

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

Политехнический институт
Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Разработка и исследование системы управления мобильным
роботизированным комплексом

Руководитель _____ Г.Б. Масальский
подпись, дата должность, учёная степень

Выпускник _____ А. А. Кручинкин
подпись, дата

Нормоконтролёр _____ В. Н. Куликова
подпись, дата

Красноярск 2019

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра: «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Сочнев А. Н.

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме дипломного проекта

Перв. примен.					
Страв. №					
Име. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Име. № дубл.					
Подпись и дата					
Име. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					2

Перв. примен.	<p>Студенту <u>Кручинкину Александру Андреевичу</u></p> <p>Группа <u>ФЭ15-08Б</u> Направление (специальность) <u>15.03.06</u> (Мехатроника и робототехника)</p> <p>Тема выпускной квалификационной работы <u>«Разработка и исследование системы управления мобильным роботизированным комплексом».</u></p> <p>Утверждена приказом по университету №19632/с от 2018-12-28</p> <p>Руководитель ВКР <u>Масальский Г.Б., канд. техн. наук., профессор каф. РИТК</u></p>																
	Страв. №	<p>Исходные данные для ВКР:</p> <p>Мобильный роботизированный комплекс (МРК), web-камера, микроконтроллер Atmega8, контроллер MyRio. Решаемая задача – запуск МРК. Среды программирования – LabVIEW, Matlab, FlowCod.</p>															
Подпись и дата		<p>Перечень разделов ВКР.</p> <p>Глава 1. Мобильный роботизированный комплекс как объект управления.</p> <p>Глава 2. Комплекс технических средств системы автоматизации.</p> <p>Глава 3. Математические модели МРК.</p> <p>Глава 4. Алгоритмическое и программное обеспечения СУ.</p> <p>Глава 5. Синтез параметров системы управления.</p> <p>Глава 6. Техничко-экономическое обоснование проекта.</p>															
	Ине. № дубл.	<p>Перечень графического материала.</p> <p>Лист 1. Принципиальная электрическая схема манипулятора</p> <p>Лист 2. Принципиальная электрическая схема мобильного робота</p> <p>Лист 3. Структурная схема коммуникации аппаратных и программных средств системы управления МРК</p> <p>Лист 4. Структурная схема модели привода</p> <p>Лист 5. Функциональная схема программы позиционной системы управления одного сочленения на основе кинематической модели</p>															
Взам. ине. №		<p>Руководитель ВКР _____ Масальский Г.Б.</p> <p>Задание принял к исполнению _____ Кручинкин А.А.</p> <p style="text-align: right;">« 11 » мая 2019 г.</p>															
	Подпись и дата	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Изм.</td> <td style="text-align: center;">Лист</td> <td style="text-align: center;">№ докум.</td> <td style="text-align: center;">Подпись</td> <td style="text-align: center;">Дата</td> <td style="text-align: center;">Лист</td> </tr> </table>											Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист												
Ине. № подл.	<p>БР 15.03.06 - ПЗ</p>																
	<p>3</p>																

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка и исследование системы управления мобильным роботизированным комплексом» содержит 88 страницы текстового документа, 17 использованных источников, 5 листов графического материала.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА, МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ, МАНИПУЛЯТОР, ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ, КИНЕМАТИКА, ИНТЕРФЕЙС, СИМПЛЕКС,

Цель работы: разработка, исследование и запуск системы управления мобильного роботизированного комплекса.

В первой главе рассматривается мобильный роботизированный комплекс (МРК) как электро-механическое устройство, дается краткое описание конструкции, механики, электродвигателей и трехуровневой системы управления МРК. Вторая глава дает информацию разработанных принципиальных схем мобильного и манипулятора. Третья глава описывает математический аппарат системы управления (СУ). В четвертой главе структурированное описание программного обеспечения СУ приводов, драйвер связи «человек – компьютер - оборудование», планирование траектории, синтез управляющих воздействий, 3D симуляция. В пятой главе приводится результат синтеза параметров системы управления привода путем поискового метода.

В ходе дипломного проектирования была осуществлена модернизация системы управления мобильного роботизированного комплекса, разработана электрическая принципиальная схема мобильного робота и манипулятора, по спроектированной принципиальной схеме в программе Proteus промоделировано состояние системы. Разработана разомкнутая и замкнутая кинематическая модель МР, а так же динамическая модель МР. Разработан алгоритм синтеза управляющих воздействий мобильного роботизированного комплекса на основе кинематической модели. Разработана программа планирования траектории МР в условиях препятствий. Координаты препятствий могут динамически изменяться в реальном времени. Траектория может быть построена 3 функциями spline-аппроксимации(линейная spline sublic). Разработана программа 3D моделирования, которая показывает движущегося по траектории МРК на производственном участке, что позволяет наблюдать правильность траектории движения МРК. Разработана трехуровневая система управления МРК (стратегическая, групповая и исполнительная СУ). На основе написанной программы был добавлен П регулятор. Параметры П регулятора оптимизируются в ходе эксперимента. Был разработан драйвер связи между исполнительным и групповым уровнем, то есть между контроллером Arduino и MyRio. Связь между групповым и стратегическим уровнем осуществляется стандартными функциями MyRio по сети Wifi. Разработаны интересы оператора стратегической и групповой системы управления

Перв. примен.

Страв. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист

4

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	6
	1 Мобильный роботизированный комплекс как объект управления	10
	1.1 Состав мобильного роботизированного комплекса.....	10
	1.2 Система управления МРК.....	14
	1.3 Постановка задачи	16
	2 Комплекс технических средств системы автоматизации	18
	2.1 Оборудование системы управления манипулятора	18
	2.2 Оборудование системы управления мобильного робота.....	22
	2.3 Монтажные схемы подключения	25
	2.4 Разработка принципиальной электрической схемы МРК	32
	3 Математические модели МРК	34
	3.1 Математическое моделирование мобильного робота.....	34
	3.2 Математическое моделирование манипулятора.....	43
	3.3 Динамическая модель МРК	46
	4 Алгоритмическое и программное обеспечения СУ.....	59
	4.1 Структурная схема СУ привода	59
	4.2 Планирование траектории МРК	70
	4.3 Обработка изображения	79
	5 Синтез параметров системы управления.....	81
	6 Технико-экономическое обоснование проекта.....	87
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	89
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	90

Перв. примен.	
Страв. №	

Подпись и дата	
Име. № дубл.	
Взам. име. №	
Подпись и дата	
Име. № подл.	

					БР 15.03.06 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

ВВЕДЕНИЕ

В промышленности и в быту требуются мобильные мехатронные системы выполняющие разные задачи, на производстве такими задачами может быть транспортировка изделий, существуют мобильные роботизированные комплексы, которые выполняют задачу данные задачи. Мобильные комплексы, как правило, состоят из мобильной платформы, выдвижной «руки» (робот-манипулятор) и автоматизированной систему управления.

На кафедре «Робототехника и техническая кибернетика» Политехнического института «Сибирского федерального университета» в «Учебно-исследовательском гибком производственном комплексе» находится мобильный роботизированный комплекс (МРК), состоящий из мобильного робота, сделанного студентами и стандартного производственного манипулятора.

Похожие аналоги на рынке.

Лабораторная установка по изучению мобильной платформы с манипулятором на базе KUKA YOUBOT PLATFORM. Цена робота 2637500 руб. Программирование осуществляется с применением программного обеспечения с открытыми исходными кодами. Технические характеристики:

- габариты 500 x 500 x 500 мм.;
- электропитание 220 В, 50 Гц.;
- потребляемая мощность от сети: не более 500 Вт.



Рисунок 1- KUKA YOUBOT PLATFORM

KMR QUANTEC – мобильная промышленная робототехническая система KUKA применяется в отраслях: строительстве судов, самолетов или ветровых установок. Цена робота 28000000 руб.. Система позволяет обрабатывать большие детали. Мобильная платформа KUKA omniMove имеет стандартную грузоподъемность 7000 килограммов. Интегрированный робот – KR QUANTEC 150 R3300 с грузоподъемностью 150 килограммов и досягаемостью 3300 миллиметров. Несмотря на высокую полезную нагрузку, он может достичь точности положения +/- 5 миллиметров – независимо от пройденного расстояния. Благодаря технологии всенаправленного колеса KUKA он способен безопасно перемещаться в нужное положение даже в самых узких местах.

Име. № подл.

Подпись и дата

Взам. име. №

Име. № дубл.

Подпись и дата

Страв. №

Перв. примен.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист

6



Рисунок 2 - KMR QUANTEC

Образовательная мобильная платформа AVT-12T робот шасси. Робот широко применяется для мобильных решений для пожаротушения robot, eod робота, сервисного робота, движущегося робота и т. д.. Цена работа 568 000 руб.. Технические характеристики:

- размеры 1185*7645*395;
- внутреннее пространство 750*400*165;
- собственный вес 85 кг;
- шасси вес нагрузки 120 кг;
- ширина шасси 150 мм;
- мощность двигателя 880 Вт * 2;
- материал корпуса 304 нержавеющей сталь;
- отор бесщеточный двигатель постоянного тока 48 В.



Рисунок 3 - AVT-12T робот шасси

Электрическая грузовая тележка RuTrike СКЛАД 2000 имеет грузоподъемность до 1000 кг. Основная сфера применения тележки - перевозка грузов, товаров, продукции по складам и подсобным помещениям, её без проблем можно эксплуатировать и по гравийным дорогам, на открытых территориях. При моторе 1000 Вт. максимальная скорость до 25 км в час. Заряжаться от розетки 220 вольт. Батарея набирает максимальный заряд в

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Перв. примен.

Страв. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

течении 4-х часов, а её заряда хватит на 2-4 часа непрерывной работы. Мотор 1000 Вт.



Рисунок 4 - грузовая тележка RuTrike СКЛАД 2000

Пяти осевой загрузочный робот SYDR-4A. Робот извлекает продукты из машины литья под давлением. Цена робота 1105000 руб.. Технические характеристики:

- вес 900 кг;
- размер 850*600 мм;
- мощность 2.7 кВт;
- максимальная нагрузка 4 кг;
- повторные точность позиционирования 0,05 мм-0,10 мм;
- оси 4 оси;
- радиус действия 900 мм-1200 мм;
- питания 220 В 50/60 Гц.



Рисунок 5 - робот SYDR-4A

При создании МРК главной задачей является управление данным комплексом. Для этой задачи необходимо написать программу планирования траектории мобильного роботизированного комплекса(МРК), синтеза

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист

8

управляющих воздействий для сочленений робота. Необходимо использовать контроллеры, датчики осязания и камеру.

Перв. примен.

Страв. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист

9

1 Мобильный роботизированный комплекс как объект управления

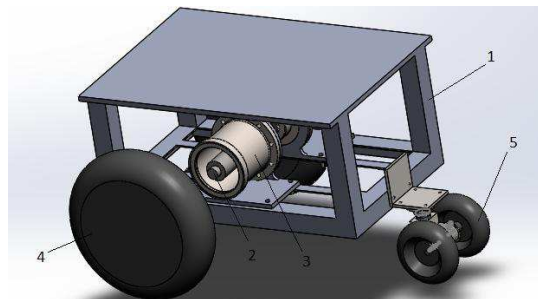
1.1 Состав мобильного роботизированного комплекса

Мобильный роботизированный комплекс (МРК) (рисунок 1.1) состоит из мобильного робота и манипулятора на базе промышленного робота «Электроника НЦТМ-01».



Рисунок 1.1 – Общий вид МРК

Мобильный робот представляет из себя трехколесную платформу, которая имеет два ведущих колеса, с помощью которых осуществляется его перемещение и повороты и опорное колесо, которое обеспечивает устойчивость платформы (рисунок 1.2). Основные технические характеристики МР приведены в таблице 1.1.



1 – рама; 2 – двигатель; 3 - редуктор ВЗП; 4 – колесо; 5 - пассивное колесо

Рисунок 1.2 – 3D модель мобильного робота

Таблица 1.1 – Основные технические характеристики МР

Наименование параметров	Значения
Длина, мм	780
Ширина, мм	520
Высота, мм	410
Тип движителя ТС	2x2
Скорость передвижения, м/с	0,5
Тип приводов ТС, мм	ЭМ
Масса МР в снаряженном состоянии, кг	240

Конструкция мобильного робота выполнена на основе робота-тележки и включает в себя:

- рама – уголок 35 мм, длиной 660× 520 мм;
- редуктора ВЗП – передача волнового движения от двигателя на вал, ГОСТ Р 50891-96;
- двигатель ПЯ-250Ф.

Данные двигателя:

- крепление вала к раме;
- вал – передача крутящего момента от ВЗП(Волновые зубчатые передачи) к колесу;
- цепь приводная роликовая однорядная повышенной прочности
- ПР-9.525-9.1 ГОСТ 13568—97.

Данные цепи:

- колесо резиновое диаметром 430 мм;
- звездочка однорядная диаметром 40 мм, типа 28А1.

Мобильный робот имеет коллекторный электродвигатель постоянного тока (рисунок 1.3) малой мощности ПЯ-250Ф для систем автоматики. Крепление двигателя - торцевое. Режим работы - продолжительный. Характеристики приведены в таблице 1.2.

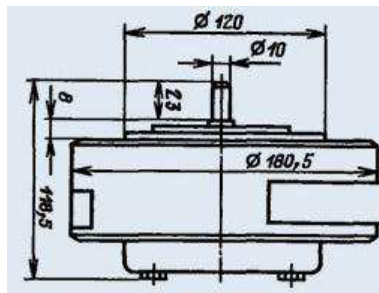
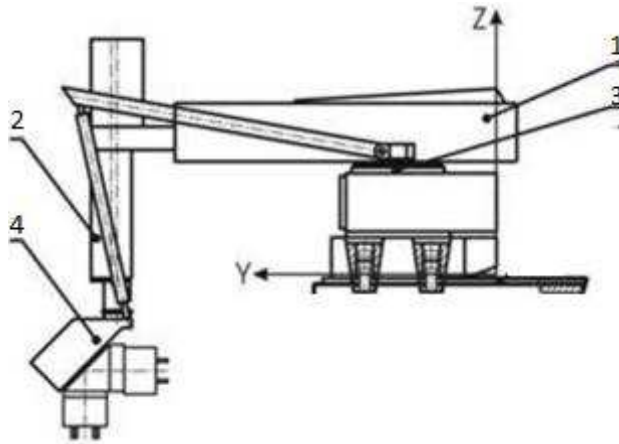


Рисунок 1.3 – Габариты двигателя ПЯ-250Ф

Таблица 1.2 – Технические характеристики двигателя ПЯ-250Ф

Наименование параметров	Значения
Напряжение питания, В	36
Номинальная мощность, Вт	250
Частота вращения, об/мин	3000
Номинальный вращ. момент, мН*м	0,8
Пусковой момент, мН*м	4
Потребляемый ток, А	10
Коэффициент полезного действия, %	70
Масса, кг	7,2

Робот «Электроника НЦ ТМ-01» предназначен для обслуживания металлорежущих токарных станков, а именно для загрузки и выгрузки деталей типа тел вращения диаметром до 150 мм, высотой до 150 мм. [8].



1 - механизм горизонтального перемещения по оси Y; 2 - механизм подъема по оси Z;
3 - механизм поворота; 4 - механизм захвата детали

Рисунок 1.4 - Промышленный робот «Электроника НЦ ТМ-01»

Механизм горизонтального перемещения по оси Y (рисунок 1.4) обеспечивает перемещение руки манипулятора робота по опорам качения, установленным в каретке. Перемещение осуществляется с помощью исполнительного устройства, обеспечивающего реверсивный режим работы и выполненного на основе двух двигателей (рисунок 1.5) постоянного тока ДП40-10-3-27- ИМ3681-Р09 27В и механической передачи.



Рисунок 1.5 - Общий вид двигателя

Таблица 1.3 - Параметры двигателя

Тип двигателя	Напряжение питания, В	Мощность, Вт	Частота вращения, мин ⁻¹	Кратность пускового момента	Масса, кг, не более
ДП40-10-3-27-ИМ3681-С09-Р09-Д41-У3	27	10	3000	3,1	0,320

Механизм подъема по оси Z обеспечивает перемещение руки манипулятора робота в вертикальном направлении. Перемещение осуществляется с помощью исполнительного устройства, обеспечивающего реверсивный режим работы и выполненного на основе двух двигателей

постоянного тока ДП40-10-3-27- 1М3681-Р09 (рисунок 1.5) с напряжением питания 27В и механической передачи.

Поворот осуществляется с помощью исполнительного устройства, обеспечивающего реверсивный режим работы и выполненного на основе двух двигателей постоянного тока ДП40-10-3-27-1М3681-Р09 (рисунок 1.5) с напряжением питания 27В и двух механических передач, первая из которых представляет собой встроенный редуктор с цилиндрическими колесами, а вторая - открытый одноступенчатый конический редуктор.

Захват и ротация осуществляется с помощью пневмоцилиндров, имеющих реверсивный режим работы и управляемых электропневматическими распределителями с напряжением питания 24 В. Скорость поворота при ротации регулируется дросселями. Основным устройством является воздушный компрессор (рисунок 1.6) AGR-6LT с ресивером на 6 л. Характеристики представлены в таблице 1.4.



Рисунок 1.6 – Компрессор AGR-6LT с ресивером

Таблица 1.4 – Характеристики автомобильного компрессора AGR-6LT

Наименование параметров	Значения
Мощность, Вт	180
Производительность, л/мин	35
Максимальное давление, атм	8
Тип двигателя	Постоянного тока коллекторного типа
Размеры, мм	430 x 150 x 185
Вес, г	7000
Время заполнения ресивера, мин	4
Максимальный ток потребления, А	14
Тип насоса	Поршневой
Время непрерывной работы, мин	30
Диапазон рабочей температуры, °С	от - 40 до + 80
Материал корпуса	Металл
Допустимое рабочее напряжение, В	12

Распределительное устройство схвата - пневмораспределитель (рисунок 1.7) SY3260-5LOU-C6-Q, который обладает характеристиками, представленными в таблице 1.5.

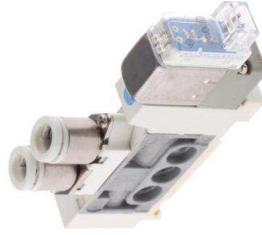


Рисунок 1.7 – Общий вид пневмораспределителя

Таблица 1.5 – Характеристики пневмораспределителя

Наименование параметров	Значения
Тип приведения в действие	Электромагнитное/Вспомогательный клапан
Материал корпуса	5 Цинковое литьё под давлением
Назначение	5/2
Максимум расхода	196 нормолитр в минуту
Максимальное рабочее давление	0.7 МПа
Максимальная рабочая температура	+ 50 °С
Минимальная рабочая температура	- 10 °С
Напряжение соленоида	24 В DC
Минимальное рабочее давление	0.1 МПа
Способ монтажа	Дин-рейка
Среда	Сжатый воздух с содержанием масла или без него

1.2 Система управления МРК

Система управления (СУ) МРК трехуровневая и обеспечивает планирование траектории движения (верхний уровень), взаимодействие сочленений манипулятора (М) и мобильного робота (МР) (средний уровень) и локальные системы управления манипулятором и тележкой (нижний уровень). На рисунке 1.8 представлена структурная схема МРК [9].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

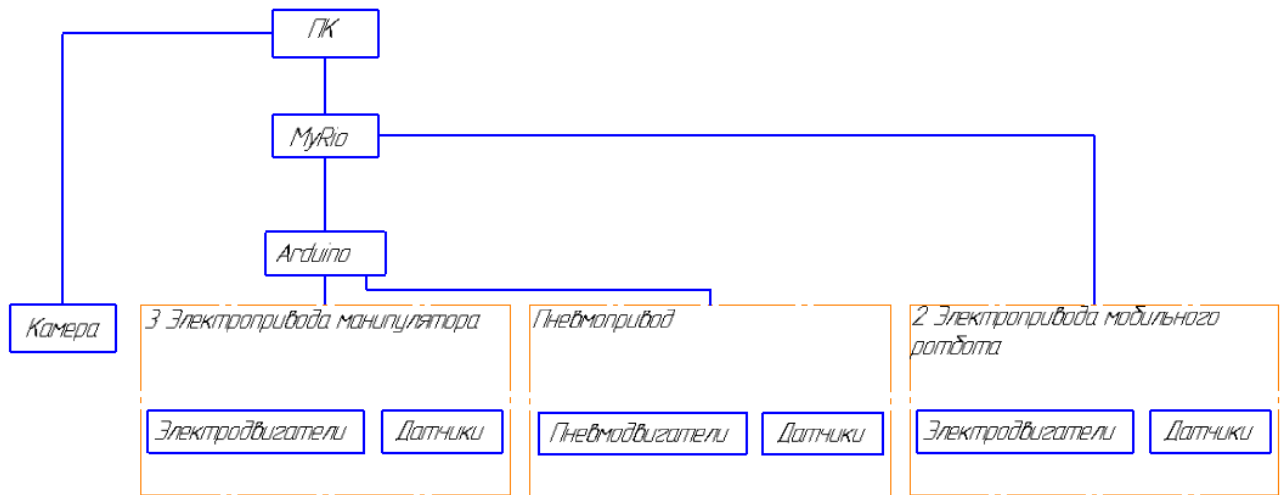


Рисунок 1.8 - Структурная схема системы управления МРК

Одним из основных элементов МРК, является персональный компьютер (ПК), функции которого представлены на рисунке 1.9.

