delta P$ , в последующие моменты значения  $\Delta P$  будут отличаться, если предпосылки распространения этих волн была разной. Следовательно, расчетные соотношения для определения значений  $\Delta P$  в эти следующие моменты также должны быть разными.

По понятным причинам в технической литературе представляется достаточно широкий диапазон расчетных соотношений для определения значений  $\Delta P$ , каждые из которых имеет свою область применения и назначение. Например, для воздушного взрыва, для наземного взрыва, для малых расстояний от места взрыва, для значительных расстояний от места взрыва, для относительно небольших зарядов ВВ, для крупных зарядов ВВ и т.д.

В дальнейшем будет использоваться одно базовое соотношение:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{84}{\bar{R}} + \frac{270}{\bar{R}^2} + \frac{700}{\bar{R}^3}, \text{кПа} \quad (4.5)$$

Где  $\bar{R}$  определяется из (4.2),(4.4).

Это равенство известно в технической литературе под наименованием "формула М.А. Садовского" и обширно применяется при проведении практического расчета как для наземного, так и для воздушного взрыва.

При необходимости решить обратную постановку, т.е. определять расстояние от места взрыва по заданному значению  $\Delta P_{\phi}$ , можно либо решать уравнение третьей степени (3.5) относительно  $\bar{R}$ , либо воспользоваться соотношением:

$$\bar{R} = \sqrt[3]{\left[1 + \frac{337}{\Delta P_{\phi}}\right]^2 - 1} \quad (4.6)$$

Формула (4.6) дает хорошее совпадение с результатами точного решения уравнения (4.5). Для значений  $\bar{R}$  в интервале от 2 до 12 ошибка не превышает 10%. При этом расхождение тем больше, чем больше  $\Delta P_{\phi}$ .

$$I = \int_0^{\tau+} \Delta P(t) dt = 0,4 \frac{\sqrt[3]{M_{T2}}}{R}, \text{кПа} \cdot \text{с}, \quad (4.7)$$

где  $\Delta P(t)$ -функция, характеризующая изменения избыточного давления на фронте ударной волны за период времени.

Кроме приведенных соотношений в технической литературе имеются соотношения для расчета значений и других параметров ударной волны:

максимального давления разряжения, длительности фазы разряжения, скорости распространения ударной волны, давления скоростного напора, температуры во фронте ударной волны, давления скоростного напора, температуры во фронте ударной волны и др.

Прямая постановка задачи

Определить избыточное давление, которое будет испытывать прибор, установленный на расстоянии 10 м от места взрыва 1 кг гексогена во взрывном устройстве, размещенном на грунте.

1. Определение тротилового эквивалента:

$$M_T = 2\eta k M_{BB} = 2 \cdot 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1 = 1,56 \text{ кг}$$

2. Определение  $\bar{R}$ :

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{M_T}} = \frac{10}{\sqrt[3]{1,56}} = 8,62$$

3. Определение  $\Delta P_\phi$ :

$$\Delta P_\phi = \frac{84}{\bar{R}} + \frac{270}{\bar{R}^2} + \frac{700}{\bar{R}^3} = \frac{84}{8,62} + \frac{270}{8,62^2} + \frac{700}{8,62^3} = 14,5 \text{ кПа}$$

Обратная постановка задачи

Определить максимальное расстояние, на котором допускается установить прибор, выдерживающий давление 14,5 кПа, от места взрыва 1 кг гексогена во взрывном устройстве, размещенном на грунте.

1. Определение  $\bar{R}$ :

$$\bar{R} = \sqrt[3]{\left[1 + \frac{337}{\Delta P_\phi}\right]^2 - 1} = \bar{R} = \sqrt[3]{\left[1 + \frac{337}{14,5}\right]^2 - 1} = 8,37$$

2. Определение тротилового эквивалента:

$$M_T = 2\eta k M_{BB} = 2 \cdot 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1 = 1,56 \text{ кг}$$

3. Определение R:

$$R = \bar{R} \sqrt[3]{1,56} = 9,7 \text{ м}$$

Из приведенных расчетов можно сделать вывод, что на расстоянии 10 м от эпицентра взрыва человек испытает 14,5 кПа давления ударной волны. Например, при 20-40 кПа человек получает серьезные ушибы, общую контузию, временное повреждение слуха.[32]. Подставив в формулы нужное давление ударной волны мы определим расстояние при котором на человека воздействует критическая величина давления. Так я вычислил, что при 7,9 м на человека воздействует 20 кПа.

## 5 Экономическая эффективность роботов специального назначения

### 5.1 Роль роботов в экономике производства

Развитие экономики любой страны сопровождается активным внедрением новых технологий. Современные предприятия для повышения конкурентоспособности и эффективности все больше внимания уделяют

модернизации производства. Важную роль в этом процессе играет применение робототехники. Тенденция увеличения парка роботов в современном промышленном производстве обусловлена рядом объективных факторов. Как правило, это увеличение производительности труда при сохранении высокого качества продукции и возможность быстрого реагирования на изменения объектов производства и потребительского рынка. Основными причинами использования робототехники являются:

- повышение точности выполнения технологических операций и, как следствие, улучшение качества;
- возможность использования технологического оборудования в три смены, 365 дней в году;
- рациональность использования производственных помещений;
- исключение влияния человеческого фактора на поточных производствах, а также при проведении монотонных работ, требующих высокой точности;
- исключение воздействия вредных факторов на персонал на производствах с повышенной опасностью;
- достаточно быстрая окупаемость.

Все выше приведённые факторы приводят к уменьшению затрат на обслуживание оборудования, сокращению времени технологического цикла, увеличению объёма выпускаемой продукции и улучшению её качества, что создаёт благоприятные условия для экономического и финансового развития предприятия. Однако из-за пока ещё высокой стоимости роботов их использование в сфере малого бизнеса экономически не выгодно.

Другая группа робототехнических систем, а именно системы экстремальной робототехники, не дают экономического эффекта. Причиной этому является узкая сфера использования роботов данного типа. В отличие от своих промышленных собратьев, они не выпускаются серийными партиями и в основном изготавливаются по единичным заказам, что приводит к их высокой стоимости. Поэтому проектирование и производство этих роботов ведётся на базе исследовательских институтов и промышленных предприятий, при поддержке соответствующих служб. Однако вместе с отсутствием экономического эффекта, роботы специального назначения имеют огромный социальный эффект, так как они используются в ситуациях, угрожающих здоровью и жизням людей. Жизнь человека бесценна, поэтому использования подобного оборудования является жизненной необходимостью. Мы живем во время нарастающей террористической угрозы. Террористы используют всевозможные методы устрашения. Одним из этих методов является минирование зданий, парков, а также мест с большим скоплением людей. Поэтому государство вынуждено использовать боевых роботов, чтобы уменьшить риск возможного подрыва личного состава саперной бригады.

Нельзя привести точный расчет экономической эффективности боевого робота сапера, но возможен подсчет предположительного материального ущерба частному или государственному имуществу после обезвреживания

бомбы роботом и саперной бригадой. Таким образом еще кое-как возможно вычислить пользу которую принес робот государственной казне. Такие расчеты не применяются на практике, так как это абстрактное экономическое рассуждение.

Однако при проектировании робота у нас есть возможность подобрать экономически более выгодные варианты составных частей, которые не сказались бы на технических характеристиках машины. В этом плане моей задачей является правильный выбор электродвигателя и микросхем. В нынешнее время у нас есть широкий выбор и того и другого, эти продукции предлагают ряд стран. Попробуем выделить самых лучших производителей электромеханических и микроконтроллерных установок.