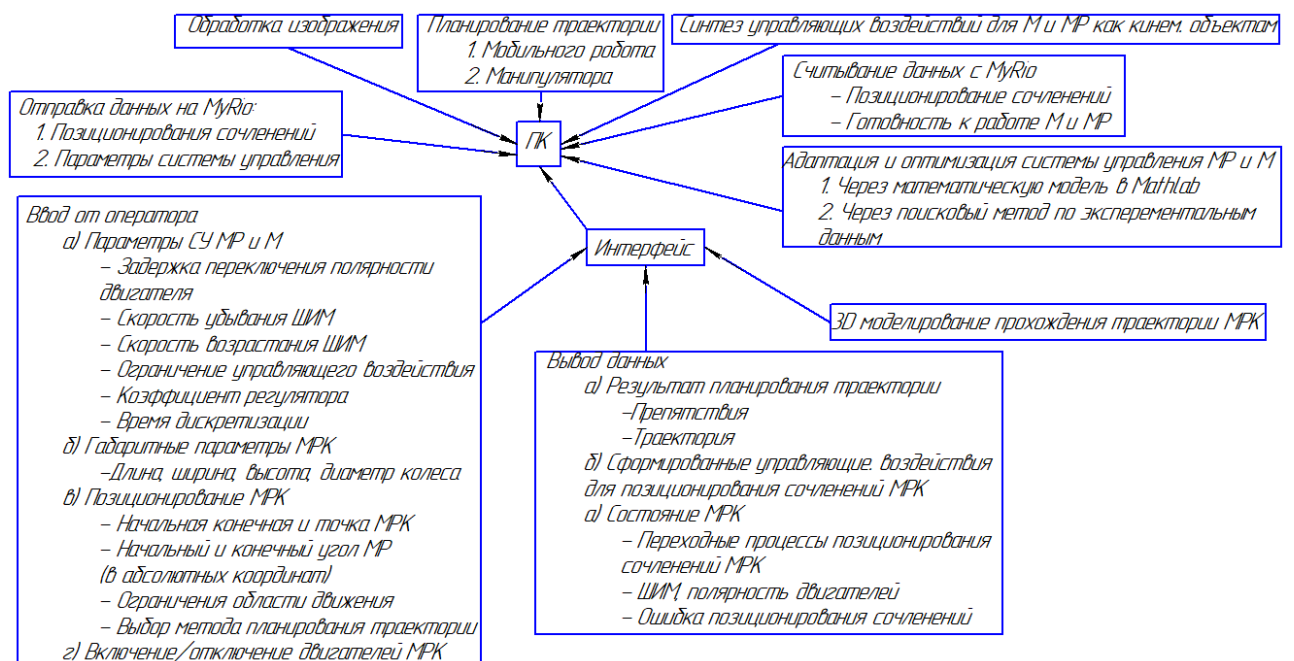
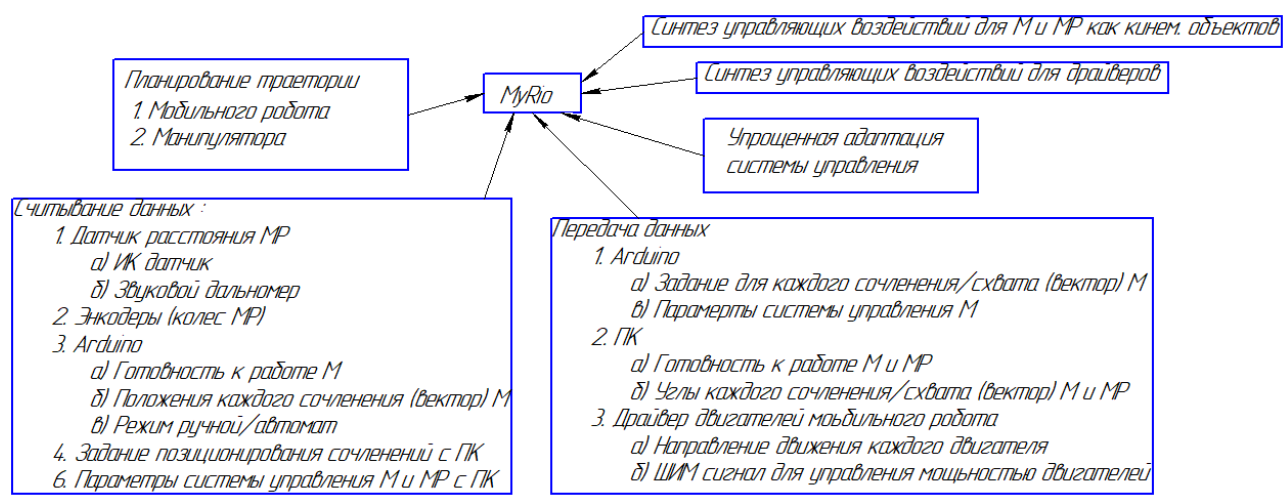
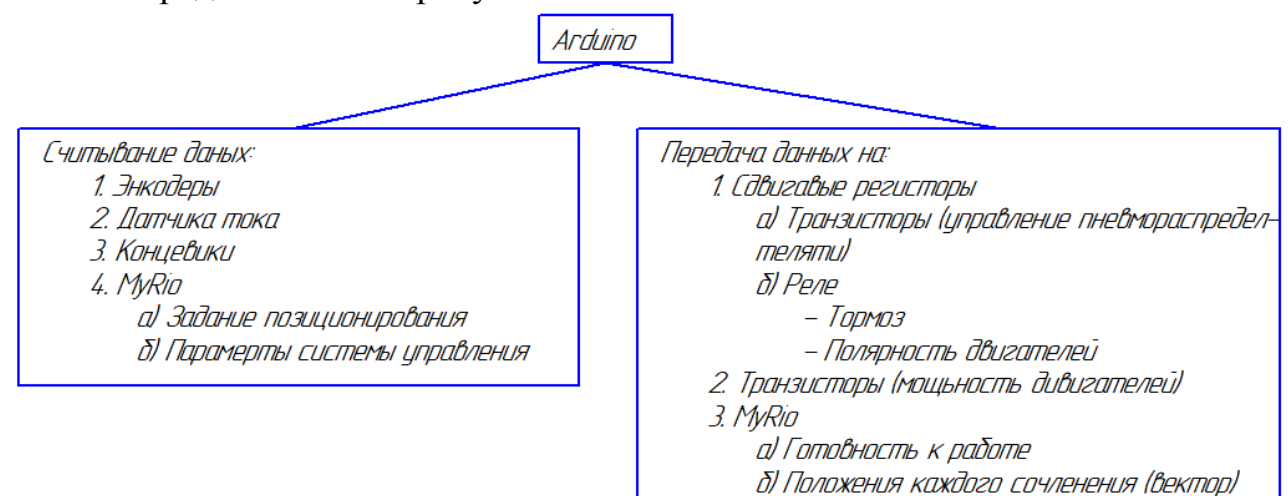


Рисунок 1.9 - Функциональная схема ПК

МРК имеет два контроллера под управлением персонального компьютера (ПК). Контроллеры осуществляют синтез управления двигателями, а так же передачу и обработку данных с датчиков. Мобильным роботом управляет контроллер MyRio. Функции MyRio представлены на рисунке 1.10.

Перв. примен.						
	Стр. №	<p style="text-align: center;">Рисунок 1.10 - Функциональная схема MyRio</p> <p>Схватом и манипулятором управляет микроконтроллер Arduino. Функции Arduino представлены на рисунке 1.11.</p>				
Подпись и дата						
	Име. № дубл.	<p style="text-align: center;">Рисунок 1.11 - Функциональная схема Arduino</p>				
Взам. инв. №	<h3>1.3 Постановка задачи</h3>					
	Подпись и дата	<p>При проектировании необходимо выполнить:</p> <ul style="list-style-type: none"> - поиск и ремонт дефектов и неисправностей МРК; <ul style="list-style-type: none"> • замену контроллера Arduino UNO на Arduino Nano; • замену неисправных транзисторов; • монтаж датчиков положения; - разработку принципиальных электрических схем; <ul style="list-style-type: none"> • манипулятора; • мобильного робота; - монтаж электрической схемы мобильного робота; - кинематический расчет МРК; - разработку программы планирования траектории мобильного робота в условиях ограничений; 				
Име. № подл.					<p>БР 15.03.06 - ПЗ</p>	<p>Лист</p>
					<p>Изм. Лист № докум. Подпись Дата</p>	<p>16</p>

Перв. примен.	<ul style="list-style-type: none"> - построение модели МРК и симуляцию прохождения траектории 3D моделью МРК; - разработку системы управления мобильного робота и манипулятора - испытания системы управления МРК; - поиск параметров системы управления МРК на основе экспериментов; - разработку драйвера связи между уровнями управления; - разработку интерфейса оператора. 					Лист						
							Страв. №	Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Име. № подл.
17												

2 Комплекс технических средств системы автоматизации

2.1 Оборудование системы управления манипулятора

ATmega328/P — микроконтроллер семейства AVR, имеет 8-битный процессор. Структурная схема контроллера представлена на рисунке 2.1.

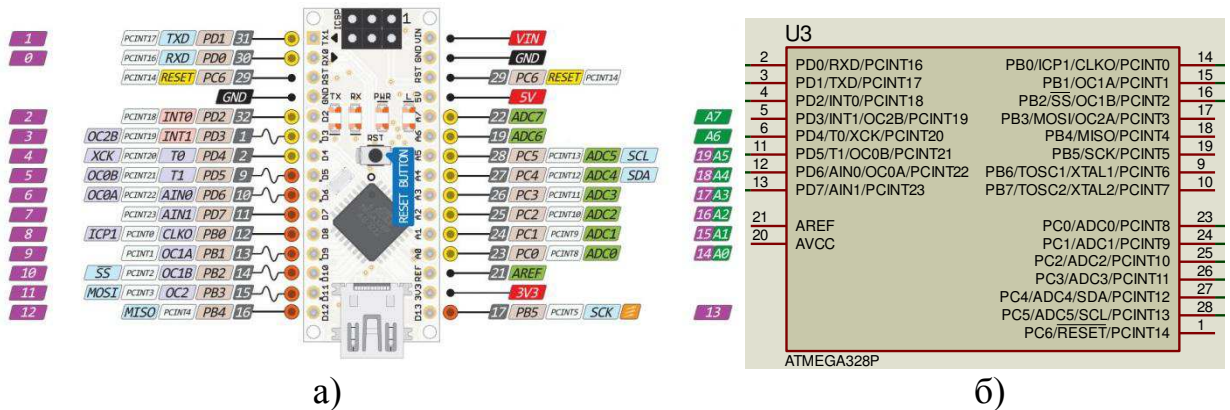


Рисунок 2.1 – Микроконтроллер ATmega328/P

Память:

- 32 kB Flash;
- 2 kB ОЗУ;
- 1 kB EEPROM .

Периферийные устройства:

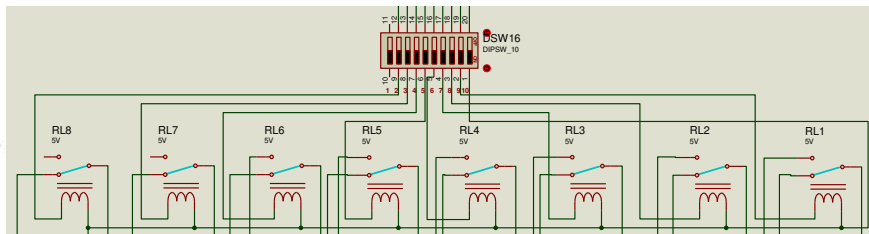
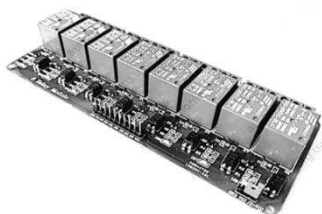
- два 8-битных таймера/счетчика с модулем сравнения и делителями частоты;
- 16-битный таймер/счетчик с модулем сравнения и делителем частоты, а также с режимом записи;
- счетчик реального времени с отдельным генератором;
- шесть каналов PWM (аналог ЦАП);
- 6-канальный ЦАП со встроенным датчиком температуры;
- программируемый последовательный порт USART;
- последовательный интерфейс SPI;
- интерфейс I2C;
- программируемый сторожевой таймер с отдельным внутренним генератором;
- внутренняя схема сравнения напряжений;
- блок обработки прерываний и пробуждения при изменении напряжений на выводах микроконтроллера.

Специальные функции микроконтроллера:

- сброс при включении питания и программное распознавание снижения напряжения питания;
- внутренний калибруемый генератор тактовых импульсов;

- обработка внутренних и внешних прерываний;
- 6 режимов сна (пониженное энергопотребление и снижение шумов для более точного преобразования АЦП).

8-канальный модуль реле 12V (рисунок 2.2) для Arduino PIC ARM AVR используется для управления различными приборами с большим входным ТОКОМ.



а) общий вид реле б) принципиальная схема модуль реле в Proteus
Рисунок 2.2 –8-канальный модуль реле 12V

Характеристики релейный модуль:

- рабочий ток одного реле 15 – 20мА;
- управляющее напряжение реле 5В;
- реле высокого тока AC250V 10A, AC125V 10A, DC30V 10A, DC28V 10A;
- светодиодная индикация состояния каждого реле;
- стандартный интерфейс, через который можно управлять релейным модулем с помощью контроллеров Arduino, 8051, AVR, PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430, TTL logic или с компьютера;
- физические размеры 134 x 53 x 19 мм;
- вес 117 г.

Для использования релейного модуля к нему необходимо подключить управляемое устройство. Затем нужно подключить к выводам Vcc и Gnd модуля питание 12В. Потом к управляющим выводам In1 – In8 релейного модуля нужно подключить микроконтроллер, компьютер или другое управляющее устройство и приступить к работе. Принципиальная схема одного реле представлена на рисунке 2.3.

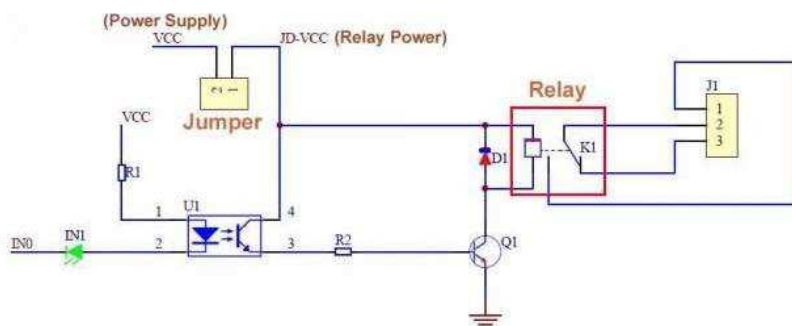
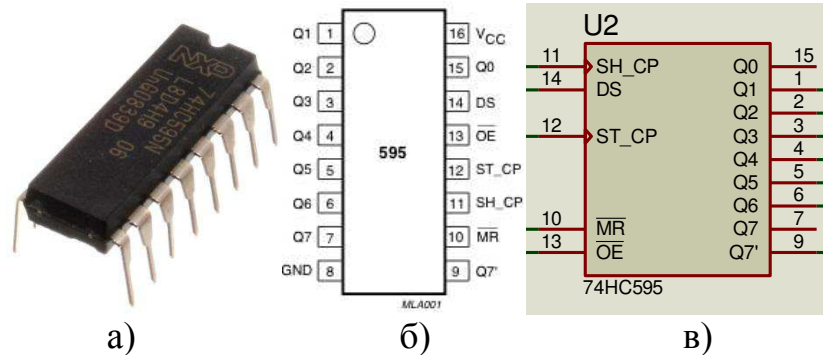


Рисунок 2.3 - Принципиальная схема реле

Сдвиговый регистр 74НС595 (рисунок 2.4) - это набор последовательно соединённых триггеров (обычно их 8 штук). В отличие от стандартных регистров, сдвиговые поддерживают функцию сдвига вправо и влево. Распиновка входов-выходов сдвигового регистра представлена в таблице 2.1.

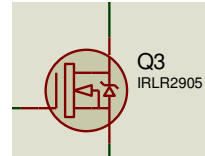
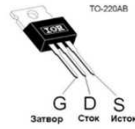


а) внешний вид б) распиновка в) принципиальная схема 74hc595 в Proteus
Рисунок 2.4 – Сдвиговой регистр 74hc595

Таблица 2.1 - Распиновка входов/выходов регистра 74hc595

Пины 1-7, 15	Q0-Q7	Параллельные выходы
Пин 8	GND	Земля
Пин 9	Q7"	Выход для последовательного соединения регистров
Пин 10	MR	Сброс значений регистра. Сброс происходит при получении LOW
Пин 11	SH_CP	Вход для тактовых импульсов
Пин 12	ST_CP	Синхронизация ("защелкивание") выходов
Пин 13	OE	Вход для переключения состояния выходов из высокоомного в рабочее
Пин 14	DS	Вход для последовательных данных
Пин 16	Vcc	Питание

Полевой транзистор IRLR2905PBF (рисунок 2.5) — полупроводниковый прибор, принцип действия которого основан на управлении электрическим сопротивлением токопроводящего канала поперечным электрическим полем, создаваемым приложенным к затвору напряжением. У полевых транзисторов с изолированным затвором (МОП и МДП) входная емкость значительно меньше полевых транзисторов с р-п переходом, что дает возможность применять их в высокочастотной аппаратуре. В Proteus ошибочно моделируется полевой транзистор, так как ток идет от коллектора к эмиттеру.



а) внешний вид б) принципиальная схема полевого транзистора в Proteus
Рисунок 2.5 – Полевой транзистор IRLR2905PBF

Отличительной особенностью работы полевых транзисторов в сравнении с биполярными является очень низкий коэффициент шума или Кш. Данный коэффициент мало влияет от напряжений сток – исток, тока стока, а так же температуры работы транзистора (до +50 градусов). Технические характеристики транзистора IRLR2905PBF представлены в таблице 2.2.

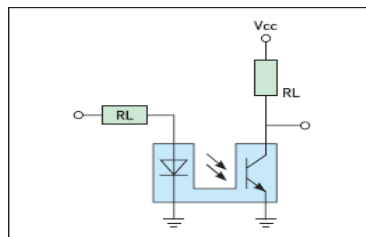
Таблица 2.2 - Технические параметры транзистора IRLR2905PBF

Структура	n-канал
Максимальное напряжение сток-исток $U_{си,В}$	55
Максимальный ток сток-исток при 25 С $I_{си макс. А}$	42
Максимальное напряжение затвор-исток $U_{зи макс. В}$	± 16
Сопротивление канала в открытом состоянии $R_{си}$ вкл. (Max) при I_d, R_{ds} (om)	0.027 ом при 25а, 10в
Максимальная рассеиваемая мощность $P_{си макс. Вт}$	110
Крутизна характеристики, S	21
Пороговое напряжение на затворе	2

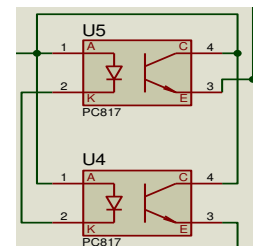
Энкодер и концевой выключатель основаны на щелевом оптроне от $optocoupler$ ee-sx1041 (рисунок 2.6). Угловые энкодеры часто применяются для решения комплексных задач автоматизации технологических процессов: контроль положения вращающихся механизмов, управление двигателями, контроль натяжения, робототехника.



а)



б)



в)

а) внешний вид б) принципиальная схема полевого транзистора в Proteus в) принципиальная схема энкодера в Proteus

Рисунок 2.6 – Полевой транзистор IRLR2905PBF

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Технические параметры:

- время замыкания 4 μ s;
- ширина зазора, макс. 5 мм;
- ток проводимости эмиттера 50 мА;
- выходной ток коллектора, макс. 20 мА;
- выходное напряжение коллектор-эмиттер 30 В.

Угловой датчик устанавливаются непосредственно на вращающийся вал (рисунок 2.7), благодаря чему не возникает никаких дополнительных погрешностей при измерении положения, связанных с обратным ходом механизма. Угловые энкодеры могут состоять из простого потенциометра или основываться на более сложных бесконтактных технологиях - датчики Холла или оптические энкодеры.

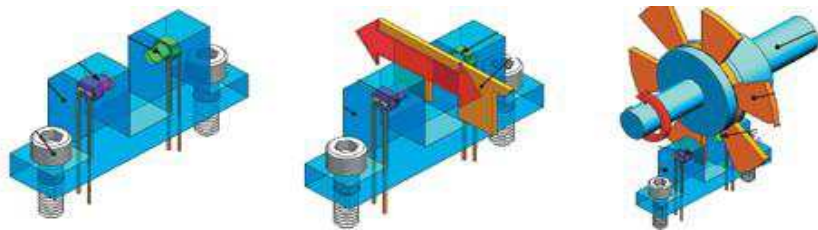
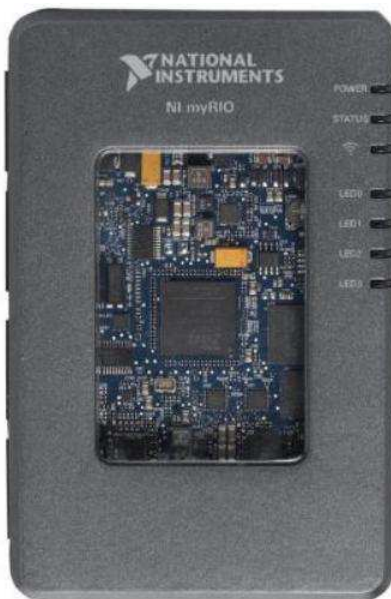


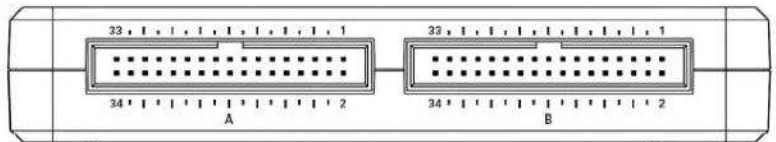
Рисунок 2.7 - Принцип работы энкодера

2.2 Оборудование системы управления мобильного робота

Учебный прибор NI MyRIO (рисунок 2.8) содержит двухъядерный программируемый процессор ARM Cortex-A9 с тактовой частотой 667 МГц. И customizable программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС).



а)



PRIMARY/SECONDARY SIGNALS

		+3.3 V		DIO10 / PWM2		DIO9 / PWM1		DIO8 / PWM0		DIO7 / SPI.MOSI		DIO6 / SPI.MISO		DIO5 / SPI.CLK		DIO4		DIO3		DIO2		DIO1		DIO0		AI3		AI2		AI1		AI0		+5 V	
DIO15 / I2C.SDA	33	DIO10 / PWM2	31	DIO9 / PWM1	29	DIO8 / PWM0	27	DIO7 / SPI.MOSI	25	DIO6 / SPI.MISO	23	DIO5 / SPI.CLK	21	DIO4	19	DIO3	17	DIO2	15	DIO1	13	DIO0	11	AI3	9	AI2	7	AI1	5	AI0	3		1		
DIO14 / I2C.SCL	34	DIO10 / PWM2	32	DIO9 / PWM1	30	DIO8 / PWM0	28	DIO7 / SPI.MOSI	26	DIO6 / SPI.MISO	24	DIO5 / SPI.CLK	22	DIO4	20	DIO3	18	DIO2	16	DIO1	14	DIO0	12	AI3	10	AI2	8	AI1	6	AI0	4		2		
GND		GND		GND		GND		DIO13		GND		DIO12 / ENC.B		GND		DIO11 / ENC.A		GND		UART.TX		GND		UART.RX		GND		GND		AO1		AO0			

б)

а) внешний вид б) разъемы и порты

Рисунок 2.8 –NI Myrio

Встроенный Wi-Fi модуль позволяет запускать приложения удаленно и без подключения к компьютеру. Три разъема (2 порта расширения NI MyRIO (MXP) и один порт NI miniSystems (MSP), идентичный разъему NI myDAQ) передают и получают сигналы от датчиков и электрических схем. NI MyRIO содержит в общей сложности 40 цифровых линий ввода/вывода с поддержкой SPI, PWN выхода, входного импульсного датчика, UART и I 2C; восемь односторонних аналоговых входов; два дифференциальных аналоговых входа; четыре односторонних аналоговых выхода; и два общих аналоговых выхода, позволяющие подключать бесчисленное количество сенсоров, устройств и программируемых контроллеров системы. Принципиальная схема представлена на рисунке 2.9.

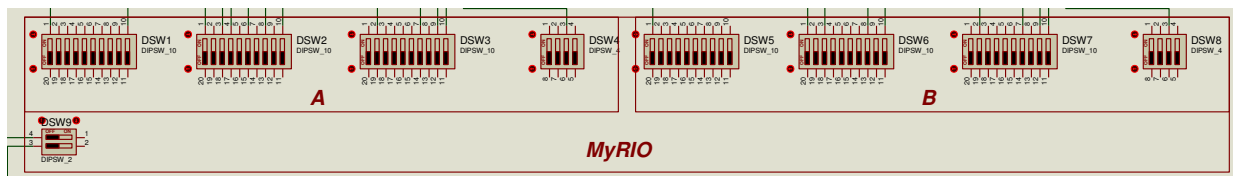
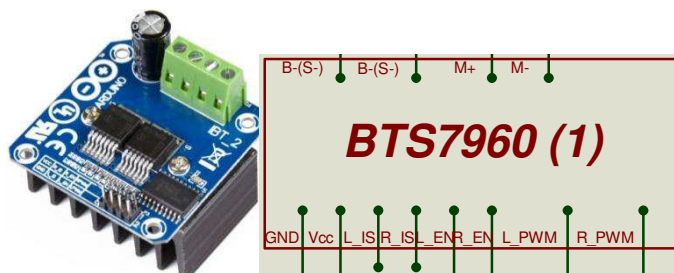


Рисунок 2.9 – Принципиальная схема Myrio в Proteus

Драйвер мотора BTS7960 (рисунок 2.10) — позволяет управлять одним коллекторным двигателем, рассчитанным на напряжение от 5,5 до 27,5 В. постоянного тока до 43 А.. Но так как клеммник, установленный на плате не рассчитан на такие токи, то для долговременной работы рекомендуется использовать двигатели с током потребления до 10 А. С помощью данного драйвера можно управлять скоростью двигателя, направлением его движения, выполнять торможение и контролировать нагрузку, которую испытывает двигатель.



а) внешний вид б) принципиальная схема драйвера в Proteus

Рисунок 2.10 – Драйвер мотор BTS7960

Напряжение питания логики 5 В. постоянного тока. Максимальная частота ШИМ на управляющих выводах 25 кГц. Напряжение логических уровней на управляющих выводах 3,3 или 5 В.

Назначение выводов:

1. «M+» и «M-» - выходы для подключения мотора.
2. «M-» выход левого плеча H-моста (чип U3).
3. «M+» выход правого плеча H-моста (чип U2).
4. «S+» и «S-» - питание мотора.

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

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

5. «Vcc» и «GND» - питание логики.
6. «L_IS» - выход состояния левого плеча Н-моста (чип U3). Вывод является флагом ошибки (если она есть), иначе с этого выхода можно снимать уровень напряжения пропорциональный току протекающему через мотор, а значит контролировать силу нагрузки приложенной к мотору.
7. «R_IS» - выход состояния правого плеча Н-моста (чип U2).
8. «L_EN» - вход разрешения работы левого плеча Н-моста (чип U3). Сброс в 0 - отключает выход мотора «М-» (переводит его в состояние высокого импеданса). Установка в 1 - разрешает работу выхода мотора «М-».
9. «R_EN» - вход разрешения работы правого плеча Н-моста (чип U2).
10. «L_PWM» - вход установки потенциала на выходе левого плеча Н-моста (чип U3). Сброс в 0 - устанавливает на выходе «М-» потенциал вывода «S-». Установка в 1 - устанавливает на выходе «М-» потенциал вывода «S+». Установка потенциалов «S+» или «S-» на выходе «М-» возможна только если установлена 1 на входе «L_EN».
11. «R_PWM» - вход установки потенциала на выходе правого плеча Н-моста (чип U2).

Движение вперед с регулировкой скорости: «L_PWM» = 0, «R_PWM» = ШИМ (чем выше ШИМ, тем выше скорость). Движение назад с регулировкой скорости: «L_PWM» = ШИМ, «R_PWM» = 0 (чем выше ШИМ, тем выше скорость). Торможение: «L_PWM» = «R_PWM» = 0 или 1 (максимальное торможение).

Частота вращения колеса, скорости вращения, угла, ускорения и измерения длины – величина, значение которой высчитывается энкодером LPD3806-400BM-G5-24C (рисунок 2.11). С энкодера снимается синусоидальный сигнал, период которого зависит от частоты вращения вала двигателя. Посредством аналогово-цифрового преобразователя аналоговый сигнал преобразуется в последовательность цифровых значений. Каждый максимум сигнала соответствует прохождению крыльчатки возле оптопары. Количество максимумов является количеством «тиков» за полный оборот колеса энкодера, число которых равно 170. С помощью порогов отслеживается текущее значение, и если оно однажды превысило максимальный порог, счетчик увеличивается на единицу. С помощью нижнего порога исключено срабатывание счетчика при наличии "шума" в синусоидальном сигнале.



LPD3806-400BM-G5-24C (1)



а) внешний вид б) принципиальная схема энкодера в Proteus

Рисунок 2.11 – Оптический энкодер LPD3806-400BM-G5-24C

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Подключение:

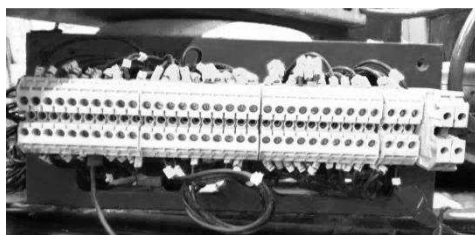
- зеленый А фаза;
- белый В фаза;
- красный VCC;
- черный V0.

Спецификация:

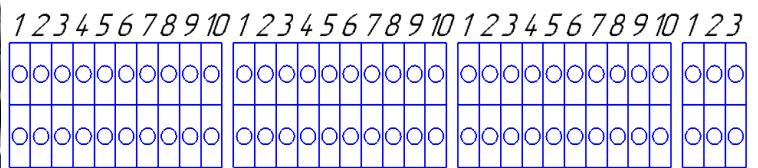
- кабель 1.5 м;
- точность 400 импульсов/оборот;
- максимальная механическая скорость 5000 об/мин;
- выход: NPN открытый коллектор;
- напряжение питания 5-26V;
- потребляемый ток $\leq 80\text{mA}$;
- ток нагрузки 40mA;
- высокий логический уровень $\min V_{cc} * 70\%$;
- низкий логический уровень $\text{Max } 0.4\text{V}$;
- время нарастания $T_r \text{ Max } 1\mu\text{s}$;
- время спада $T_r \text{ Max } 1\mu\text{s}$;
- частота отклика 300kHz;
- инерция вращения $4 \times 10^{-8} \text{kgm}^2$;
- пусковой момент $\leq 0.05\text{Nm}$;
- максимальная допустимая нагрузка на вал радиальная 50N, аксиальная 20N;
- ударопрочность 50G/11ms;
- вибростойкость 10G 10-2000Hz;
- класс защиты IP51;
- рабочая температура - 30~85°C;
- вес 100g.

2.3 Монтажные схемы подключения

Для монтажа оборудования необходимо пронумеровать проводку подключения. Для удобного и надежного монтажа двигателей и датчиков на корпусе манипулятора (рисунок 2.12) установлены винтовые клеммники. Подключение оборудования к зажимам представлено в таблице 2.3.



а) внешний вид



б) нумерация

Рисунок 2.12- Винтовые клеммники

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

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист

25

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

Справ. №	Перв. примен.

Таблица 2.3 – Подключение оборудования к зажимам

Номер провода (Нижний зажим)	Номер провода (Верхний зажим)	Номер зажима	Оборудование
11	11	1	Тормоз «1»
12	12	2	Тормоз «1»
13	13	3	Двигатель «1»
14	14	4	Двигатель «1»
21	21	5	Тормоз «2»
N	22	6	Тормоз «2», Аккумулятор(24В.) -
23	23	7	Двигатель «3»
24	24	8	Двигатель «2»
34	34	9	Двигатель «2»
33	33	10	Двигатель «3»
15	111	1	Энкодер «2»
112	112	2	Энкодер «2»
113	113	3	Энкодер «2»
15	121	4	Концевик «2»
122	122	5	Концевик «2»
05	123	6	Концевик «2» Энкодер «2»
15	141, 131	7	Концевик «1» Энкодер «1»
132	132	8	Энкодер «1»
133	133	9	Энкодер «1»

где «1» – двигатель для горизонтального перемещения по оси Y; «2» – двигатель для подъёма по оси Z; «3» - двигатель для поворота манипулятора

Транзисторы, сдвиговые регистры, инфоационные входы/выходы для получения данных с датчиков расположены на плате (рисунок 2.13). Подключение платы с оборудованием представлены в таблицах 2.4, 2.5, 2.6.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР 15.03.06 - ПЗ	Лист
						26

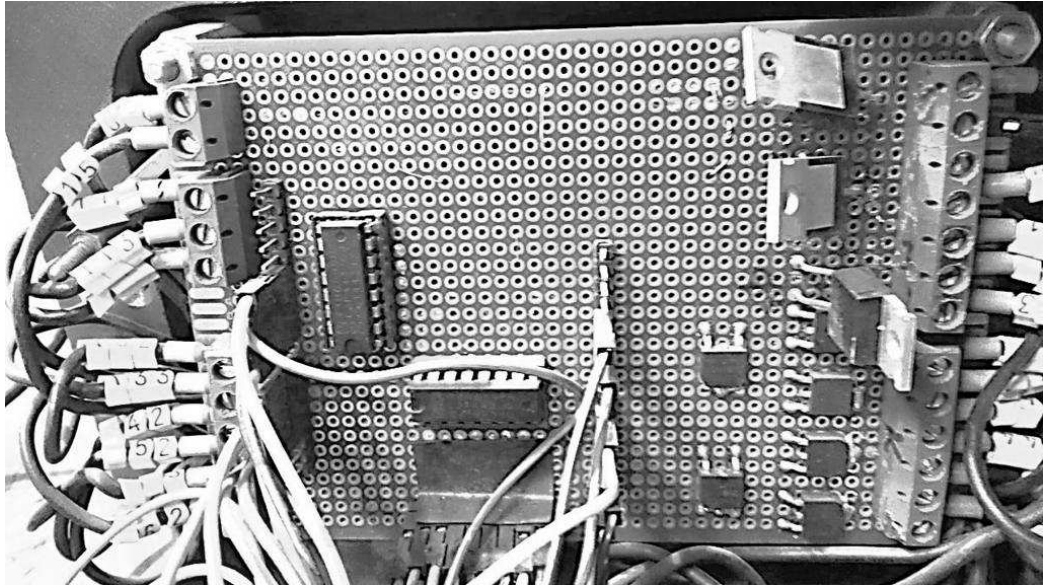


Рисунок 2.13– Внешний вид платы системы управления манипулятора

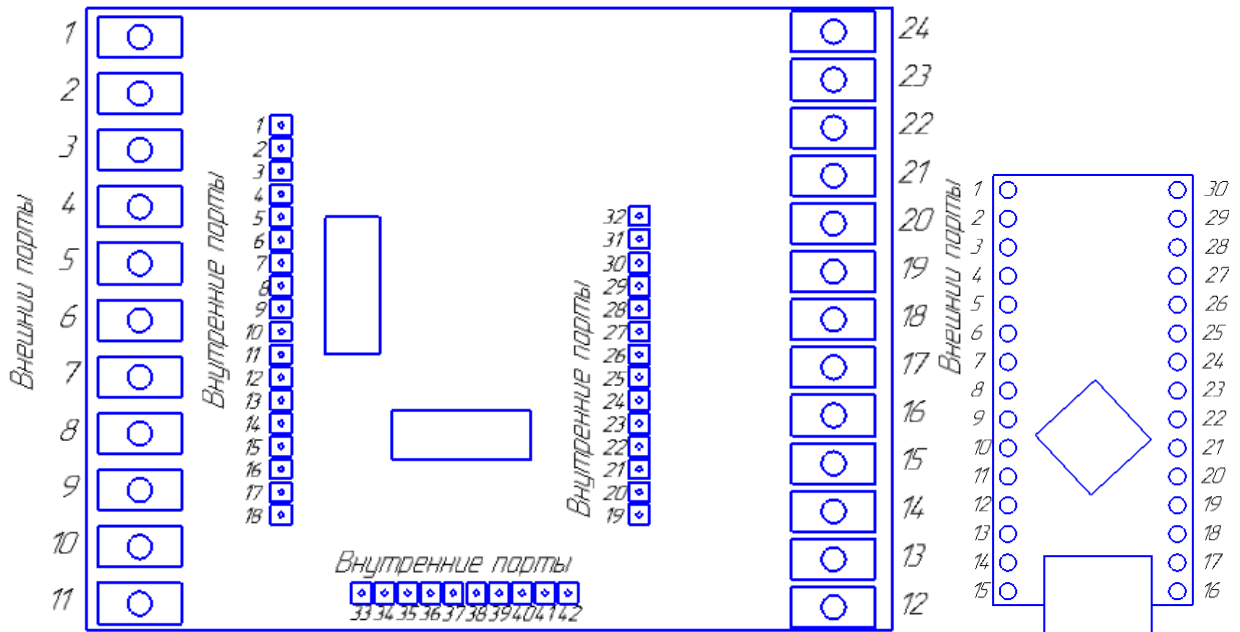


Рисунок 2.14 – Порты подключения системы управления манипулятора

Таблица 2.4 - Подключения платы с силовым оборудованием и датчиками

Внешние порты ввода вывода платы	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Номер проводки	132	133	142	152	153	162	43	41	44	42	46	45	03	02	01	N	.	.	N

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

Справ. №	Перв. примен.

Таблица 2.5 – Подключение платы с Arduino

Порт ATmega328P	Порт Arduino	Внутренний порт платы	Оборудование
	.	1	
	.	2	
	.	3	
	.	4	
	.	5	
PD2	5(D2)	6	SH_CP
PD7	10(D7)	7	DS
PD6	9(D6)	8	База транзистора
PD5	8(D5)	9	База транзистора
PB0	11(D8)	10	ST_CP
PC3	22(A3)	11	Энкодер 1 (132)
PB3	14(D11)	12	Энкодер 1 (133)
PC4	23(A4)	13	Концевик 1 (142)
PC5	24(A5)	14	Энкодер 3 (152)
PB1	12(D9)	15	База транзистора
	.	16	
	.	17	

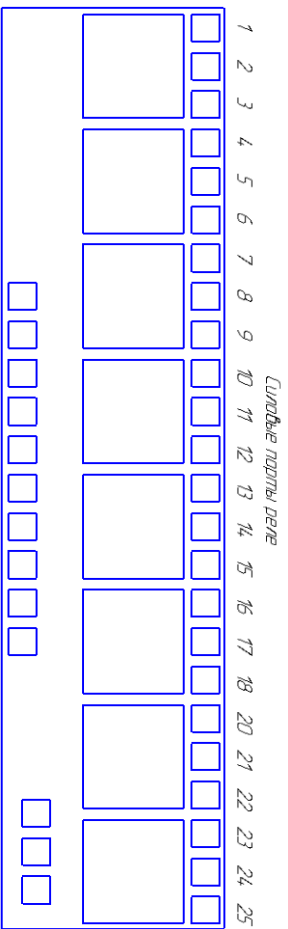


Рисунок 2.15 - Нумерация портов модуля реле

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР 15.03.06 - ПЗ	Лист
						28

Перв. примен.

Таблица 2.6 – Подключение платы с модуль реле

Внутренний порт платы	.	34	35	36	37	38	39	40	41	33
Прот Реле	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Подключение элементом системы управления мобильного робота (рисунок 2.16) представлено в таблицах 2.7, 2.8, 2.9, 2.10.

Страв. №

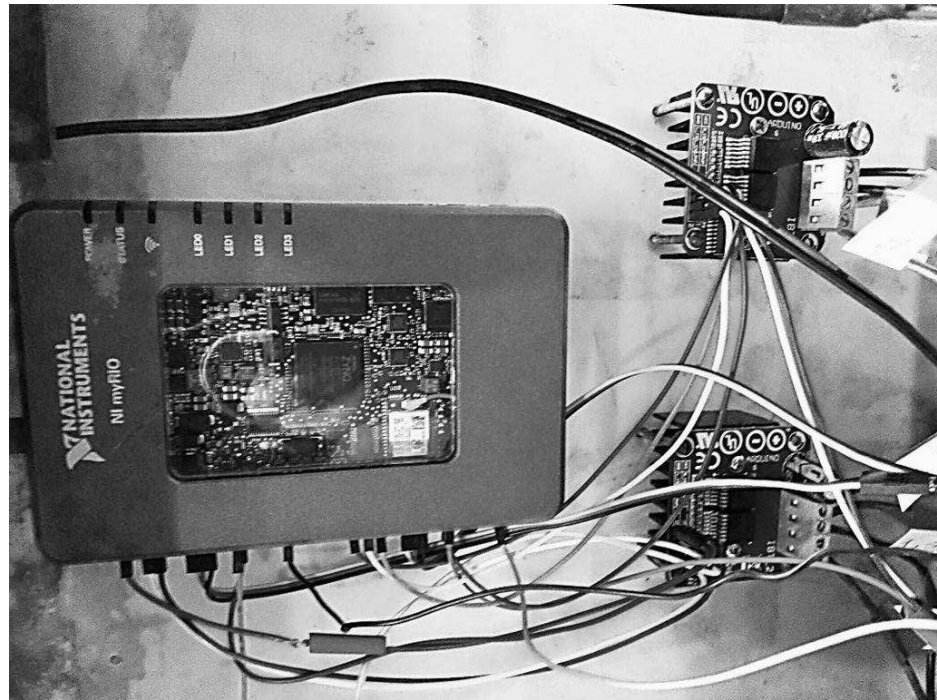


Рисунок 2.16 - Внешний вид платы системы управления манипулятора

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Таблица 2.8 – Подключение MyRio с оборудованием

А	
Порты MyRio	Оборудование
32	
33	Vcc Драйвера 2
В	
Порты MyRio	Оборудование
32	
33	Vcc Драйвера 2
34	

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

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист

29

<i>Инв. № подл.</i>	<i>Подпись и дата</i>	<i>Взам. инв. №</i>	<i>Инв. № дубл.</i>	<i>Подпись и дата</i>

<i>Справ. №</i>	<i>Перв. примен.</i>

<i>Изм.</i>	
<i>Лист</i>	
<i>№ докум.</i>	
<i>Подпись</i>	
<i>Дата</i>	

БР 15.03.06 - ПЗ

<i>Лист</i>	<i>30</i>
-------------	-----------

A

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

Справ. №	Перв. примен.

Изм.	
Лист	
№ докум.	
Подпись	
Дата	

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист	31
------	----

Оборудование	Порты MyRio
Питание энкодера 2 (красный: VCC)	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7
	8
	9
	10
L_EN Драйвера 1 R_EN Драйвера 1	11
	12
	13
	14
	15
	16
	17
Фаза В энкодера 2 (белый)	18
	19
Нулевой провод энкодера 2 (черный: = V0)	20
	21
Фаза А энкодера 2 (зеленый)	22
	23
	24
	25
	26
R_PWM Драйвера 1	27
L_PWM Драйвера 1	28
	29
GND Драйвера 2	30
	31

В

Оборудование	Порты MyRio
Питание энкодера 1 (красный: VCC)	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7
	8
TX Arduino	9
RX Arduino	10
L_EN Драйвера 2 R_EN Драйвера 2	11
	12
	13
	14
	15
GND Arduino	16
	17
Фаза В энкодера 1(белый)	18
	19
Нулевой провод энкодера (черный: = V0)	20
	21
Фаза А энкодера 1(зеленый)	22
	23
	24
	25
	26
R_PWM Драйвера 2	27
L_PWM Драйвера 2	28
	29
GND Драйвера 2	30
	31

2.4 Разработка принципиальной электрической схемы МРК

Когда нижний уровень системы управления МРК получил задание позиционирование привода, начинается выполнение программы для движения робота. Программа системы управления привода синтезирует напряжение $U_{\text{ШИМ}}$ для драйвера двигателей. Пропорционально $U_{\text{ШИМ}}$ драйвер формирует напряжение питания двигателя $U_{\text{пит.д.}}$ и управляет направлением движения, меняя полярность. Данные с энкодеров поступают на микроконтроллер. Разработана электрическая принципиальная схема мобильного робота в Proteus (ПРИЛОЖЕНИЕ А) Рассмотрим функциональную схему, где показан процесс прохождения задания позиционирования привода (рисунок 2.17) [6].

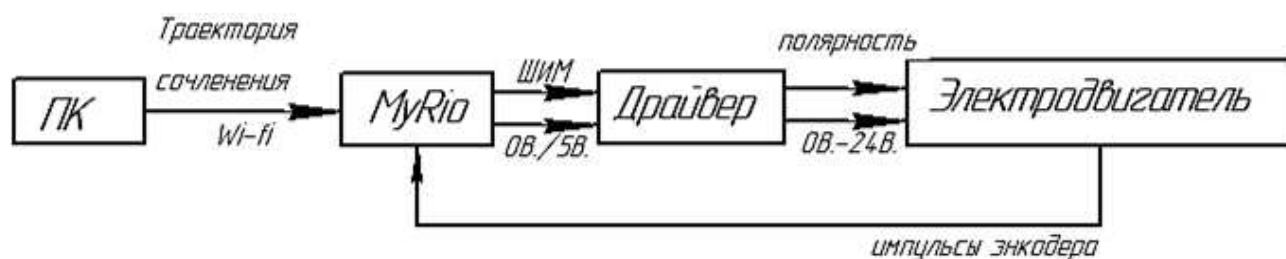


Рисунок 2.17 – Функции оборудования системы управления привода МР

Разработана электрическая принципиальная схема манипулятора в Proteus (ПРИЛОЖЕНИЕ Б), которая позволяет моделировать электрические процессы и наблюдать выполнение написанной программы системы управления. С ПК задания позиционирования приводов отправляются по Wi-fi на MyRio, потом через TX и RX на Arduino (рисунок 2.18) . Как только задания позиционирования приводов на чип Arduino, запускаются программы для позиционирования привода

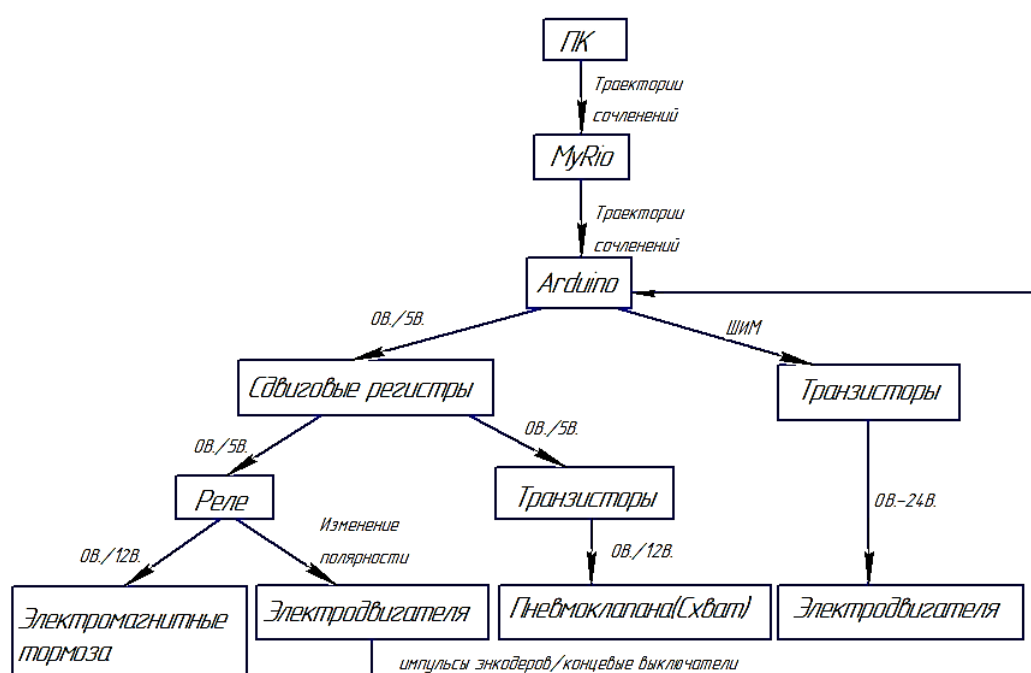


Рисунок 2.18 – Функции оборудования системы управления привода М

Перв. примен.				
Стр. №				
Подпись и дата				
Име. № дубл.				
Взам. име. №				
Подпись и дата				
Име. № подл.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
БР 15.03.06 - ПЗ				Лист
				32

. Программа синтезирует управляющие воздействия для сдвиговых регистров, транзисторов и реле. Сдвиговые регистры увеличивают выхода чипа. Транзисторы формируют уровень напряжения $U_{пит.д.}$ на двигателях (сочленениях), и открывают/закрывают пневмораспределители на схвате. Реле управляют реверсом двигателей(направлением движения), включают/выключают тормоза. Данные с энкодеров и концевиков поступают на микроконтроллер.

Перв. примен.

Страв. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист

33

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3 Математические модели МРК

Для решения задачи управления необходимо создать кинематическую модель мобильного робота и манипулятора. По заданным векторам X, Y, Z (пространственной траектории) МРК найти для каждого сочленения (двигателя) траекторию (вектор углов сочленений), решив обратную задачу кинематики (робототехники). По данным векторам формируется напряжение на ДПТ [1].

3.1 Математическое моделирование мобильного робота

Мобильный робот представляет из себя трехколесную платформу, которая имеет два ведущих колеса, с помощью которых осуществляется его перемещение и повороты, и опорное колесо, которое обеспечивает устойчивость платформы (рисунок 3.1).

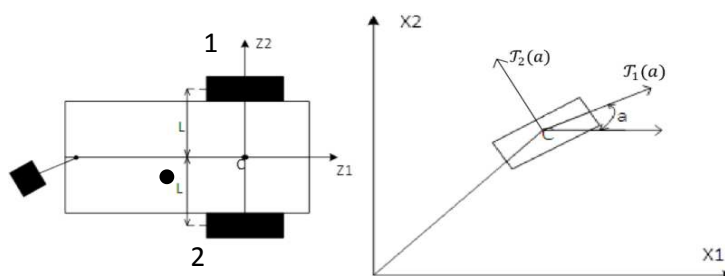


Рисунок 3.1 - Кинематическая схема мобильного робота

Кинематическая модель мобильного робота имеет вид [15]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= V_{z1} \cos \alpha, \\ \dot{x}_2 &= V_{z1} \sin \alpha, \\ \dot{\alpha} &= \omega, \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

где \dot{x}_1, \dot{x}_2 – скорости в абсолютной декартовой системе координат м/с; $\alpha, \dot{\alpha}$ – угол поворота и угловая скорость робота относительно оси x_1 в декартовой системе координат, рад и; ω - угловая скорость, рад/с; $V_z = (V_{z1}, V_{z2})$ – вектор относительных скоростей робота (относительно точки С), м/с.