Качественные электроприводы могут предложить Америка, Германия, Россия, Китай и конечно ряд Казахстанских компаний. За счет присутствия иностранных компаний в Казахстане существует высокая конкуренция, что благоприятно сказывается на стоимости и разнообразии выбора оборудования. По качеству изготовления электроприводы всех вышеуказанных стран производителей примерно на одном уровне. Но у Казахстанских и Российских производителей есть значительное преимущество в цене перед своими конкурентами. Этому способствует ряд факторов. Однако при тщательном поиске альтернативных вариантов я нашел более дешевые электроприводы поставляемые Казахстанской компанией АО "Электромонтаж" г.Шымкент. Стоимость электродвигателей этой компании начинается с 15000тг. Так как для нашего робота нужны маломощные двигатели, целесообразно будет купить у отечественного производителя.

Что касается электронной части сборки боевого робота скорее всего выбор падет на китайских производителей. Китайские микросхемы и микроконтроллеры остаются самыми дешевыми. Отзывы людей за последние 2 года на сайте Aliexpress говорят о том, что микроконтроллеры их производства весьма качественны и надежны. Источником данной информации является клуб любителей роботизированных систем города Алматы.

## **5.2 Расчёт затрат на разработку схемы управления и программного обеспечения**

Коммерческая стоимость разработки и отладки схемы управления и программного обеспечения  $C_{СП}$  рассчитывается согласно формуле (5.1):

$$C_{СП} = C_{МВ} + C_{МТ} + C_{ПРОЧ} , \quad (5.1)$$

где  $C_{СП}$  - коммерческая стоимость разработки;

$C_{MB}$  - заработная плата и социальные начисления разработчиков схемы управления;

$C_{MT}$  - затраты на материалы;

$C_{ПРОЧ}$  - прочие расходы.

5.2.1 Расчёт заработной платы и социальных отчислений разработчиков схемы управления. В разработке схемы управления требуется участие четырёх человек: одного руководителя-консультанта проекта, двух инженеров электронщиков и одного инженера электромеханика.

Установлены следующие выплаты разработчикам: руководитель проекта – 60000тг./мес.; инженер электронщик – 50000 тг./мес.; инженер электромеханик – 45000 тг./мес. Срок разработки системы управления составляет 6 месяцев.

Для расчёта затрат на заработную плату используется формула (5.2):

$$C_{ЗЭ} = C_{ЗП} \cdot M_p \cdot N, \quad (5.2)$$

где  $C_{ЗП}$  - заработная плата каждого специалиста, тг./мес.;

$M_p$  - срок разработки схемы управления, мес.;

$N$  - количество работников занятых в разработке, чел.

$$C_{ЗЭ} = 60000 \cdot 6 + 50000 \cdot 6 \cdot 2 + 45000 \cdot 6 = 1230000 \text{ тенге.}$$

$$C_{ОНЭ} = C_{ЗЭ} - НПФ - МРП = 1230000 - 0,1 \cdot 1230000 - 2121 \cdot 6 \cdot 4 = 1056096 \text{ тенге.}$$

Расчёт затрат по статье «Отчисления на социальные нужды» рассчитывается, как 20% от затрат на заработную плату разработчиков:

$$C_{СоцЭ} = 15 \cdot МРП \cdot 20\% + (C_{ОНЭ} - 15 \cdot МРП) \cdot 15\%, \quad (5.3)$$

где  $НПФ$  - взносы в накопительный пенсионный фонд;

$МРП$  - месячный расчётный показатель.

$$C_{СоцЭ} = 15 \cdot 2121 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 0,2 + (1056096 - 31815) \cdot 0,15 = 306354,15 \text{ тенге.}$$

5.2.2 Расчёт коммерческой стоимости разработки и отладки программного обеспечения (ПО). Группа исполнителей составляет три человека: руководителя группы и двух инженеров. Установлены следующие выплаты: руководитель – 57000 тг./мес.; инженер программист – 50000 тг./мес.