Расчет составляющих вектора абсолютных линейных скоростей, продольной и поперечной скорости, для 1-го и 2-го колеса

$$\left. \begin{aligned} V_{1.1} &= V_{z1} - L\omega \\ V_{1.2} &= V_{z1} + L\omega \end{aligned} \right\}, \quad (3.2)$$

$$\left. \begin{aligned} V_{2.1} &= V_{z2} \\ V_{2.2} &= V_{z2} \end{aligned} \right\}, \quad (3.3)$$

где $V_{1.1}, V_{1.2}$ – продольные скорости 1-го и 2-го колеса м/с; $V_{1.1}, V_{1.2}$ – поперечные скорости 1-го и 2-го колеса м/с; L – расстояние от колесных модулей до оси z_1 , м.

Перв. примен.

Страв. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Относительная линейная скорость, без учета проскальзывания:

$$V_{z1} = \frac{K}{2}(u_1 + u_2), \quad (3.4)$$

угловая скорость:

$$\omega = -\frac{K}{2}(u_1 - u_2), \quad (3.5)$$

где K – коэффициент передачи; u_1, u_2 – продольная движущая сила 1-го и 2-го колеса.

Кинематическая модель в системе Matlab приведена на рисунке 3.2.

Управляющие воздействия $u_1(t), u_2(t)$ заданы блоками Simulink.

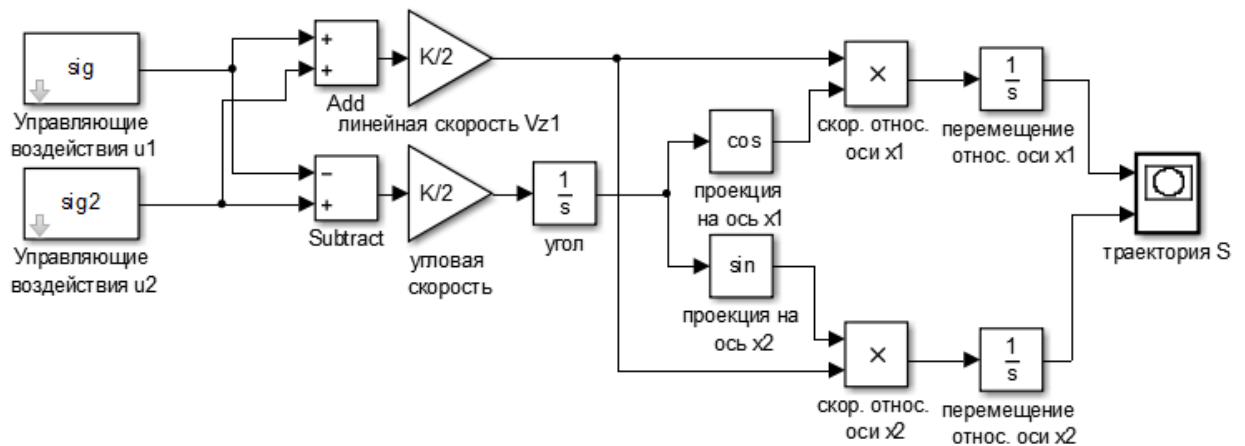


Рисунок 3.2 - Кинематическая модель мобильного робота в Matlab

Данная модель показывает, какую траекторию пройдет центр мобильного робота, при идеальном выполнении управляющих воздействий сочленениями без переходных процессов и инерционности, с условием того, что коэффициент передачи равен единице. Управляющие воздействия здесь рассматриваются как траектории перемещения каждого сочленения (поворот вала двигателя).

Алгоритм синтеза управлений u_1, u_2 для заданной траектории $S(x, y)$:

1) траектория задается по каждой оси x_1 и x_2 двумя массивами опорных точек $x(t_{x0}, \dots, t_{xk}) = (x_0, \dots, x_k; t_0, \dots, t_k)$ и $y(t_{y0}, \dots, t_{yk}) = (y_0, \dots, y_k; t_0, \dots, t_k)$ состоящую из двух векторов: 1й вектор - координаты; 2й вектор - время для каждой координаты (рисунок 4);

2) по опорным точкам x, y строим функцию по каждой оси x_1 и x_2 отдельно, получим массив точек функции $X_1(kT_0) = (X_{1,1}, X_{1,2}, \dots, X_{1,N})$, $X_2(kT_0) = (X_{2,1}, X_{2,2}, \dots, X_{2,N})$ где k - дискретное время; T_0 – интервал квантования;

3) приращение координат траектории за T_0 :

$$\begin{cases} \Delta X_1(kT_0) = X_1(kT_0) - X_1((k-1)T_0) \\ \Delta X_2(kT_0) = X_2(kT_0) - X_2((k-1)T_0) \end{cases}; \quad (3.6)$$

4) угол поворота:

$$a(kT_0) = a \tan(\Delta X_2(kT_0) / \Delta X_1(kT_0)); \quad (3.7)$$

5) часть траектории S за T_0 :

$$\Delta S(kT_0) = \sqrt{\Delta X_1(kT_0)^2 + \Delta X_2(kT_0)^2}; \quad (3.8)$$

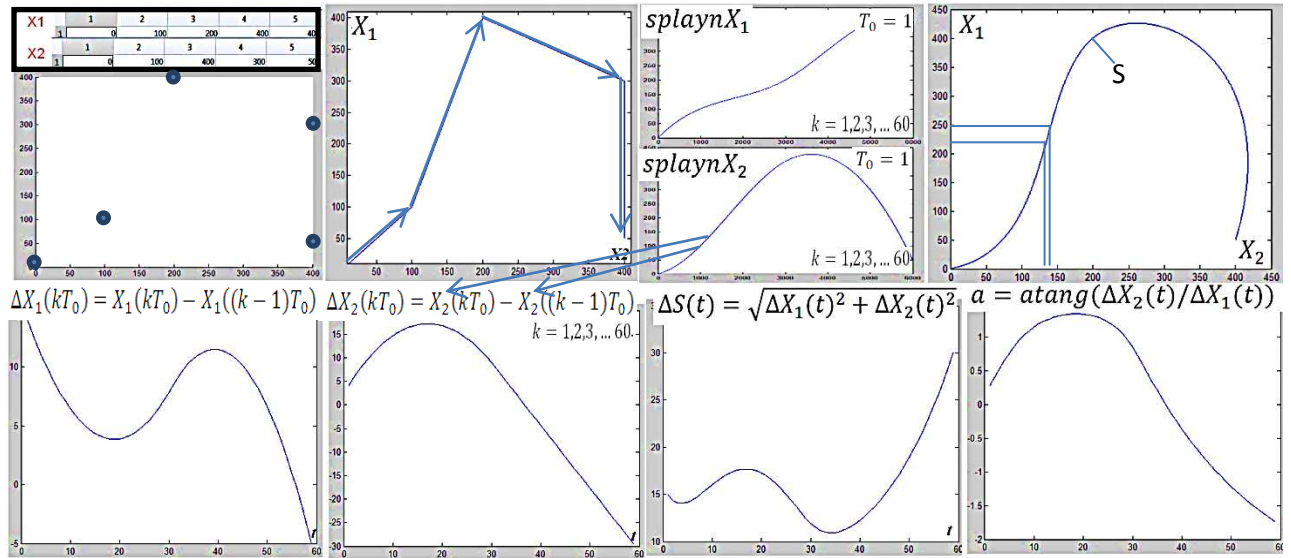


Рисунок 3.3 – Поиск $a(kT_0)$ и $\Delta S(kT_0)$ по траектории построенной функцией Spline

6) вычислим относительную и угловую скорость (рисунок 3.4):

$$V_{z1}(kT_0) = \Delta S(kT_0); \quad (3.9)$$

$$\omega(kT_0) = a(kT_0) - a((k-1)T_0); \quad (3.10)$$

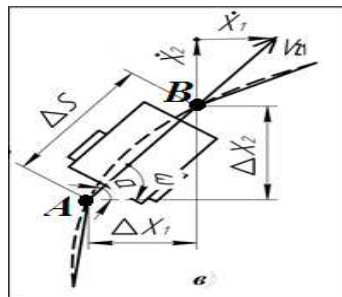


Рисунок 3.4 – Нахождение угловой и линейной скорости по заданной траектории

7) получим управляющие сигналы:

$$\begin{cases} u_1(t) = \omega(kT_0) + V_{z1}(kT_0) \\ u_2(t) = V_{z1}(kT_0) - \omega(kT_0) \end{cases}; \quad (3.11)$$

Реализация управления (3.11) представлена на рисунке 3.5.

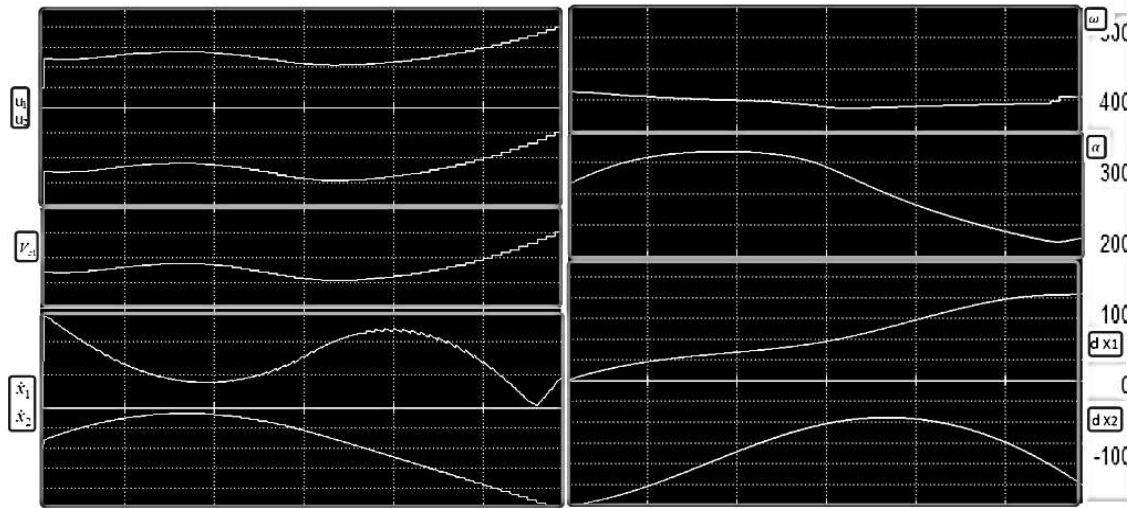


Рисунок 3.5 – Управление для произвольной траектории, построенной через функцию Spline

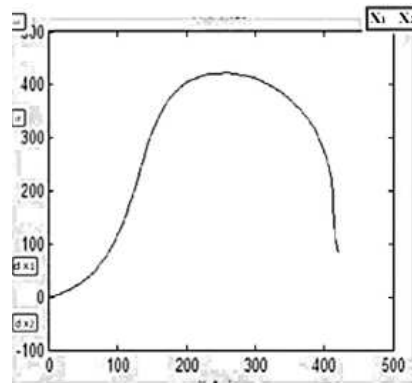


Рисунок 3.6 – Реализация управляющих воздействий кинематической моделью

При идеальном (мгновенном) выполнении позиционирования приводами МР $u_1(t) = \theta_{1\text{колесо}}(t)$ и $u_2(t) = \theta_{2\text{колесо}}(t)$ МР пройдет заданную траекторию, по которой были найдены $u_1(t)$ и $u_2(t)$.

Так как в приводе существуют нелинейности, силы трения, различные переходные характеристики двигателей и инерционности, то реальные перемещения будут с перерегулированиями или с задержками и соответственно с ошибками по позиционированию. На рисунке 3.6 показаны переходные процессы перемещения приводов МР к заданному положению 1000 импульсов энкодера при одинаковых параметрах системы управления, полученные в ходе эксперимента. Как видно из рисунка 3.6 переходные процессы перемещения приводов МР различные, поэтому первое колесо достигает заданное положения быстрее.

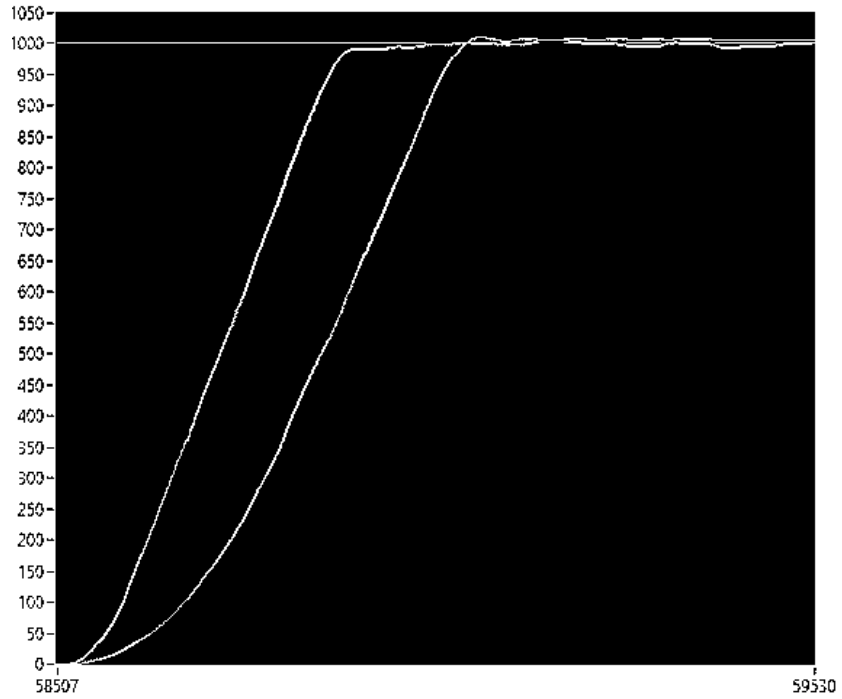
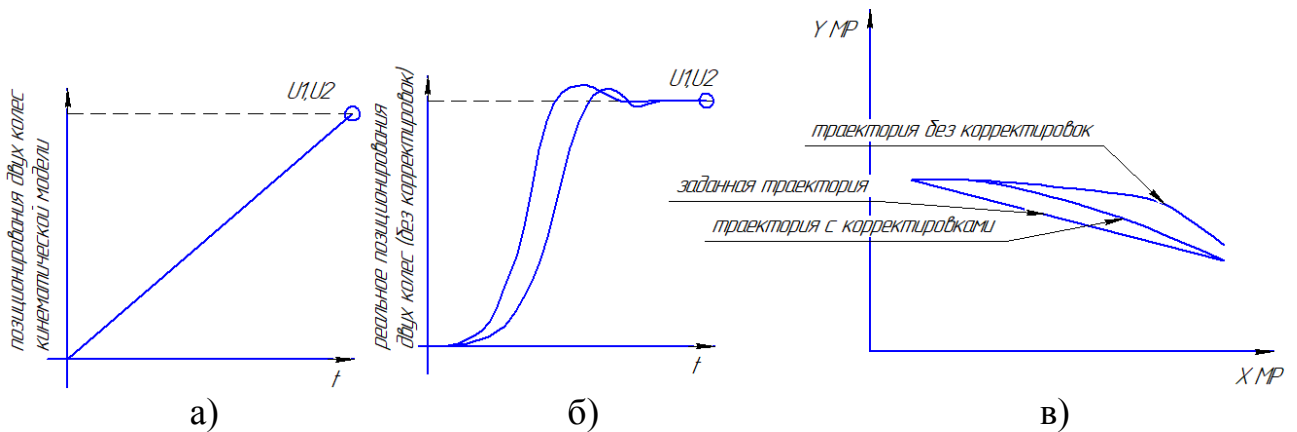


Рисунок 3.6 – Экспериментальные переходные процессы перемещения приводов МР к заданному положению 1000

Рассмотрим движение по прямой линии, когда заданная траектория каждого сочленения одинакова $u_1(t) = u_2(t)$ (формула 3.11) (рисунок 3.7а), но трение у первого колеса превышает трение второго колеса. Следовательно, время переходного процесса у первого колеса увеличится (рисунок 3.7б). Так как второе колесо начнет движение раньше первого, робот будет поворачиваться (рисунок 3.7в).



а) идеальное перемещение сочленения б) реальное перемещение сочленения в) траектория при идеальном переходном процессе и при реальном

Рисунок 3.7 – Траектория при одинаковых заданиях позиционирования приводов МР

В этой связи необходимо корректировать траекторию по ходу движения МР. Чтобы корректировать траекторию в реальном времени, необходимо

считывать текущее положение МР в каждый момент времени и вычислять корректирующие управление позиционирования приводов.

Рассмотрим кинематическую модель с обратной связью (рисунок 3.8).

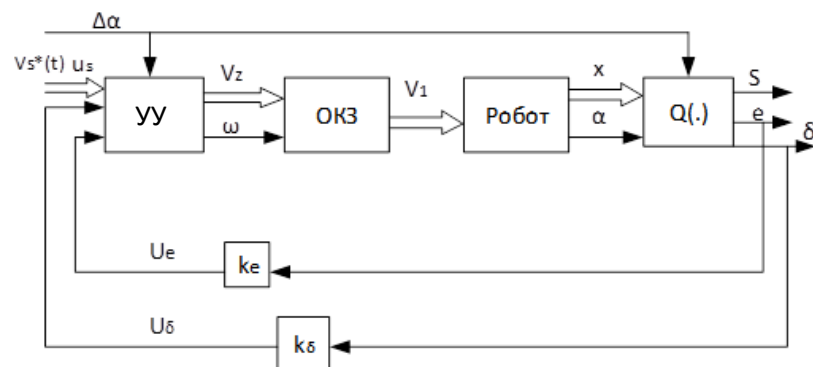


Рисунок 3.8 – Функциональная схема системы управления

Здесь ОКЗ – блок решения обратной кинематической задачи; $V_s(t)$ – заданная продольная скорость по траектории S ; $\Delta\alpha = const$ – желаемая относительная ориентация платформы робота-тележки на всем пути; u_δ – угловое управление; S – траектория (трасса) робота-тележки; e – поперечное отклонение от кривой S (ошибка положения); δ – угловое отклонение (ошибка угловой ориентации); k_e , k_δ – коэффициенты отрицательной обратной связи; V_1 – вектор продольных скоростей первого и второго колеса.

Реализация функциональной схемы в среде Matlab реализована на рисунке 3.9.

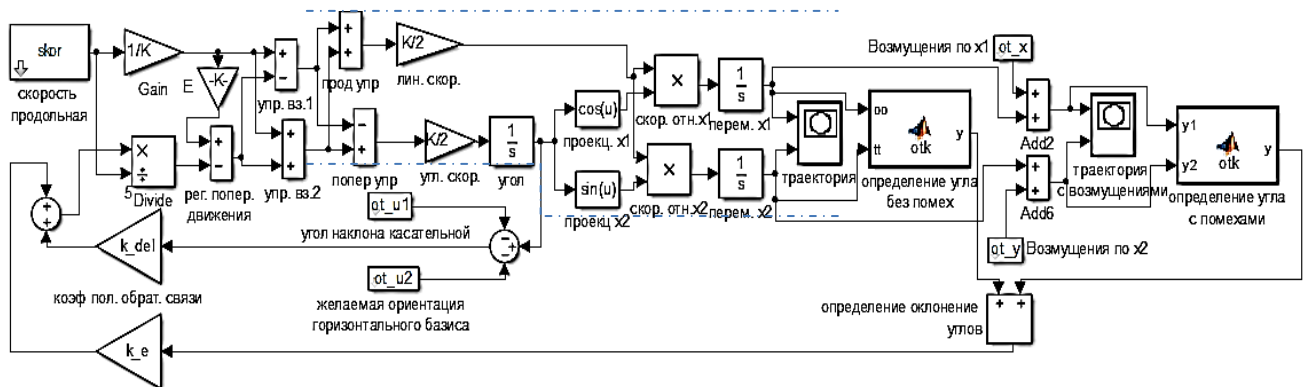


Рисунок 3.9 - Структурная схема замкнутой системы управления кинематической моделью

Дополнительные блоки, добавленные к кинематической модели, позволяют находить управляющие сигналы u_1 , u_2 , а так же траекторию, через скорость $V_s(t)$ и ориентацию $\Delta\alpha$.

Продольное управление:

$$u_s = \frac{1}{2}(u_1 + u_2) . \quad (3.12)$$

Локальный регулятор:

$$u_s = \frac{1}{K} V_s^* . \quad (3.13)$$

Поперечное управление:

$$u_e = -\frac{1}{2}(u_1 - u_2) . \quad (3.14)$$

Управляющие воздействия u_1 и u_2 :

$$u_1 = u_s - u_e , u_2 = u_s + u_e . \quad (3.15)$$

Регулятор поперечного движения:

$$u_e = \xi U_s - \frac{k_e}{V_s^*} e - \frac{k_\delta}{V_s^*} \delta . \quad (3.16)$$

Уравнения (3.13) – (3.16) описывают регуляторы мобильного робота. Зависимость (3.14) и (3.16) позволяет регулятору поперечного движения управлять поворотом мобильного робота. Аналогичным образом, линейная скорость мобильного робота управляется локальным регулятором. Блок продольной скорости формирует сигналы локального регулятора. Зависимости поперечного и продольного управления от регуляторов показаны на рисунке 3.10.

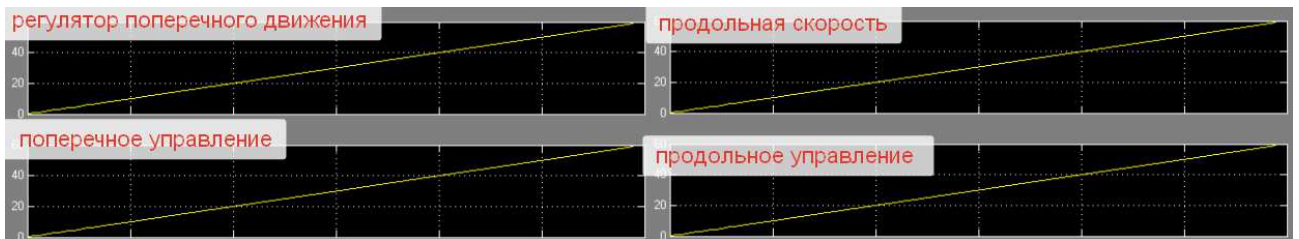


Рисунок 3.10 – Управлений регуляторов

Угловая ориентация робота по отношению к траектории S определяется соотношением:

$$\alpha = \alpha^* + \Delta\alpha \quad (3.17)$$

где α^* – угол наклона касательной $\alpha^*(s)$ в текущей точке $\mathbf{x}^c = (x_1^c, x_2^c)$ относительно оси x_1 ; $\Delta\alpha$ – желаемая ориентация горизонтального базиса $\tau_1(\alpha)$ робота-тележки относительно текущей траектории $\alpha^*(s)$, α – угол поворота (ориентации) робота относительно оси x_1 .

Ошибка угловой ориентации:

$$\delta = \alpha - \alpha^* - \Delta\alpha \quad (3.18)$$

Поворот робота зависит от поперечного управления u_e . На рисунке 3.11 показана зависимость поперечного управления u_e от угловой ориентации $\Delta\alpha$, основанной на уравнениях (3.14), (3.16), (3.17) и (3.18).

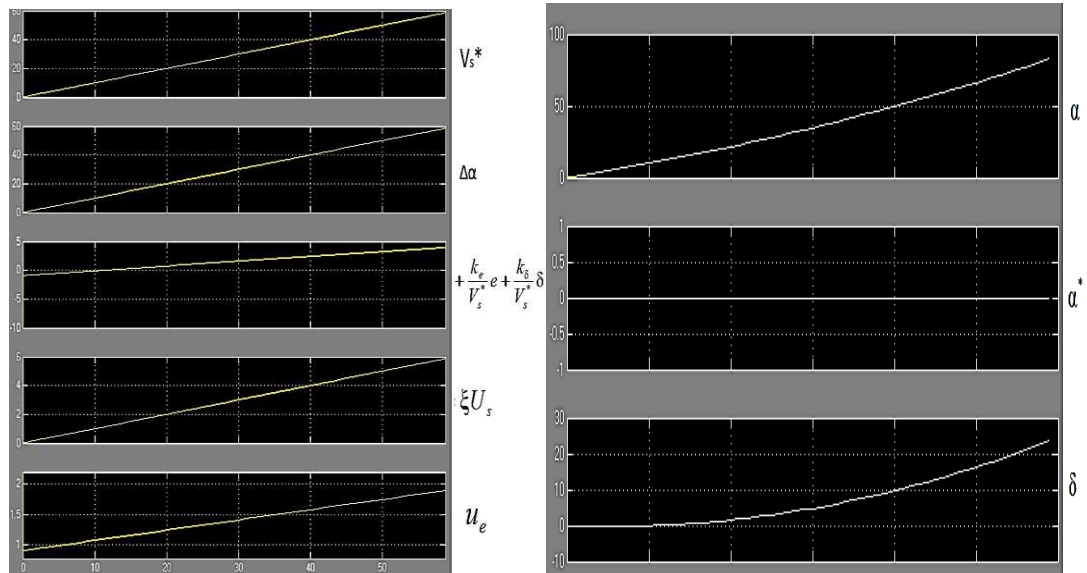


Рисунок 3.11 - Зависимость поперечного управления от угловой ориентации

Соответствующая траекторная модель робота-тележки имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{s} &= Ku_s, \\ \dot{e} &= s\delta, \\ \dot{\delta} &= -\xi\dot{s} + Ku_e, \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

где \dot{s} – продольная динамика тележки; \dot{e} – поперечная динамика тележки; $\dot{\delta}$ – угловая динамика тележки; $\xi = \xi(s)$ – кривизна траектории.

Дифференциальные уравнения (3.19) характеризует переходной процесс перемещения робота. Переходной процесс угла поворота представлен на рисунке 3.12. Зависимость (3.16) и (3.19) показывает, что при уменьшении скорости или при увеличении коэффициентов обратной связи, длительность переходного процесса уменьшается за счет увеличения длительности управляющих сигналов.

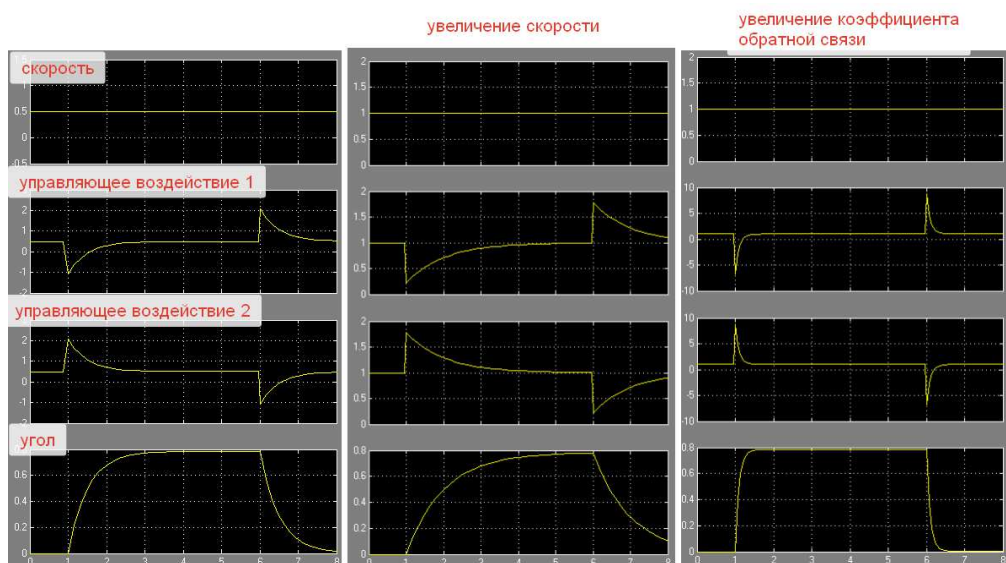


Рисунок 3.12 – Переходный процесс угла поворота

Для поворота робота на определенный угол α , подается сигнал угловой ориентации $\Delta\alpha$. На рисунке 3.13 показан поворот робота.

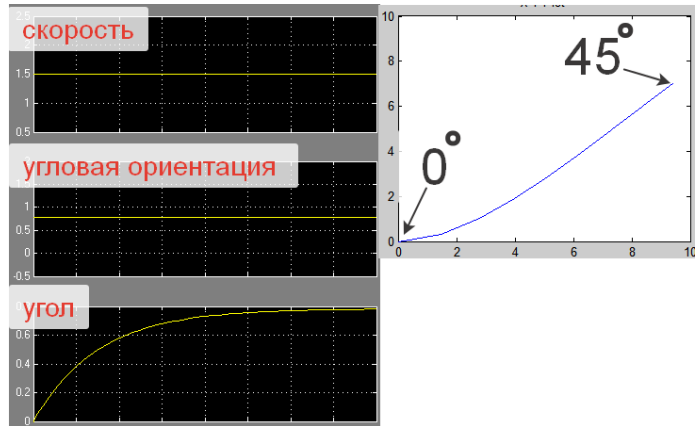


Рисунок 3.13 – Моделирование поворота робота на угол

При поданном сигнале продольной скорости по траектории V_s^* , и при отсутствии ориентации $\Delta\alpha$, робот поедет по прямой как показано на рисунке 3.14.

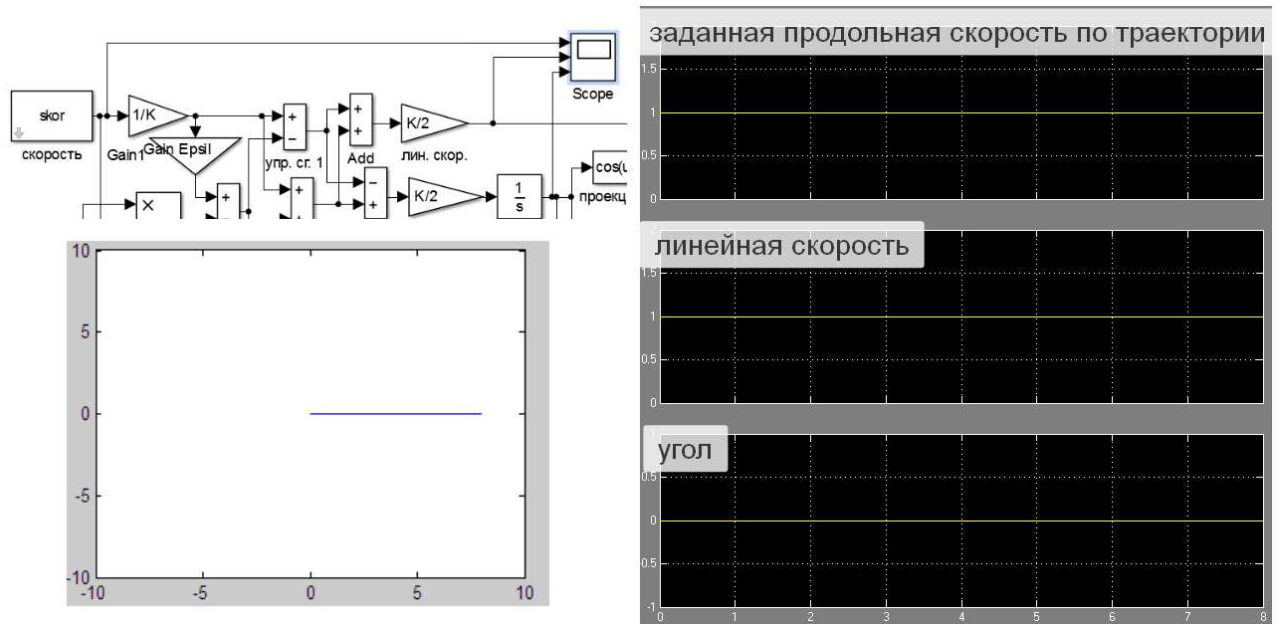


Рисунок 3.14 – Моделирования движения по прямой

После нахождения скорости V_s^* и угла α по формуле (3.9) и (3.10), в каждый момент времени, $\Delta\alpha$ и V_s^* подаются на блоки в Simulink, для моделирования траектории.

Наблюдаемые (измеренные) координаты робота $y_1(t)$ и $y_2(t)$:

$$y_1(t) = x_1(t) + \varepsilon_1(t), \quad y_2(t) = x_2(t) + \varepsilon_2(t) \quad (3.20)$$

где $\varepsilon_1(t)$ и $\varepsilon_2(t)$ – неконтролируемые возмущения (проскальзывание), в каждый момент времени.

Обратная связь позволяет компенсировать влияние неконтролируемых возмущений. Для имитации неконтролируемых возмущений задаются случайные воздействия, которые изменяют траекторию движения. При помощи блоков функций, показанными на рисунке 3.9, находятся отклонения от заданной траектории. Эти отклонения поступают на регулятор поперечного движения, добавляется дополнительный угол, на который необходимо повернуть тележку, чтобы возвратиться на заданную траекторию МР. На рисунке 3.15 показана заданная траектория, и траектория проходимая роботом, то есть с ошибкой.

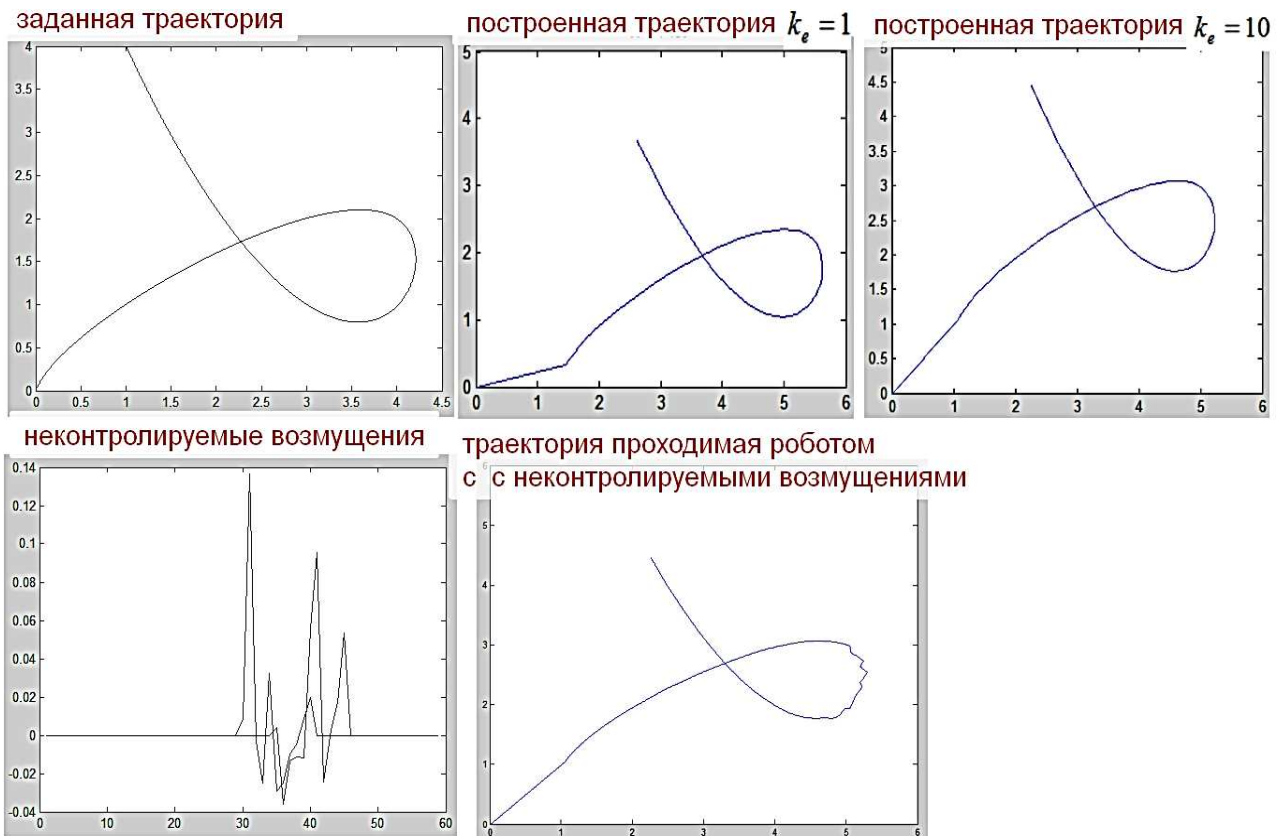


Рисунок 3.15 – Прохождения траектории мобильным роботом, без внешних возмущений и с внешними возмущениями.

3.2 Математическое моделирование манипулятора

Первая и основная задача кинематики – определение функции положения. При решении прямой задачи о положении схвата манипулятора обычно используют метод преобразования координат Денавита - Хартенберга. Исполнительный механизм робота общего вида может рассматривается как кинематическая цепь, связанная в сочленениях, движениями которых управляют приводы. Соединения бывают трех видов: поворотные(вращательные), призматические(телескопические), комбинация этих двух видов. Денавитом и Хартенбергом было определено понятие «низшая пара» образуемая контактирующими поверхностями. В этом смысле сочленениями «высшей пары» являются сочленения, образованные точечными или линейными контактами между двумя телами.

Для составления кинематической схемы воспользуемся алгоритмом назначения и описания координат звеньев, совместимых с преобразованием Денавита – Хартенберга[7].

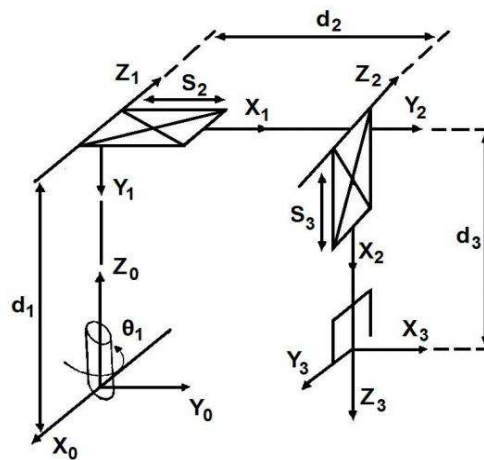


Рисунок 3.16 – Кинематическая схема

Прямая задача кинематики многосвязных механизмов состоит в следующем: необходимо найти матрицу(радиус-вектор), которая определяет координаты захватного устройства манипулятора в пространстве относительно некоторой неподвижной системы координат, зная конструктивные параметры манипулятора и значения обобщенных параметров q_i для всех его кинематических пар. Кроме координат захватного устройства манипулятора необходимо определить его пространственную ориентацию. Так как манипулятор состоит из вращательного и двух призматических сочленений, то переходная матрица примет вид :

$$T_0^3 = Rot(z_0, \theta) Trans(x_1, x_2) Trans(x_2, x_3) \quad (3.21)$$

$$T_0^3 = \begin{pmatrix} C\theta & -S\theta & 0 & 0 \\ S\theta & C\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & rC\theta \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} C\theta & -S\theta & 0 & rC\theta \\ S\theta & C\theta & 0 & rS\theta \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.22)$$

где $Rot(z_0, \theta)$ - матрица переноса вдоль оси z_0 ; $Trans(x_1, x_2)$ - матрица переноса вдоль оси z_1 ; $Trans(x_2, x_3)$ - матрица переноса вдоль оси z_2 , r – радиус вектор в полярных координат; θ - угол наклона радиус-вектора в полярных координатах; C – \cos ; S - \sin .

Обратная задача кинематики состоит в следующем: по известной матрице захватного устройства манипулятора в пространстве необходимо определить значения обобщенных координат q_i . Поиск координат q_i при известных значениях X , Y и Z не является простым и однозначным, т.к. уравнения нелинейные. Однако, для данного манипулятора с цилиндрической системой координат возможно решение обратной задачи геометрически, то есть

обратным переходом от декартовых к полярным координатам. Для этого решим систему уравнений:

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \\ z = z \end{cases} \quad (3.23)$$

Так как необходимо найти только r и θ :

$$r = \sqrt{(x^2 + y^2)} \quad (3.24)$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{y}{x}\right) \quad (3.25)$$

Траектория может быть задана произвольными функциями рассмотрим, пример когда схват движется линейно по всем трем координатам

$$X_{\text{схвата}} = [0 \dots 100] * 1; Y_{\text{схвата}} = [0 \dots 100] * 2; Z_{\text{схвата}} = [0 \dots 100] * 3. \quad (3.26)$$

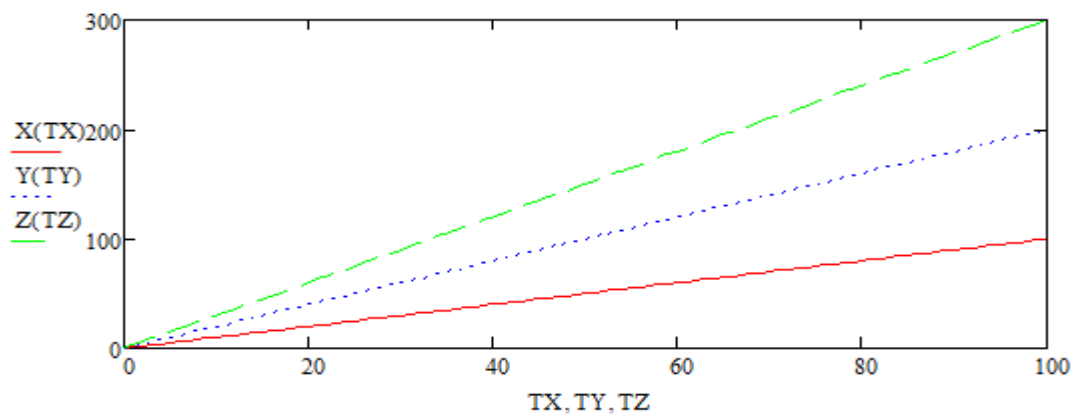


Рисунок 3.17 – Перемещение схвата X, Y, Z от дискретного времени T_k

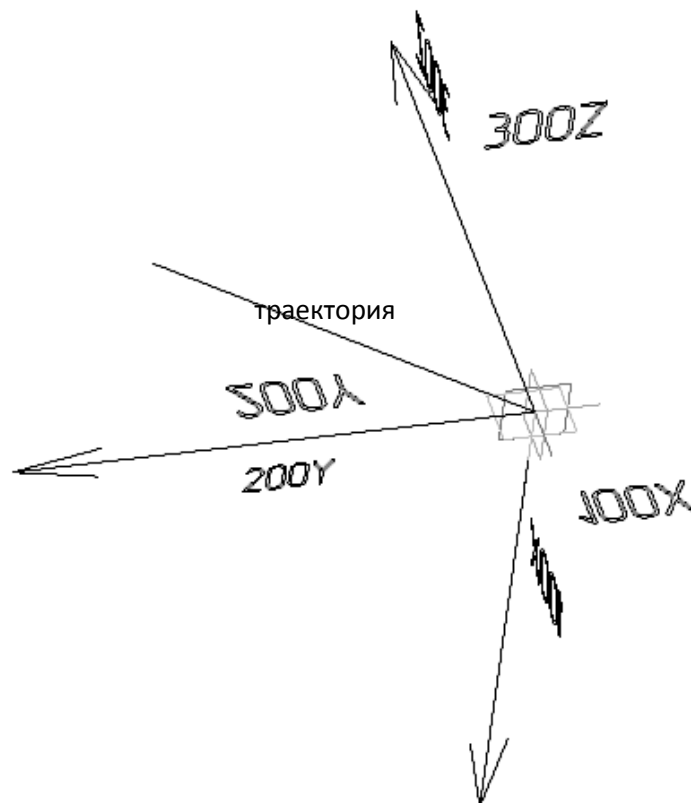


Рисунок 3.18 – 3D траектория схвата при $X = 0 \dots 100$, $Y = 0 \dots 200$, $Z = 0 \dots 300$.

Получим траектории для каждого сочленения

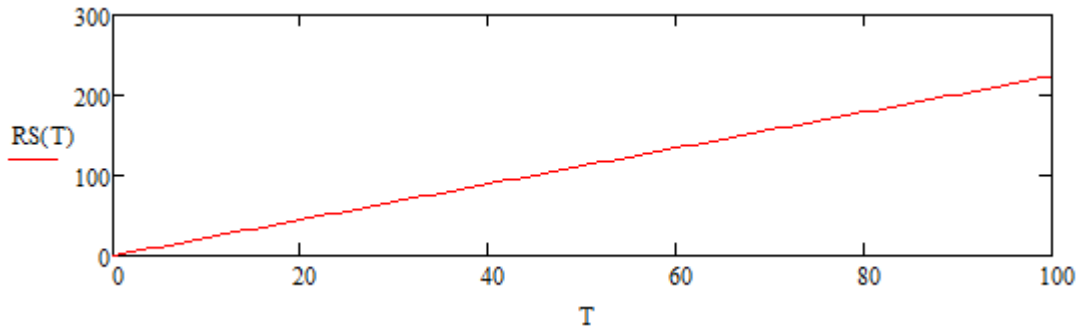


Рисунок 3.19 – Позиционирование первого сочленения

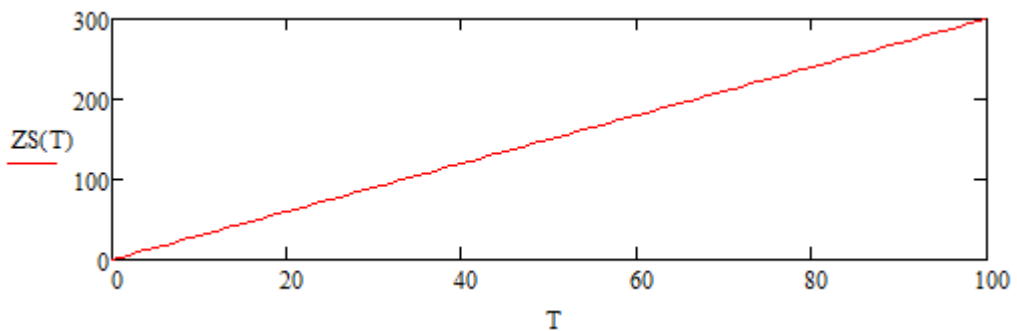


Рисунок 3.20 – Позиционирование второго сочленения

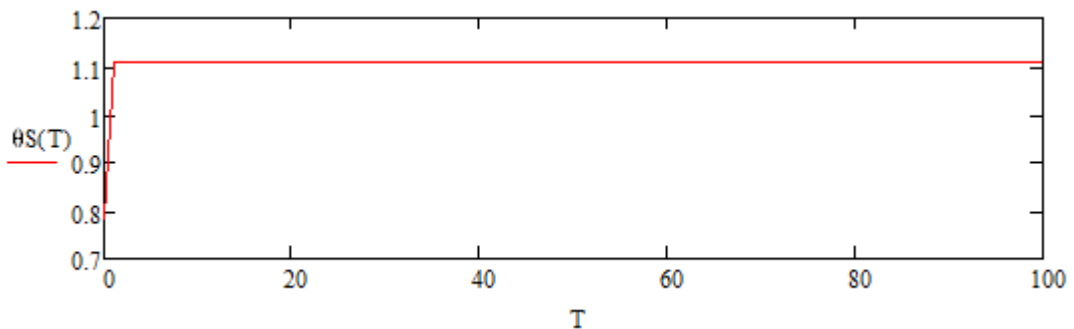


Рисунок 3.21 – Позиционирование третьего сочленения

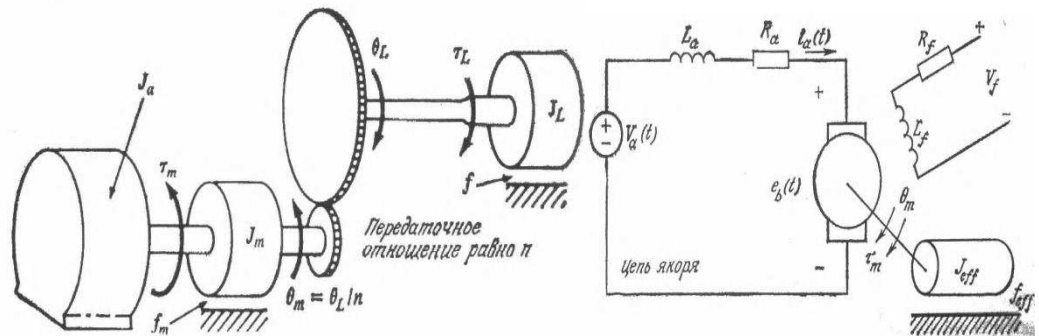
Данные графиков позиционирования приводов отправляются на третий уровень управления МРК, для реализации траектории.