Для расчёта затрат на разработку и отладку ПО рассчитывается средневзвешенная ставка каждого специалиста. Расчёт заработной платы персонала организации  $C_3$ , непосредственно занятого в разработке программ осуществляется по формулам (5.4)-(5.6):

$$C_3 = K_3 \cdot T, \quad (5.4)$$

где  $K_3$  - средняя тарифная ставка специалиста организации, занимающегося разработкой ПО, тг./чел.дн.;  
 $T$  - трудоёмкость разработки ПО, чел.дн.

$$K_3 = \frac{\Phi_{ЗП}}{N \cdot \Phi_{РВ}}, \quad (5.5)$$

где  $\Phi_{ЗП}$  - фонд заработной платы организации, занимающейся разработкой ПО, за прошлый год, тенге;

$N$  - среднесписочная численность организации, занимающейся разработкой ПО, за прошлый год, чел.;

$\Phi_{РВ}$  - фонд рабочего времени одного сотрудника организации, занимающейся разработкой ПО, за предыдущий год, дней.

$$\Phi_{ЗП} = ЗП \cdot N \cdot M, \quad (5.6)$$

где  $ЗП$  - оклад одного сотрудника, тг./мес.;

$M$  - число месяцев в году.

Подставив требуемые значения в выражения (5.4)-(5.6), получим:

$$\Phi_{ЗП} = 57000 \cdot 12 + 2 \cdot 50000 \cdot 12 = 1884000 \text{ тенге,}$$

$$K_3 = \frac{1884000}{3 \cdot 260} = 2415,38 \text{ тг./чел.дн.}$$

Для вычисления трудоёмкости разработки ПО требуются коэффициенты, приведённые в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Коэффициенты, необходимые для вычислений

№	Название коэффициента	Значение коэффициента
1	Коэффициент новизны, $K_H$	1,00
2	Коэффициент сложности, $K_{СЛ}$	0,27
3	Коэффициент использования ПС ВТ, $K_T$	1,00
4	Коэффициент учитывающий язык программирования, $K_{ЯЗ}$	0,50

Затраты труда на разработку ПО сведены в таблицу 5.2. Они определяются в зависимости от объема ПО (тыс. условных машинных команд) с учетом сложности разрабатываемого ПО. Общий объем разрабатываемого ПО определяется суммой объемов всех функций.

Общий объем ПО, определенный для функций



101 (Организация ввода информации),  
 102 (Контроль, предварительная обработка и ввод информации),  
 203 (Формирование базы данных),  
 205 (Обработка наборов и записей базы данных),  
 206 (Обслуживание базы данных в интерактивном режиме),  
 302 (Сортировка файла),  
 305 (Обработка файлов),  
 506 (Обработка ошибочных и сбойных ситуаций),  
 706 (Предварительная обработка и печать файлов),  
 равен  $V_{\phi} = 4350$ .

Таблица 5.2 – Определение трудоемкости

№	Наименование трудоемкости	Формула	Значение трудоемкости, чел.Дн.
1	Затраты труда на разработку ПС, $T_p$ (0,2489 – коэффициент автоматизации)	$V_{\phi} \cdot 0,2489 \cdot K_{яз}$	541,36
2	Общая трудоемкость, $T_0$	$K_{сл} \cdot T_p$	146,17
3	Трудоемкость стадии «Техническое задание», $T_1$	$0,05 \cdot K_H \cdot T_0$	7,31
4	Трудоемкость стадии «Эскизный проект», $T_2$	$0,09 \cdot K_H \cdot T_0$	13,16
5	Трудоемкость стадии «Технический проект», $T_3$	$0,06 \cdot K_H \cdot T_0$	8,77
6	Трудоемкость стадии «Рабочий проект», $T_4$	$0,60 \cdot K_H \cdot K_T \cdot T_0$	87,7
7	Трудоемкость стадии «Внедрение», $T_5$	$0,20 \cdot K_H \cdot T_0$	29,23
8	Трудоемкость разработки ПС ВТ, $T$	$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$	146,17

Затраты на заработную плату  $C_{зв}$  в соответствии со значениями тарифной ставки и трудоемкости разработки ПО составляют:

$$C_3 = 146,17 \cdot 2415,38 = 353056 \text{ тенге.}$$

Расчет затрат по статье «Отчисления на социальные нужды» составляет:

$$C_{соцп} = (353056 - 35305,6 - 2121 \cdot 3) \cdot 0,2 = 62277,48 \text{ тенге.}$$

5.2.3 Стоимость элементной базы. К данному типу расходов относятся расходы необходимые на приобретение требуемых материалов, бумаги для проектирования схемы и программного обеспечения. Помимо этого в эту статью расходов входят затраты на приобретение и подготовку материалов специальной научно-технической информации, а также затраты на приобретение специальной учебной литературы. Расходы на элементную базу приведены в таблице 4.3.

Таблица 5.3 – Элементная база

Наименование материала	Годовая норма расхода материала	Цена за единицу, тенге	Общая стоимость, тенге
1. Программа MPLAB	1 шт.	1500	1500
2. Книга «Assembler для PIC16F87X»	1 шт.	1500	1500
3. Книга «Справочник по PIC-контроллерам»	1 шт.	1000	1000
4. Книга «Последовательные интерфейсы ПК»	1 шт.	1400	1400
5. Книга «Программирование в Delphi 7»	1 шт.	3700	3700
6. Бумага	4 пачки	650	2600
7. Port RS-232	1 шт.	250	250
8. Персональный компьютер	1 шт.	45000	45000
9. Датчик угла поворота	5 шт.	2000	10000
10. Датчик перемещения	1 шт.	1000	1000
11. Тахогенератор	2 шт.	2000	4000
12. Лампы	4 шт.	90	360
13. Контроллер PIC16F876	8 шт.	700	5600
14. Разъём DB-9F	1 шт.	60	60
15. Кабель	200 м	200	40000
Итого			116470

5.2.4 Расходы на монтаж и отладку. Для монтажа и отладки требуется два человека: для монтажа печатной платы и монтажа всей системы. Заработная плата рабочего за месяц составляет 35000 тенге. Срок монтажа и отладки системы составляет 15 дней. Расчёт расходов по заработной плате  $C_{ЗМ}$  вычисляется следующим образом:

$$C_{ЗМ} = \frac{ЗП_M}{D_M} \cdot D_P, \quad (5.7)$$

где  $ЗП_M$  - месячная заработная плата;

$D_M$  - количество рабочих дней в месяц;

$D_P$  - количество дней, требуемых на монтаж и отладку.

$$C_{ЗМ} = \frac{2 \cdot 35000}{22} \cdot 15 = 47727 \text{ тенге.}$$

Расходы по статье «Отчисления на социальные нужды» составляет:

$$C_{СоцМ} = (47727 - 4772,7 - 2121 \cdot 2) \cdot 0,2 = 7742 \text{ тенге.}$$

5.2.5 Расчёт затрат по статье «Прочие расходы». Для отладки программы необходимо рассчитать стоимость одного машинного часа. Расчёт затрат на машинное время находится согласно выражению:

$$C_M = K_M \cdot Z_M, \quad (5.8)$$

где  $K_M$  - тарифная стоимость одного часа машинного времени, принимается по плановой себестоимости часа машинного времени в организации, занимающейся разработкой ПО;

$Z_M$  - используемое машинное время на разработку ПО, час (1056 час);

Стоимость одного машинного часа находится по формуле:

$$K_M = \frac{\Phi_{ЗП} + C_A + C_{РЕМ} + C_{Э.Э.ЭВМ}}{\Phi_{ГОД}}, \quad (5.9)$$

где  $\Phi_{ЗП}$  - фонд заработной платы организации, занимающейся разработкой ПО;

$C_{Э.Э.ЭВМ}$  - затраты электроэнергии, потребляемой ПК, тг./год;

$C_{РЕМ}$  - затраты на ремонт ПК, тг./год;

$C_A$  - амортизация на ПК, тг./год;

$\Phi_{ГОД}$  - годовой фонд рабочего времени ЭВМ, час (2080\*3).