3.3 Динамическая модель МРК

Управления МРК в общем случае сводится к разработке его динамических моделей и к синтезу закона управления на основе этих моделей. Анализ управляемого движения МРК показывает, что управление движением выполняется в два этапа. На первом этапе осуществляется управление, при котором МРК перемещается из начального положения в окрестность желаемого конечного положения вдоль планируемой траектории или ориентируется в заданном положении на основе траекторий сочленений для кинематической модели. На втором этапе реализуется управление следящей системы. Если движение МРК описывается уравнениями Ньютона — Эйлера, задачей

управления является нахождение управляющих моментов и сил (рисунок 3.22). Эти моменты и силы должны обеспечивать максимально приближенное к заданной траектории движение конечного звена МРК в реальном времени[3].

Управляющие моменты сочленения определяются с помощью динамической модели, основанной на используемых уравнениях движения. Устройство позиционирования обеспечивает управление двигателем таким образом, чтобы реальное угловое перемещение сочленения совпадало с желаемым угловым перемещением спланированной траектории[4].



где V_a — напряжение якоря, В; V_f — напряжение поля, В; L_a — индуктивность якоря, Гн; L_f — индуктивность поля, Гн; R_a — сопротивление якоря, Ом; R_f — сопротивление поля, Ом; i_a — ток якоря, А; i_f — ток поля, А; e_b — электродвижущая сила, В; τ — момент, развиваемый двигателем, Н.м; θ_m — угловое перемещение вала двигателя, рад; θ_L — угловое перемещение вала нагрузки, рад; J_m — момент инерции двигателя, приведенный к валу двигателя, Н.м.с²/рад; f_m — коэффициент вязкого трения двигателя, приведенный к валу двигателя, Н.м.с/рад; f_L — момент инерции нагрузки, приведенный к валу нагрузки, Н.м.с²/рад; f_L — коэффициент вязкого трения нагрузки, приведенный к валу нагрузки, Н.м.с/рад; N_m — число зубьев внутреннего редуктора (редуктора двигателя); N_L — число зубьев внешнего редуктора (редуктора нагрузки).

Рисунок 3.22 - Устройство звена сочленения

Работа ДПТ с независимым возбуждением описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} L_{я} \frac{di_{я}(t)}{dt} + R_{я} i_{я}(t) = u_{я}(t) - k_E \omega_D(t) \\ J \frac{d\omega_D(t)}{dt} = k_M i_{я}(t) - M_C(t) \end{cases}, \quad (2.27)$$

где $L_{я}$ — индуктивность якорной обмотки ДПТ; $i_{я}$ — ток якоря (рисунок 3.32); $R_{я}$ — сопротивление якоря; k_E — электрическая постоянная; k_M — механическая постоянная; ω_D — угловая скорость на валу двигателя (рисунок 3.33); J — момент инерции на валу двигателя; M_C — момент сопротивления; $\frac{1}{J_p}$ — механическая часть системы.

Применим преобразование Лапласа к (2.13):

$$\begin{cases} L_{Я} \cdot p \cdot i_{Я} + R_{Я} \cdot i_{Я}(p) = U_{Я}(p) - k_E \cdot \omega_D(p) \\ J \cdot p \cdot \omega_D(p) = k_M \cdot i_{Я}(p) - M_C(p) \end{cases} \quad (2.28)$$

Передаточную функцию ДПТ можно разделить на две части: на передаточную функцию якорной цепи:

$$W_{Я}(p) = \frac{i_{Я}(p)}{\Delta U_{Я}(p)} = \frac{1}{L_{Я}p + R_{Я}} \quad (2.29)$$

и передаточную функцию механической части:

$$W_M(p) = \frac{\omega_D(p)}{\Delta M(p)} = \frac{1}{Jp} \quad (2.30)$$

Работа редуктора описывается следующим уравнением:

$$\alpha_H(t) = \frac{1}{i} \alpha_D(t) \quad (2.31)$$

Применим преобразование Лапласа к (2.19):

$$\alpha_H(p) = \frac{1}{i} \alpha_D(p) \quad (2.32)$$

Найдём передаточную функцию звена:

$$W_{ред}(p) = \frac{\alpha_H(p)}{\alpha_D(p)} = \frac{1}{i} \quad (2.33)$$

Редуцированная модель тележки с двумя независимо моторизованными ведущими колесами описывается приведенными ниже уравнениями.

$$\dot{y}_1 = \cos \alpha V_{z1}, \quad (3.34)$$

$$\dot{y}_2 = \sin \alpha V_{z1}, \quad (3.35)$$

$$\dot{\alpha} = \omega, \quad (3.36)$$

$$m_0 \dot{V}_{z1} = F_{z1}, \quad (3.37)$$

$$J_0 \dot{\omega} = M, \quad (3.38)$$

$$F_{z1} = u^1 + u^2, \quad (3.39)$$

$$M = -\zeta(u^1 - u^2), \quad (3.40)$$

где: $V \in R^2$ - вектор относительных линейных скоростей (рисунок 3.36); $F = (F_1, F_2)$ - вектор внешних действующих сил; M - результирующий момент;

ω - угловая скорость (рисунок 3.33); m_0 и J_0 - массо-инерционные параметры платформы; u – управляющий сигнал (рисунок 3.35).

При составлении уравнений динамики следует принять следующие допущения:

- все элементы системы не содержат существенных нелинейностей, поэтому могут быть описаны линейными уравнениями;

Перв. примен.				
Справ. №				
Подпись и дата				
Инв. № дубл.				
Взам. инв. №				
Подпись и дата				
Инв. № подл.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
БР 15.03.06 - ПЗ				Лист
				48

- момент инерции звена робота J постоянный;
- К.П.Д. редуктора $\eta = 1$;
- момент силы тяжести не учитывается
- момент силы трения не учитывается
- момент упругости не учитывается
- нет линейной функции формирования напряжения
- нет ограничения по току, напряжения, скорости, перемещения
- нет корректировки траектории
- нет компенсирующего устройства
- передаточные функции колес равны
- колеса на одинаковом расстоянии от центра МР
- пассивное колесо параллельно к вектору скорости МР
- нет люфта механизма
- центр масс в центре МР
- нет проскальзывания

Моделирование динамики МР в Simulink представлено на рисунке 3.23.

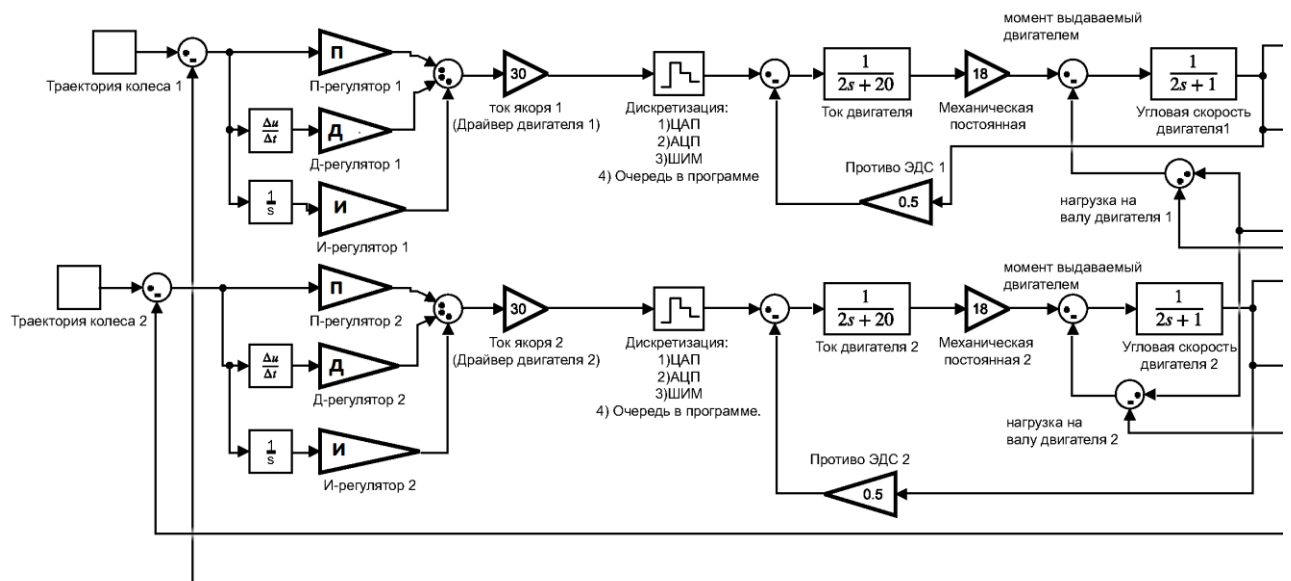


Рисунок 3.23 – 1 Часть структурной схемы системы в программе MATLAB

Перв. примен.

Стр. №

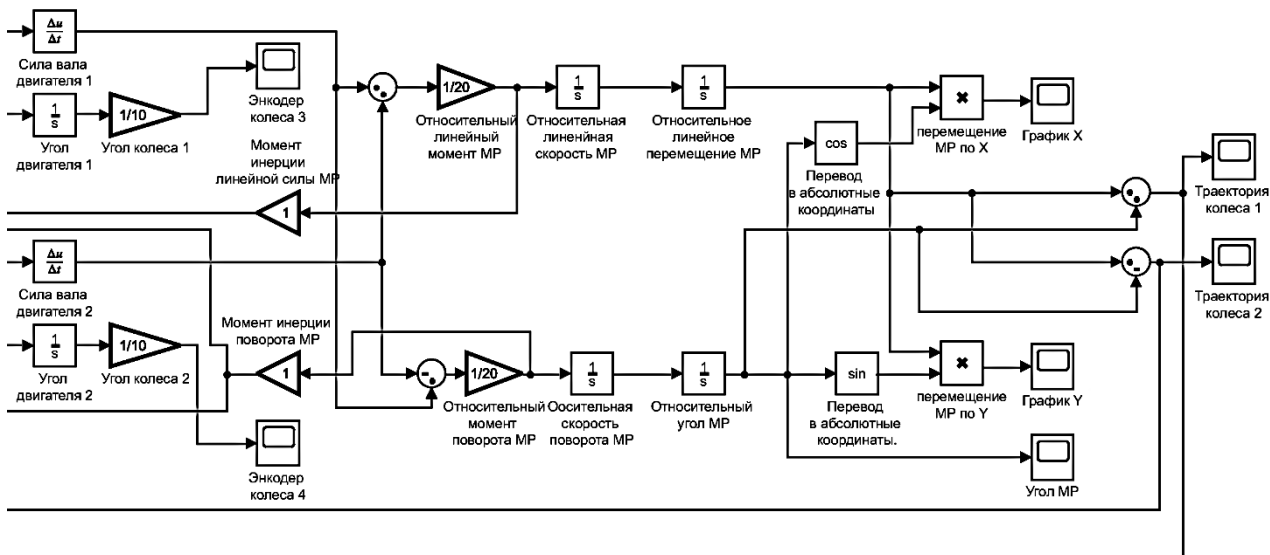
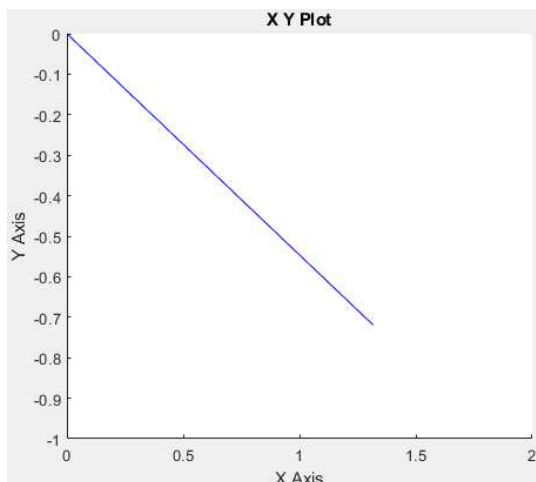


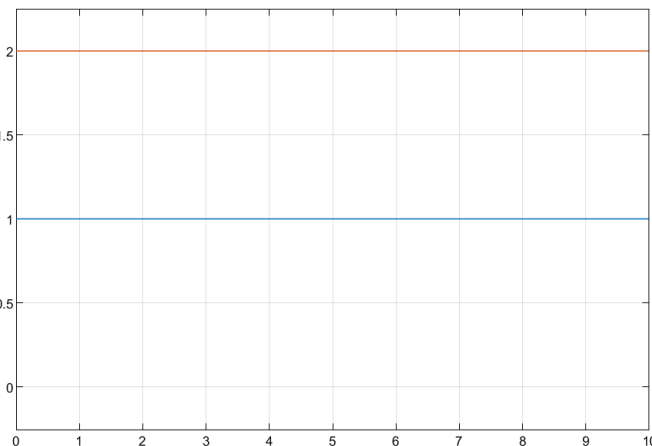
Рисунок 3.24 – 2 Часть структурной схемы системы в программе MATLAB

При подаче задания позиционирования на колеса динамической модели мобильного робота есть возможность наблюдать:

- влияние инерции системы (MP);
- силу двигателя и системы (MP);
- скорость сочленений и системы (MP);
- силу тока (момент) двигателя;
- траекторию сочленений и системы (MP);



а) заданная траектория MP



б) подаваемая траектория сочленений

Рисунок 3.25 – Траектории

Подпись и дата

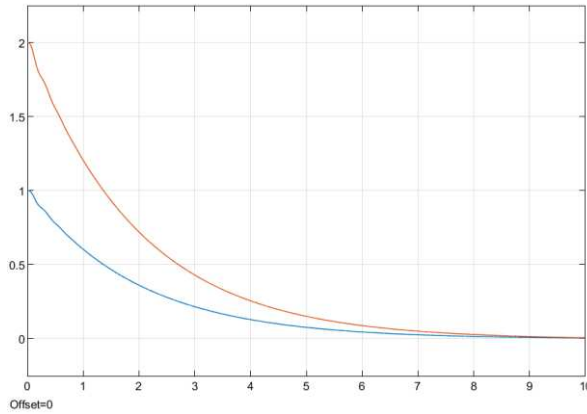
Име. № дубл.

Взам. инв. №

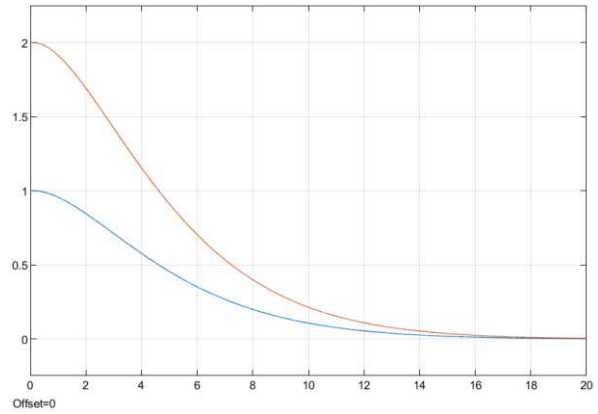
Подпись и дата

Име. № подл.

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

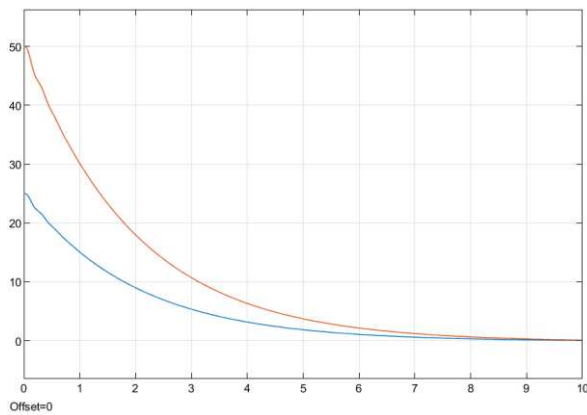


а) система с ПИД регулятором

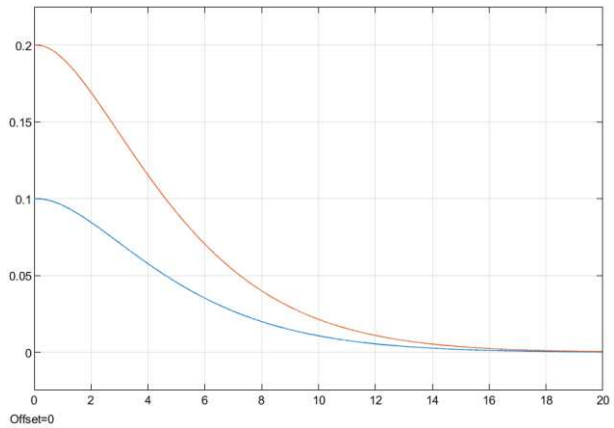


б) система с П регулятором

Рисунок 3.26 - Переходной процесс ошибки позиционирования 1 и 2 сочленения

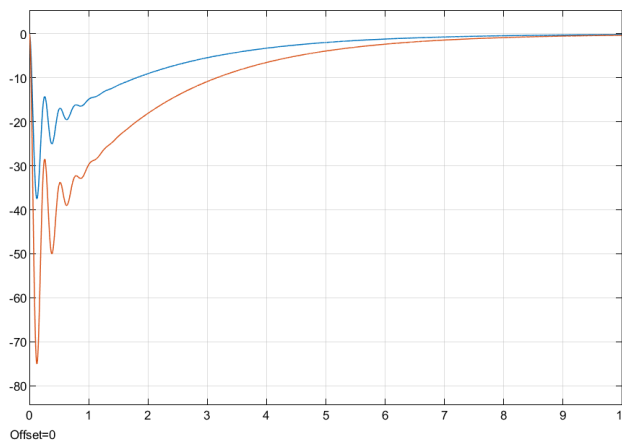


а) система с ПИД регулятором

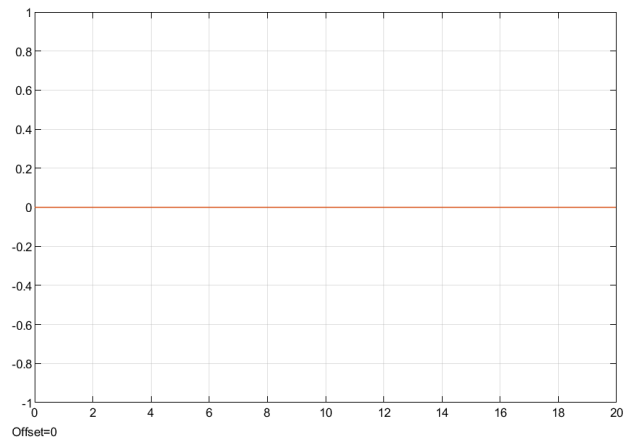


б) система с П регулятором

Рисунок 3.27 - Переходной процесс задания П-регуляторов 1 и 2 сочленения



а) система с ПИД регулятором



б) система с П регулятором

Рисунок 3.28 - Переходный процесс задания Д-регулятора 1 и 2 сочленения

Перв. примен.

Стр. №

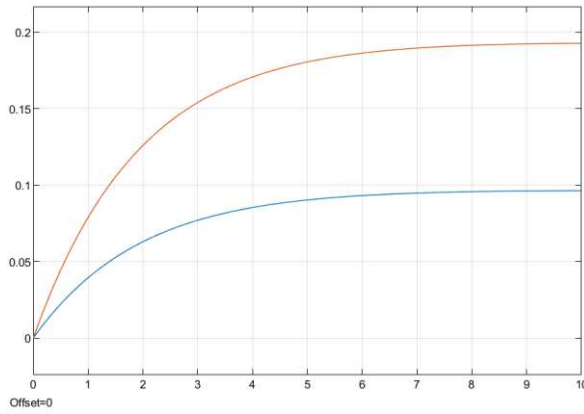
Подпись и дата

Инв. № дубл.

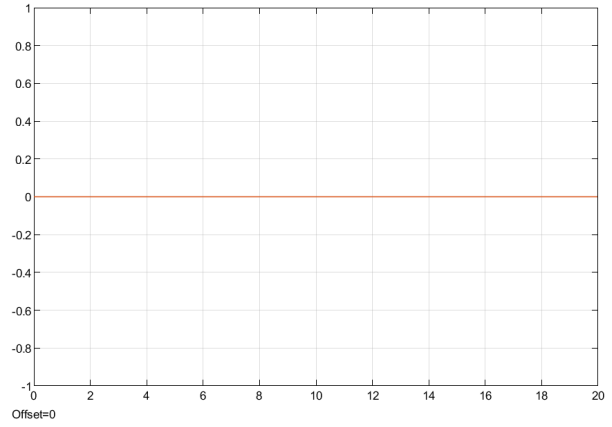
Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

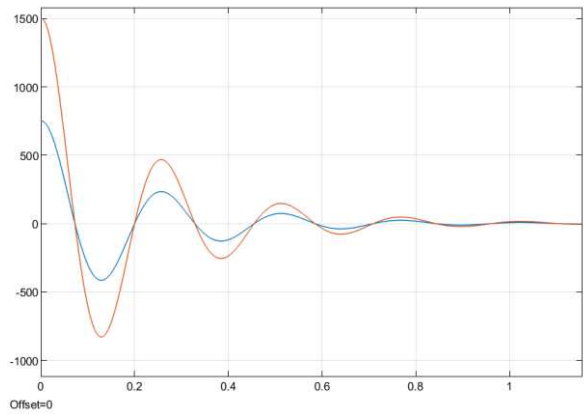


а) система с ПИД регулятором

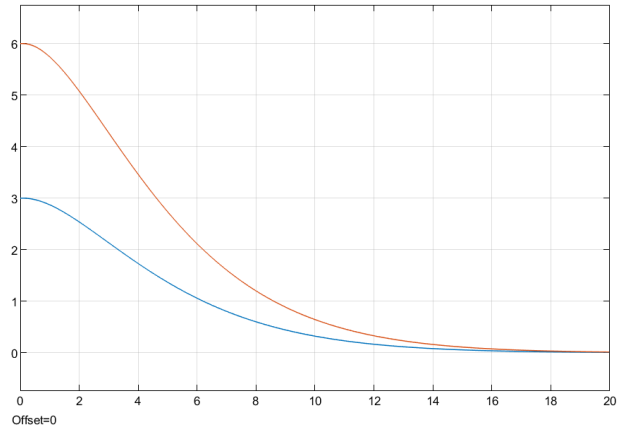


б) система с П регулятором

Рисунок 3.29 - Переходный процесс задания И-регулятора 1 и 2 сочленения

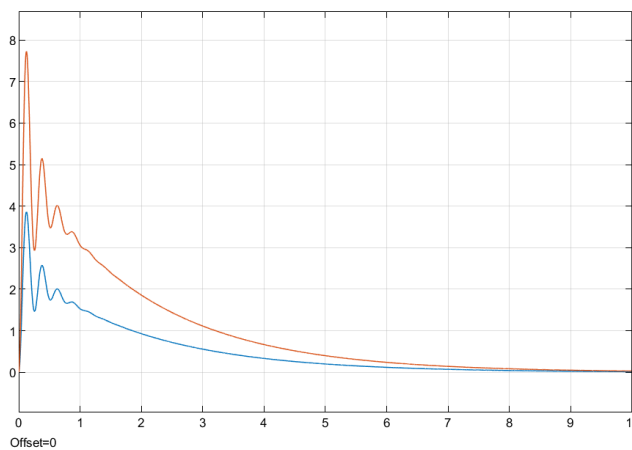


а) система с ПИД регулятором

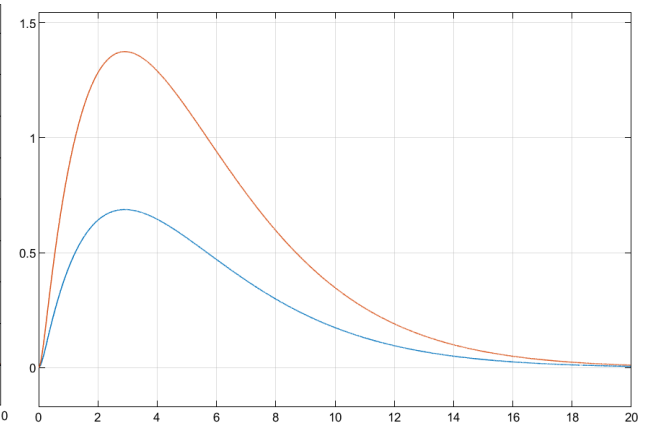


б) система с П регулятором

Рисунок 3.30 - Переходный процесс напряжения на якоре двигателя 1 и 2 сочленения



а) система с ПИД регулятором



б) система с П регулятором

Рисунок 3.31 - Переходный процесс противо-ЭДС 1 и 2 сочленения

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

Перв. примен.