Затраты на электроэнергию рассчитываются следующим образом:

$$C_{Э.Э.ЭВМ} = W_{ПК} \cdot P_{ЭН} \cdot \Phi_{ГОД}, \quad (5.10)$$

где  $W_{ПК}$  - мощность ПК, 0,73 кВт/ч.;

$P_{ЭН}$  - стоимость электроэнергии.

$$C_{Э.Э.ЭВМ} = 0,73 \cdot 16 \cdot 6240 = 72883 \text{ тг./год}$$

Затраты на ремонт ПК составляют 9500 тг./год.

Расчет амортизации производится согласно нормы амортизации для ПК  $H_A = 12.5\%$  в год, соответственно:

$$C_A = H_A \cdot C_{ПК} = 0,125 \cdot 45000 \cdot 3 = 16875 \text{ тг./год},$$

где  $C_{ПК}$  - стоимость всех используемых ПК в разработке и отладке ПО.

При подстановке выше описанных значений стоимость одного машинного часа составит:

$$K_M = \frac{1884000 + 16875 + 9500 + 72883}{6240} = 317.829 \text{ тг./час}.$$

Затраты на машинное время составят согласно 5.8:

$$C_M = 317.829 \cdot 1056 = 335627.424 \text{ тенге}.$$

Расчёт затрат по статье «Накладные расходы» производится как 1,5% от заработной платы разработчиков схемы управления:

$$C_H = 0.015 \cdot 1230000 = 18450 \text{ тенге.}$$

Соответственно прочие расходы составляют:

$$C_{\text{проч}} = C_M + C_H = 335627.424 + 18450 = 354077.424 \text{ тенге.}$$

5.2.6 Коммерческая стоимость проекта. Согласно выражению 5.1 все составляющие стоимости проекта сведены в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Сметная стоимость разработки управления роботом

№	Наименование статей затрат	Сумма, тенге
1	Заработная плата электронщиков	1230000
2	Отчисления на социальные нужды электронщиков	306354
3	Заработная плата программистов	353056
4	Отчисления на социальные нужды программистов	62275
5	Материалы	116470
6	Прочие расходы	354075
Итого:		2422230

### 5.3 Итоги

В результате расчетов, в разделе 5.2, была получена коммерческая стоимость разработки и изготовления системы управления роботом, равная 2422230 тенге. Применение данного робота предполагается при взрывотехнических работах, что позволяет уменьшить риск для саперов. Мы не можем с точностью предположить или рассчитать срок окупаемости боевого робота сапера. Однако, не стоит забывать что жизнь людей и безопасность общества бесценно.

Деятельность террористов или злоумышленников могут нанести вред не только человеческой жизни, но и быть катализаторами локального или регионального экономического застоя. Подробнее, это когда нормальная экономическая деятельность организаций остаются вынужденными прекратить свою нормальную работу из за подрывной деятельности злоумышленников. В таком случае экономический ущерб прямо пропорционален времени застоя производства или любой другой деятельности. А в случае подрыва возможен долгосрочный или непоправимый ущерб частной собственности. В таком случае можно абстрактно представить экономическую выгоду работы саперной бригады.

Наличие такого оборудования в рядах вооруженных сил и министерства внутренних дел оказало бы высокую моральную поддержку служащим и их родственникам, так как это в значительной мере уменьшает сопутствующие риски для жизни членов саперной бригады. Как мы все знаем "сапер ошибается лишь раз". Однако, не стоит забывать, что робот не сможет полноценно заменить человека. Его использование ограничено выявлением либо уничтожением взрывчатого вещества.

В наши дни одно остается неизменным, это то что страны в которых индустриализация экономики осуществляется за счет роботизированных систем возглавляют списки самых развитых экономик мира. Наша страна

должна по возможности максимально сконцентрировать свое внимание на повсеместное внедрение роботизированных систем. Хотя и роботы отличаются по классу назначения, но у специализированного мобильного робота есть один большой плюс. Этот плюс его родственность с промышленными и мобильными роботами. Это означает что такого робота можно использовать не только как сапера, но и в таких сферах как атомная энергетика, химическая промышленность, медицина и т.д. в качестве помощника в таких условиях, где человеческое присутствие не может быть возможным. Данные расчеты могут быть применимы в качестве примера для конструкции и расчета экономических эффективностей роботов. А это сэкономит людям время и средства.

В современном мире мы привыкли учитывать все до мельчайших подробностей, это касается не только точных технических, но и экономических расчетов. Вся прелесть расчета экономической эффективности и прогноза инвестиционных рисков в том, что мир экономических расчетов живой, и всегда переживает изменения. Точнее, это динамическая система что всегда прибывает в движении и неутомимой трансформации. Например, на сегодняшний день, человечество достигло до такого уровня развития, что почти любой спроектированный технический проект выполняется с минимальными погрешностями в конструкциях. Но в экономических расчетах погрешности и сопутствующие риски могут варьироваться в пределах вероятности 50%. Прогноз либо сбывается либо нет. Это объясняется диверсифицированностью экономической системы, и высокой зависимостью экономики от человеческого фактора.

Подводя итоги могу сказать, что внедрение роботизированных систем во все возможные сферы имеет колоссальный эффект. Во-первых, умение конструировать и разрабатывать электромеханику и программное обеспечение для роботов требует значительных интеллектуальных возможностей. Это говорит о том, что в стране усилится акцент на интеллектуальную деятельность, а не на физический труд. Обратив внимание на самые развитые экономики мира, это можно заметить невооруженным глазом. В обществе развитых стран уже как пол века прошло смена парадигмы, в то время как мы остаемся странами которые снабжают их сырьем, и выкупаем у них изделия из того же вида сырья по завышенной цене. Если развернуть эту мысль то можно прийти к простому выводу, что все страны чья экономика держится на продаже сырья и полезных ископаемых всегда остаются в минусе. Этой идеей я хочу сказать, что внедрение роботизированных систем положительно скажется не только на динамике экономического роста всей страны, но и на интеллектуальном развитии нашей молодежи. Во-вторых, товары нашей страны произведенные с помощью роботов будут более конкурентоспособны и качественны. Так как мы все знаем что государство обладающее слабой валютой имеет преимущество в цене перед товарами произведенными в других странах, не сложно сделать логический вывод, что (слабая валюта) + (качественное производство) =

увеличение экспорта. Это означает приток капитала в нашу страну, и далее положительную динамику экономического роста.

## Заключение

В заключении можно отметить, что поставленная цель в разработке управляемого электропривода мобильного робота была достигнута. Так как проектирование робота без динамических нагрузок невозможно, были вычислены динамические характеристики для элементов системы мобильного робота, по которым и подбирался электропривод нужной мощности. По мощности и классу напряжения, подбирается широтно-импульсный преобразователь для импульсного управления двигателем по способу широтно-импульсной модуляции. Далее, в работе были показаны принципы работы и особенности функционирования широтно-импульсных преобразователей в среде MatlabSimulink. После чего в разделе безопасности жизнедеятельности были вычислены возможные последствия воздействия ударной волны ВВ при определенном расстоянии. Другими словами зависимость давления фронта ударной волны от расстояния от центра взрыва. Далее в экономической части были вычислены заработные платы и затраты на социальные отчисления разработчиков системы управления мобильного робота. После чего в таблицу были сведены все сопутствующие затраты на время осуществления проекта, что в совокупности составляло стоимость разработки системы управления робота специального назначения.