Страв. №

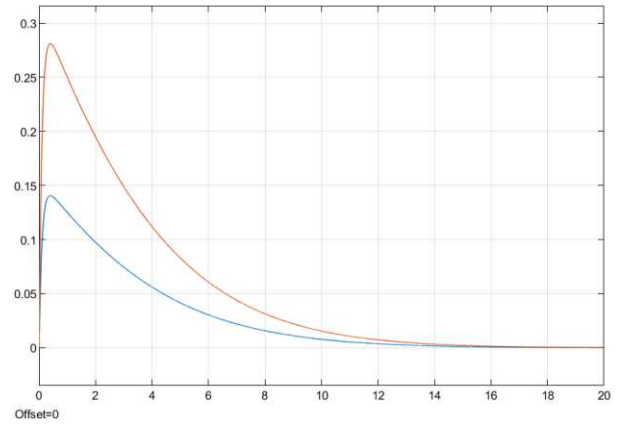
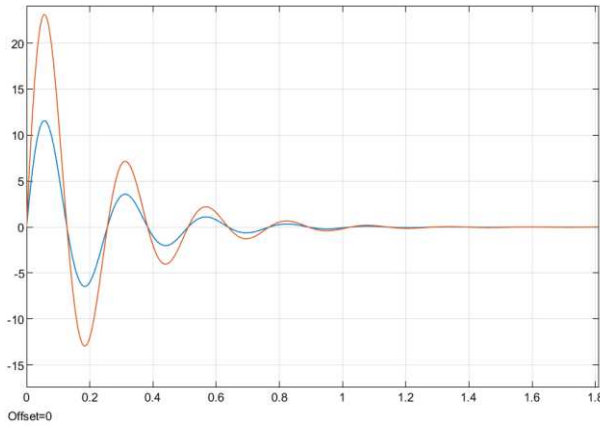
Подпись и дата

Инв. № дубл.

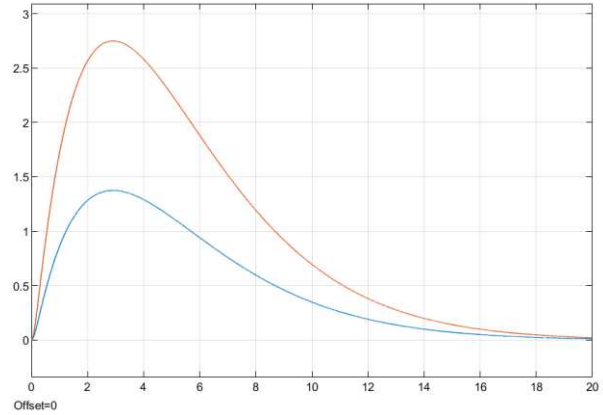
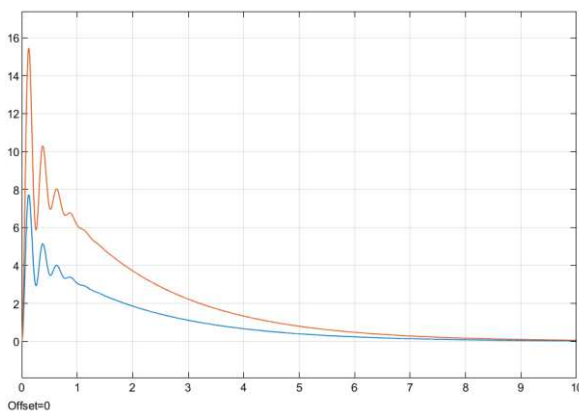
Взам. инв. №

Подпись и дата

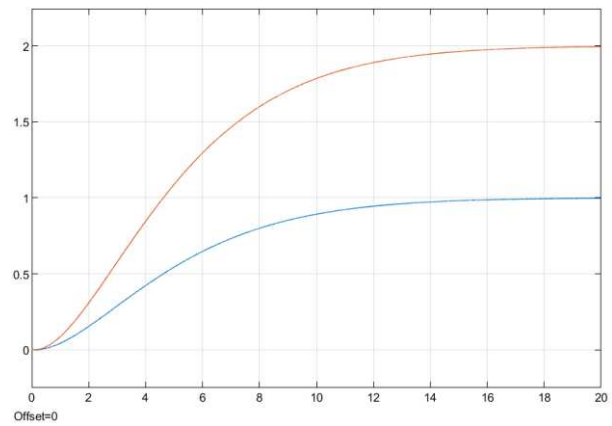
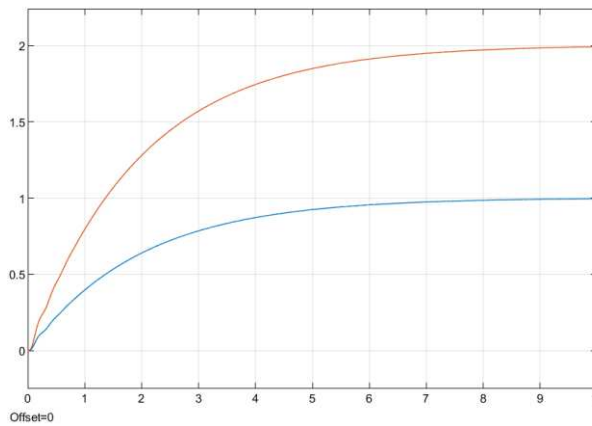
Инв. № подл.



а) система с ПИД регулятором б) система с П регулятором
Рисунок 3.32 - Переходный процесс тока якоря 1 и 2 сочленения



а) система с ПИД регулятором б) система с П регулятором
Рисунок 3.33 - Переходный процесс угловой скорости двигателей 1 и 2 сочленения



а) система с ПИД регулятором б) система с П регулятором
Рисунок 3.34 - Переходный процесс угла поворота колес 1 и 2 сочленения

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

Перв. примен.

Страв. №

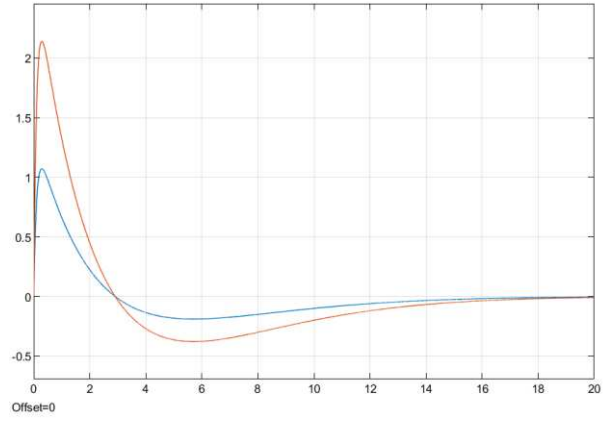
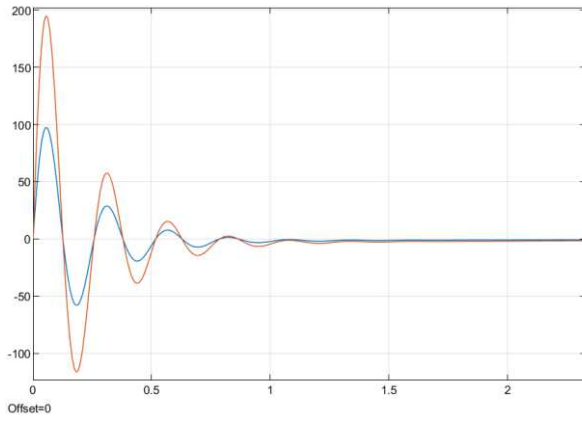
Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

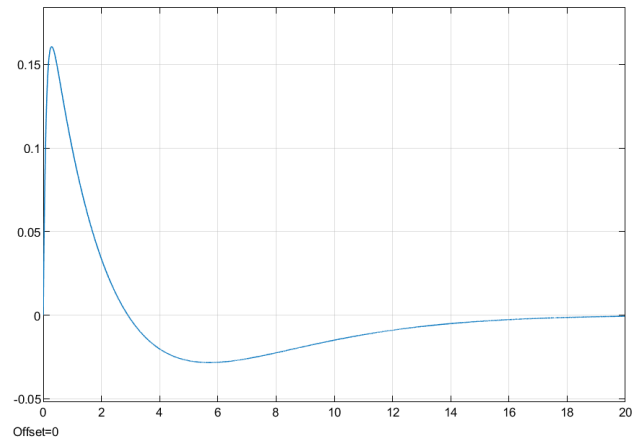
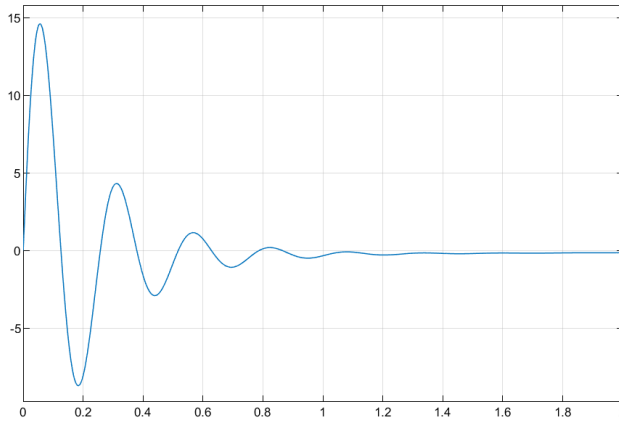
Инв. № подл.



а) система с ПИД регулятором

б) система с П регулятором

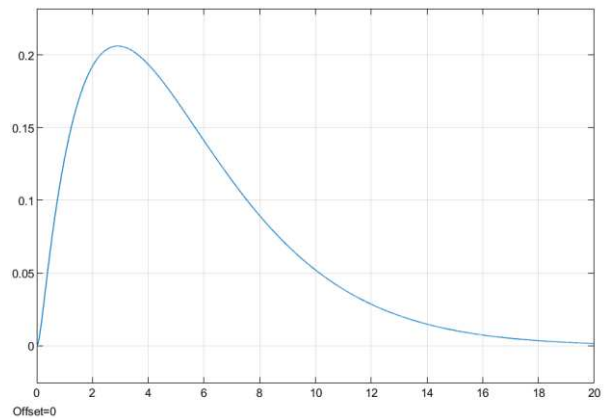
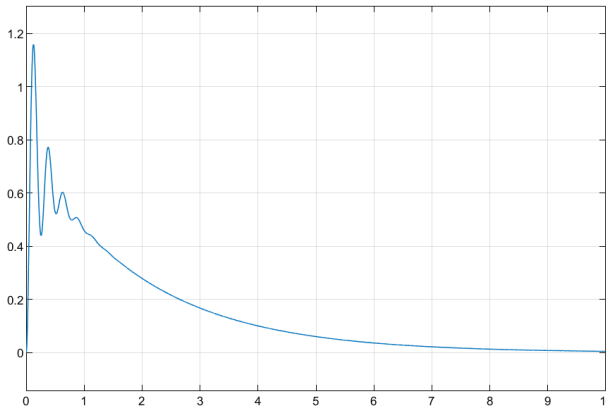
Рисунок 3.35 - Переходный процесс моментов сочленений 1 и 2 сочленения



а) система с ПИД регулятором

б) система с П регулятором

Рисунок 3.36 - Переходный процесс относительного линейного момента МР



а) система с ПИД регулятором

б) система с П регулятором

Рисунок 3.37 - Переходный процесс относительной линейной скорости МР

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

Перв. примен.

Страв. №

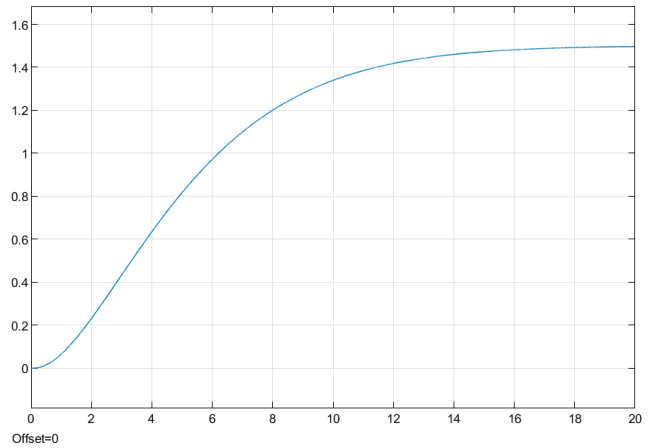
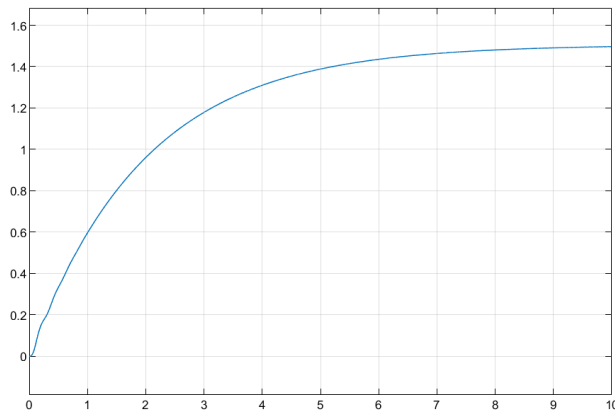
Подпись и дата

Ине. № дубл.

Взам. ине. №

Подпись и дата

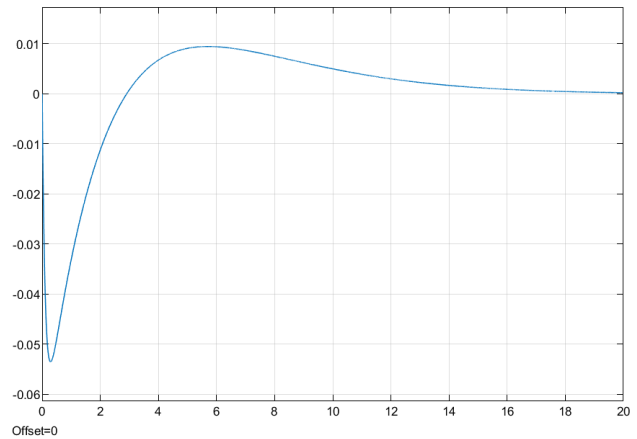
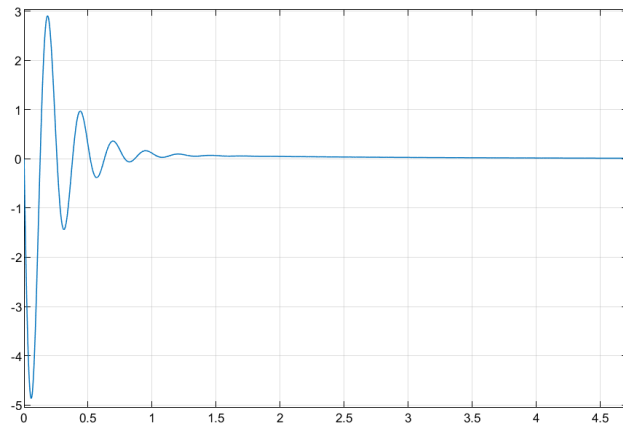
Ине. № подл.



а) система с ПИД регулятором

б) система с П регулятором

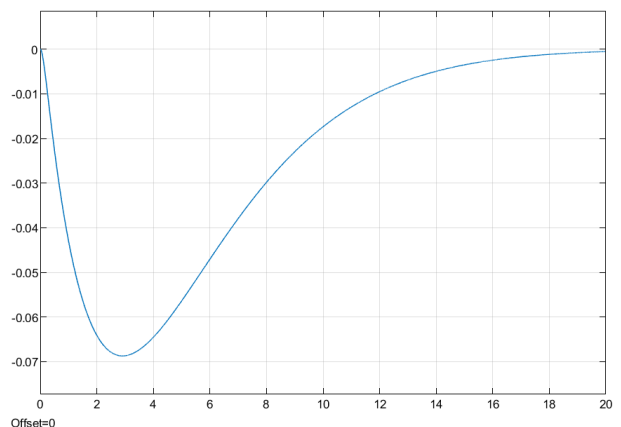
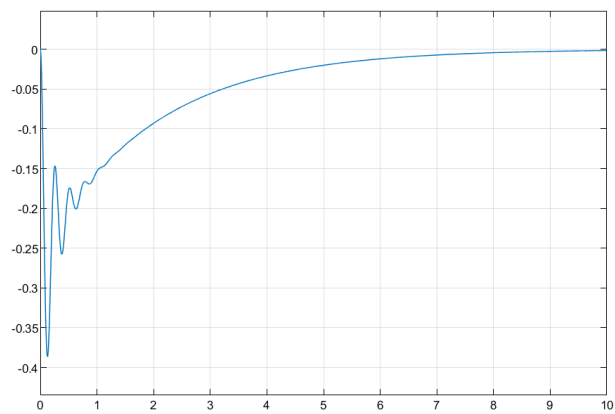
Рисунок 3.38 - Переходный процесс относительного линейного перемещения МР



а) система с ПИД регулятором

б) система с П регулятором

Рисунок 3.39 - Переходный процесс относительного момента поворота МР



а) система с ПИД регулятором

б) система с П регулятором

Рисунок 3.40 - Переходный процесс относительной скорости поворота МР

Перв. примен.

Страв. №

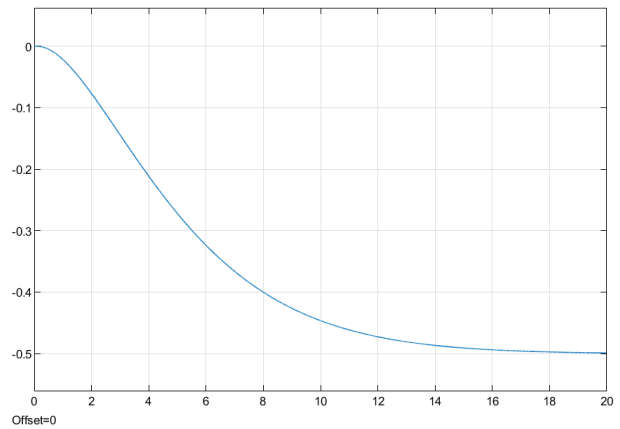
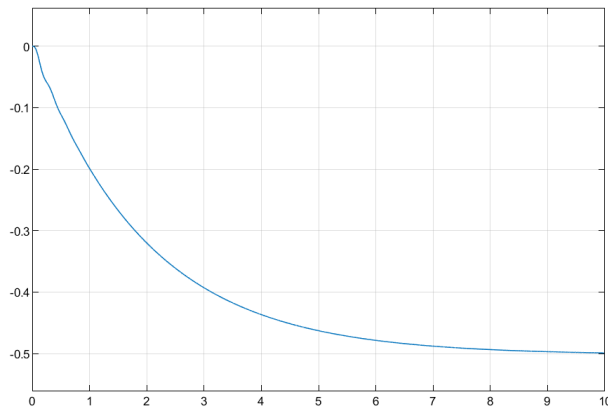
Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

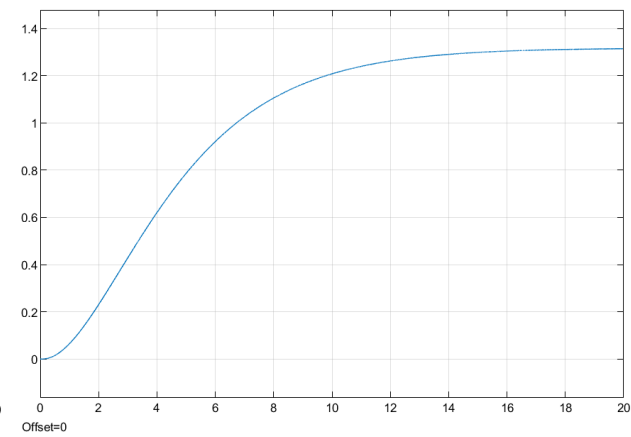
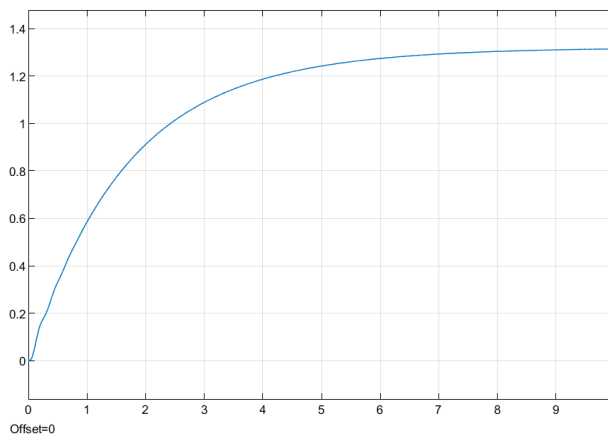
Инв. № подл.



а) система с ПИД регулятором

б) система с П регулятором

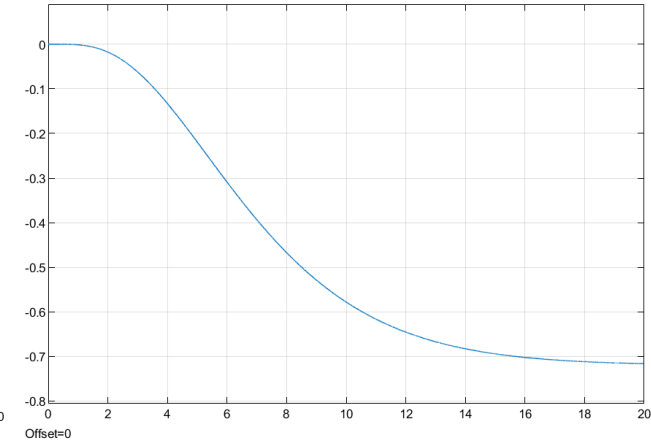
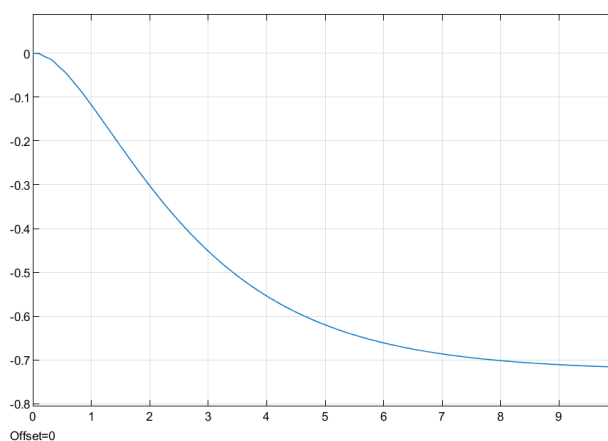
Рисунок 3.41 - Переходный процесс относительного угла МР



а) система с ПИД регулятором

б) система с П регулятором

Рисунок 3.42 - Переходный процесс перемещения МР по X



а) система с ПИД регулятором

б) система с П регулятором

Рисунок 3.43 - Переходный процесс перемещения МР по Y

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

Перв. примен.