## Список литературы

- 1 Автоматизированные электроприводы постоянного тока с широтно-импульсными преобразователями. М.Е.Гольц, А.Б. Гудзенко, В.М.Остреров, Л.А. Шпиглер., «Энергия»,1972. – 112с.
- 2 Импульсные полупроводниковые усилители в электроприводах.М., «Энергия», 1965
- 3 Анхимюк В.Л. Теория автоматического управления. – Мн.: Дизайн ПРО,2002. – 352 с.
- 4 Артоболевский И.И.Теория механизмов и машин. – М.: Наука. 1975. – 421 с.
- 5 Simulation of PWM controller based DC motor., P.N. Kapil, Nirma University., Technical research organization.,India,2015.
- 6 Батанов А.Ф., Грицынин С.Н., Муркин С.В. Мобильные роботизированные взрывотехнические комплексы// Специальная техника. – Вып. 34. - №1. – 2000. – с. 10-14.
- 7 Manu Jain, Praveen K.Jain, Matteo Daniele, «Analysis of a Bi-Directional DC-DC converter topology or Low power application.», member of , Concordia University, Montreal , P.Q., Canada, 1997.
- 8 Бурдаков С.Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и робототехнических комплексов. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
- 9 Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналогово – цифровых электронных устройств. – М.: Изд. дом «Додэко – XXI», 2005. – 528 с.
- 10 Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем. – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 384 с.
- 11 Гузенков П.Г. Детали машин: учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1986. – 359 с.
- 12 King K.G. The application of silicon controlled rectifiers to the control of electrical machines. – «Proc. IEEE», 1963.
- 13 Дьяконов В. VisSim + Mathcad + MATLAB Визуальное математическое моделирование. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004. – 384 с.
- 14 Казначеев В. Микросхемы для управления электродвигателями. – М.:Додэка, 1999. – 288 с.
- 15 Сандлер А.С., Гусецкий Ю.М., Щукин Г.А. Импульсные регуляторы напряжения на тиристорах. – «Электричество», 1966.
- 16 Шпиглер Л.А., Регулирование напряжения на якоре электродвигателя с помощью тиристорных широтно-импульсных преобразователей. – В.к.н.: «Электромашиностроение и электрооборудование». Харьков, Изд-во ХГУ, 1965, вып.3.
- 17 Олсон Г. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб.: Невский диалект, 2001. – 540 с.
- 18 Бедфорд Б., Хофт Р. Теория автономных инверторов. Пер. с англ. М., «Энергия»,1969.
- 19 Предко М. Устройство управления роботами. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 416 с.
- 20 Тавернье К. PIC-микроконтроллеры. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 272 с.



- 21 Траперт В. AVR – RISC микроконтроллеры. – К.: «МК – Пресс», 2006. – 464 с.
- 22 Угрюмов Е. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 528 с.
- 23 Форсайт Д. Компьютерное зрение. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
- 24 Шишмарев В.Ю. Автоматика. – М.: Изд. дом «Академия», 2005. – 288 с.
- 25 Шишмарев В.Ю. Типовые элементы системы автоматического управления. – М.: Изд. дом «Академия», 2004. – 304 с.
- 26 Юревич Е.И. Основы робототехники. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 416 с.
- 27 16-разрядные Flash – микроконтроллеры 16LX. – М.: КАТЦ – МК, 2004. – 620 с.
- 28 MPASM: Руководство пользователя // электронная версия на сайте <http://www.microchip.ru>
- 29 MPLABIDE: Интегрированная среда разработки для микроконтроллеров PICmicro компании Technology Incorporated // электронная версия на сайте <http://www.microchip.ru>
- 30 Однокристалльные 8-разрядные FLASHCMOS микроконтроллеры // электронная версия на сайте <http://microchip.ru>.
- 31 tEODog: руководство по эксплуатации // электронная версия на сайте <http://www.telerob.de>.
- 32 Материалы военного обучения (МГТУ им. Н.Э. Баумана).
- 33 Служебные видеоматериалы ГУВД, г.Москва, 2011г.