Страв. №

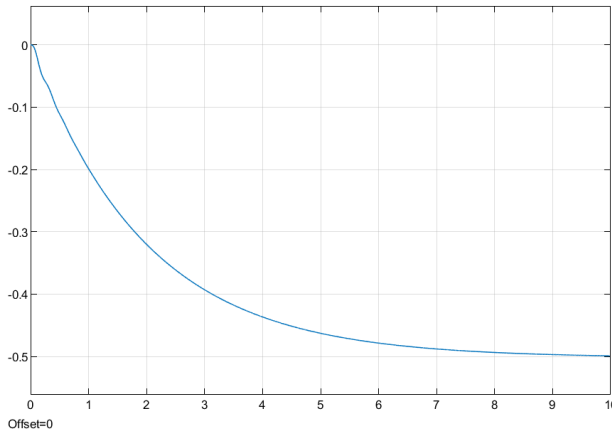
Подпись и дата

Инв. № дубл.

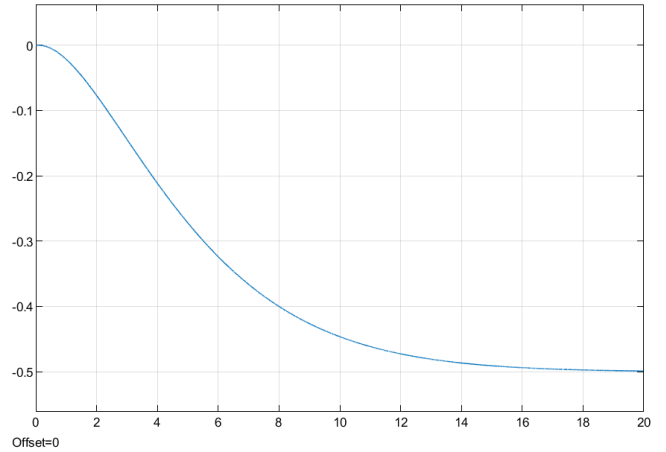
Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

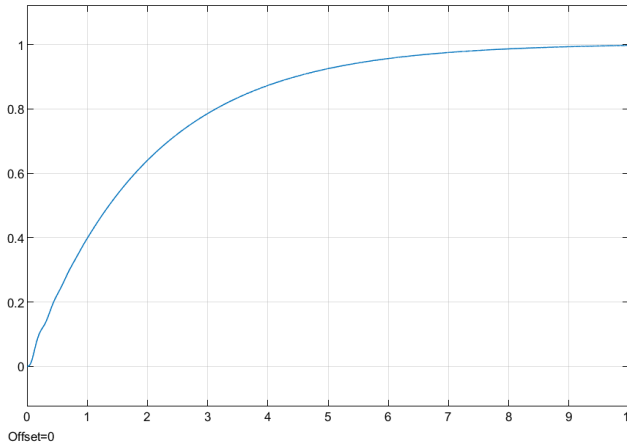


а) система с ПИД регулятором

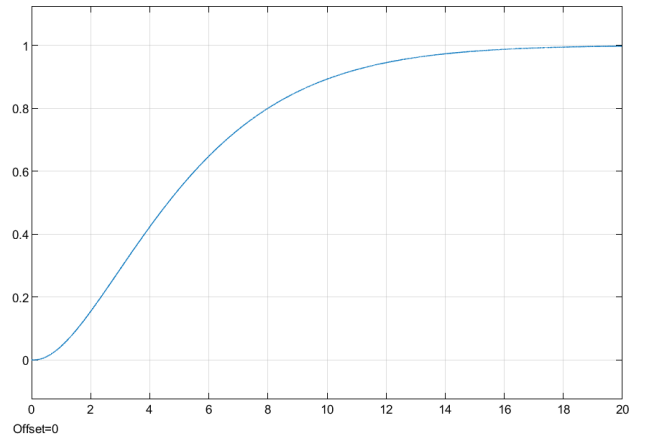


б) система с П регулятором

Рисунок 3.44 - Переходный процесс угла поворота МР

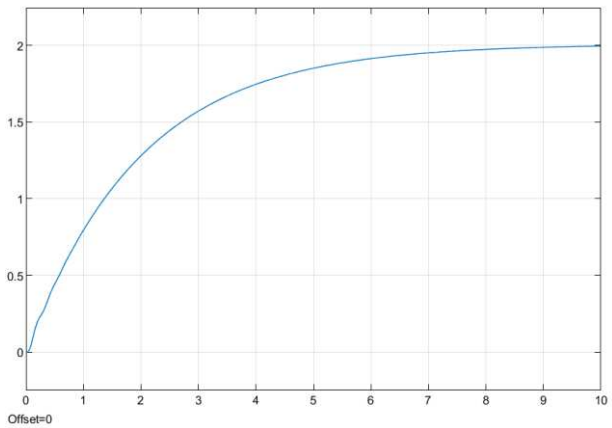


а) система с ПИД регулятором

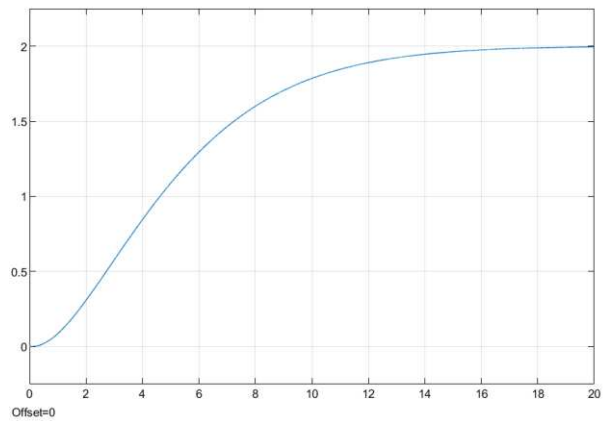


б) система с П регулятором

Рисунок 3.45 - Переходный процесс траектории колеса 1



а) система с ПИД регулятором



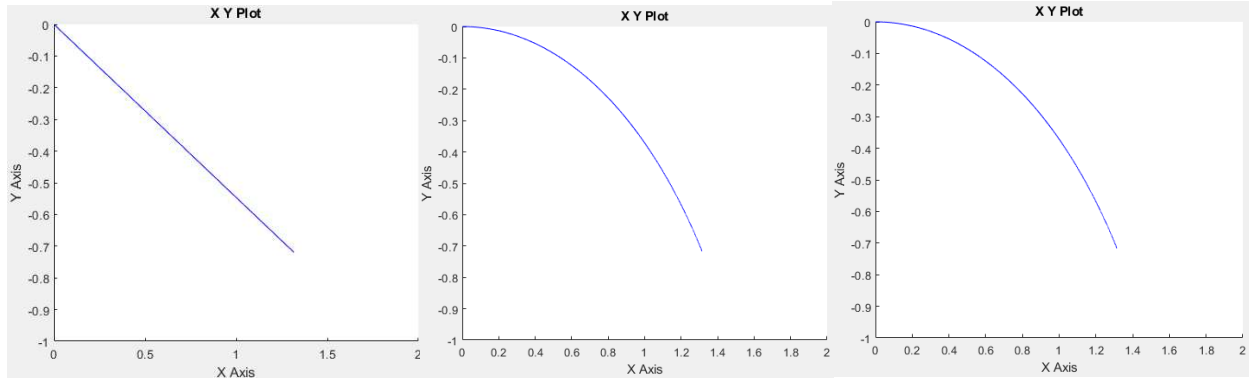
б) система с П регулятором

Рисунок 3.46 - Переходный процесс траектории колеса 2

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

Перв. примен.

Страв. №



а)

б)

в)

а) идеализированная система без переходных процессов и инерционностей б) система с ПИД регулятором в) система с П регулятором

Рисунок 3.47 –Траектории МР

Исследование динамической модели показывает, что система с ПИД-регулятором имеет лучше характеристики переходного процесса траектории сочленений, чем система с П-регулятором. Но система с П-регулятором имеет меньше переключений полярности двигателя (рисунок 3.30). Частые переключения двигателя нагревает драйвер Arduino. Для применения ПИД регулятора в системе управления необходимо иметь более надежный драйвер.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

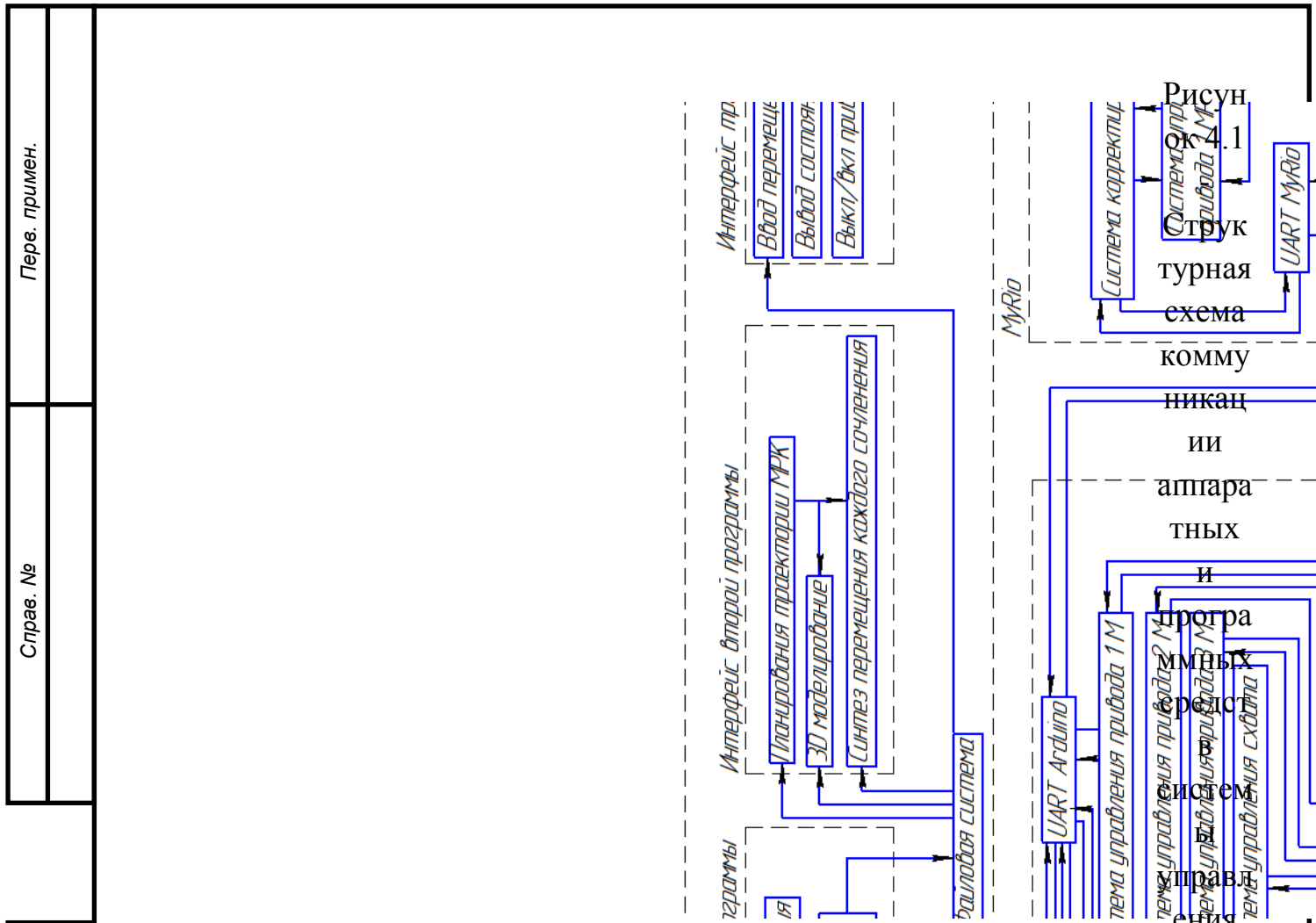
Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

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

Перв. примен.	<p>4 Алгоритмическое и программное обеспечения СУ</p> <p>4.1 Структурная схема СУ привода</p> <p>Структурная схема коммуникации аппаратных и программных средств системы управления МРК приведена на рисунке 4.1.</p> <p>Автоматизированный верхний уровень управления МРК обеспечивает ПК. ПК имеет пакет программ:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) первая программа; <ul style="list-style-type: none"> • обработка изображения; • получения координат X,Y,Z среды и объектов; 2) вторая программа; <ul style="list-style-type: none"> • планирование траектории МРК; • синтез траектории перемещения каждого сочленения; • 3D симуляция; 3) интерфейс системы управления привода МРК; <p>Программы ПК передают данные друг другу при помощи файловой системы ПК. ПК передает данные по Wi-Fi сети для взаимодействия со вторым уровнем управления. Камера передает данные по USB, но есть возможность подсоединить камеру к порту MyRio, и установить программу обработки изображения и синтеза траектории каждого сочленения на контроллер.</p> <p>Порядок действий оператора для проведения эксперимента на объекте:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) подключение к напряжению всех устройств МРК; 2) проверка адекватности результатов алгоритмов: <ul style="list-style-type: none"> • обработки изображения и получение координат препятствий, • планирование траектории МРК, 3) перенос синтезированных траекторий сочленений с интерфейса планирования траектории МРК и синтеза траектории сочленений в интерфейс системы управления привода МРК; 4) включить кнопку готовности к работе всех приводов; 5) включить кнопку запуска эксперимента; 6) контроль проведения эксперимента; 7) выключить кнопку готовности к работе всех приводов. <p>Автоматический второй уровень управления обеспечивает выдачу задания позиционирования для каждого привода МРК, корректировку и согласованное управление привода МРК, а так же передачу данных с нижнего уровня на верхний уровень. Данный уровень управления находится на контроллере MyRio, так как у контроллера больше портов для обеспечения выполнения задач второго уровня.</p> <p>Для каждого привода МРК существует своя отдельная система управления (автоматический нижний уровень), которая обеспечивает выполнение задания позиционирования, а так же передачу данных о состоянии привода. Для мобильного робота система управления привода установлена на контроллер MyRio для манипулятора на контроллере Arduino.</p>					
	Страв. №					
Подпись и дата						
	Име. № дубл.					
Взам. име. №						
	Подпись и дата					
Име. № подл.						
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<p>БР 15.03.06 - ПЗ</p>



Структурная схема модели привод представлена на рисунке 4.2 МРК

ПК формирует вектор перемещения для каждого сочленения, отправляет на контроллер MyRio, который выбирает индекс элемента вектора задания положения для каждого привода на данный момент времени. Реализацию задания положения привода выполняет контроллер Arduino для манипулятора и MyRio для мобильного робота. Индекс задания увеличивается на единицу после выполнения задания для всех приводов. При перерегулировании или отклонении от траектории следующие значения заданий корректируются.

Показатели качества СУ:

- перерегулирование (рисунок 4.3);
- время переходного процесса (п-п) (рисунок 4.3);
- устойчивость;
- нелинейность (пульсированность) (рисунок 4.5).

Параметры системы управления:

- задержка переключения полярности двигателя;
- параметры формирователя напряжения
 - 1) скорость убывания ШИМ (рисунок 4.8);
 - 2) скорость возрастания ШИМ (рисунок 4.7);
 - 3) ограничение управляющего воздействия (рисунок 4.12);
 - 4) время дискретизации (рисунок 4.6).
- коэффициент П-регулятора;

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР 15.03.06 - ПЗ	
					Лист 60	

<i>Инв. № подл.</i>	<i>Подпись и дата</i>	<i>Взам. инв. №</i>	<i>Инв. № дубл.</i>	<i>Подпись и дата</i>

<i>Справ. №</i>	<i>Перв. примен.</i>

<i>Изм.</i>	
<i>Лист</i>	
<i>№ докум.</i>	
<i>Подпись</i>	
<i>Дата</i>	

БР 15.03.06 - ПЗ

Ине. № подл.	Подпись и дата	Взам. ине. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Страв. №	Перв. примен.

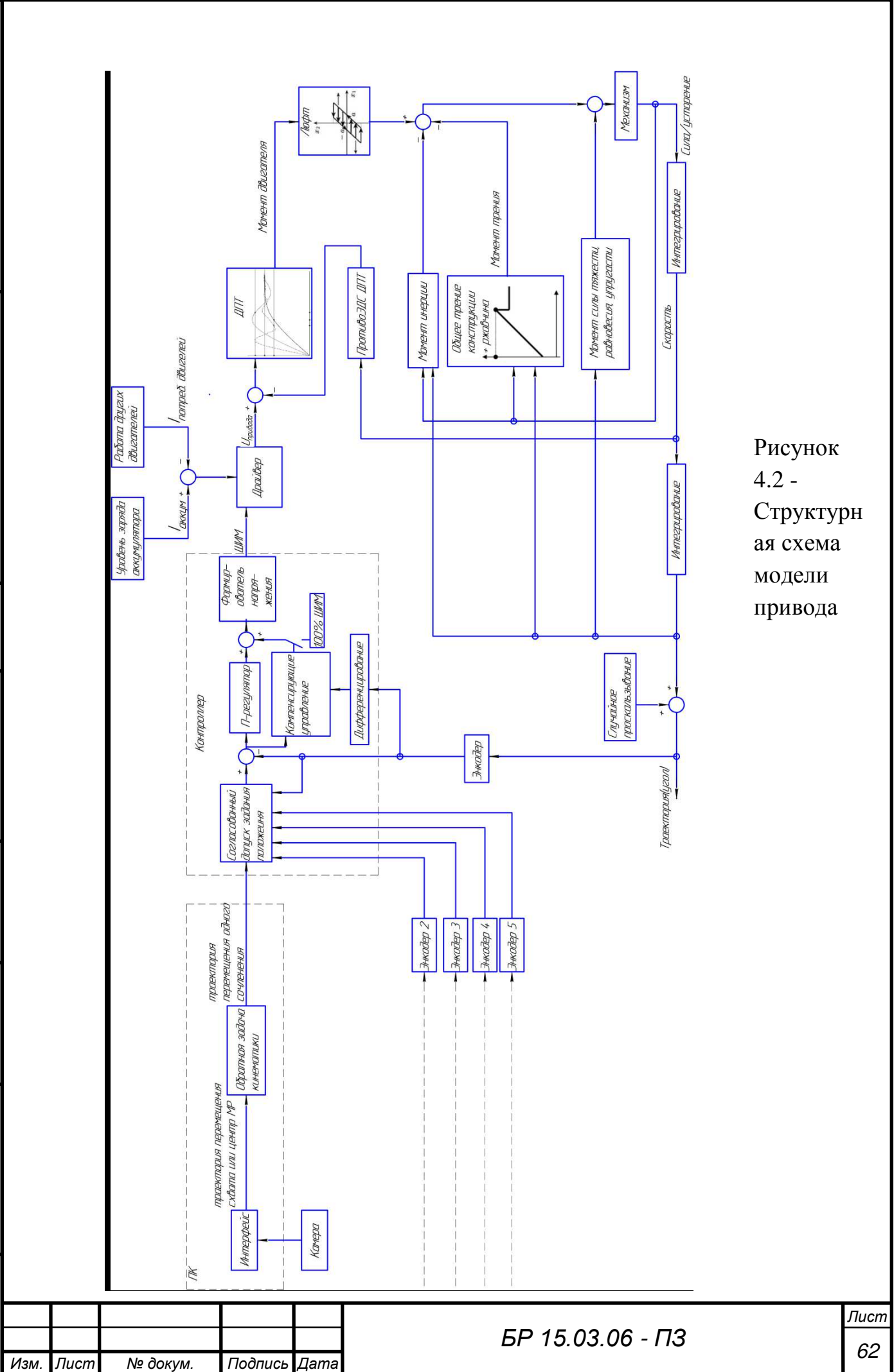
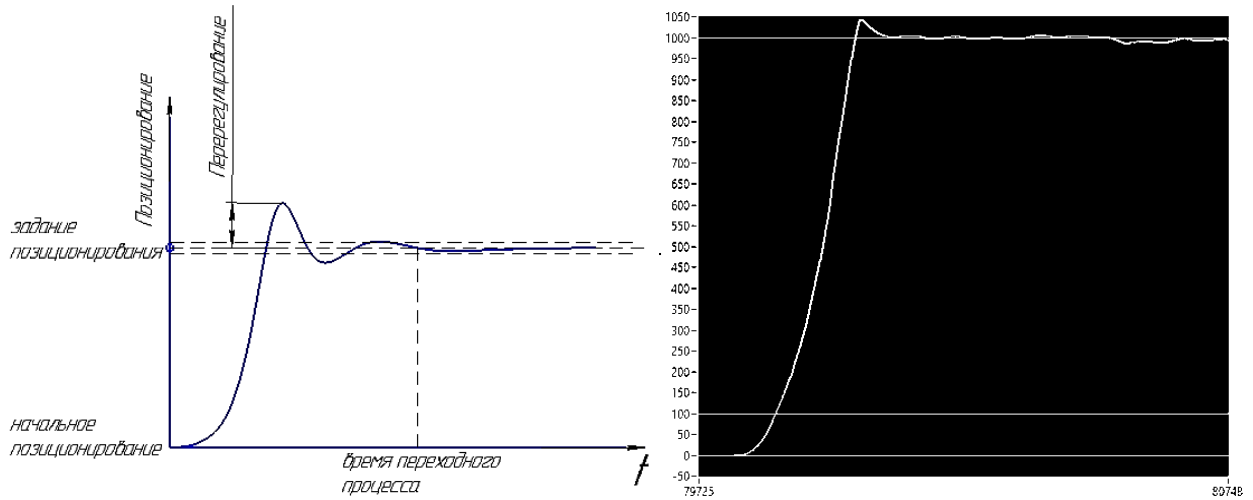


Рисунок 4.2 - Структурная схема модели привода

Важнейший показатель качества СУ является переходной процесс (п-п), время которого должно быть минимальным [10].



а) идеализированный график п-п

б) эксперимент колеса 1 МР

Рисунок 4.3 - Время п-п и перерегулирование

Пример неустойчивой системы показан на рисунке 4.4.

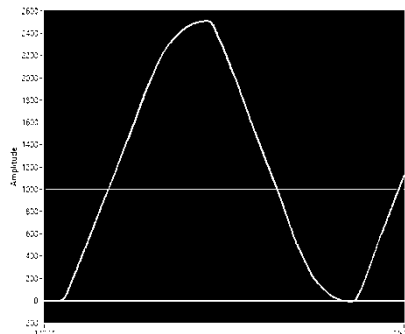
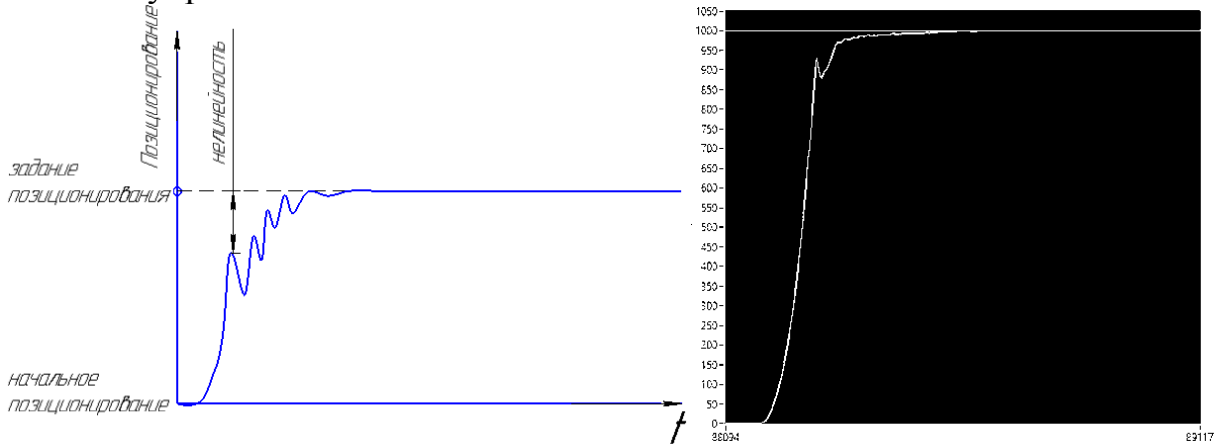


Рисунок 4.4– Экспериментальный график п-п системы привода на границы устойчивости

Переходной процесс нелинейный (рисунок 4.5) из-за дискретности системы управления.



а) идеализированный график п-п

б) эксперимент колеса 1 МР

Рисунок 4.5 - Нелинейность

Время дискретизации необходимо для учета скорости привода и последовательности управляющей программы. Время дискретизации находится из соотношения: $T_0 = \left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{15}\right) t_{\text{переходного процесса}}$.

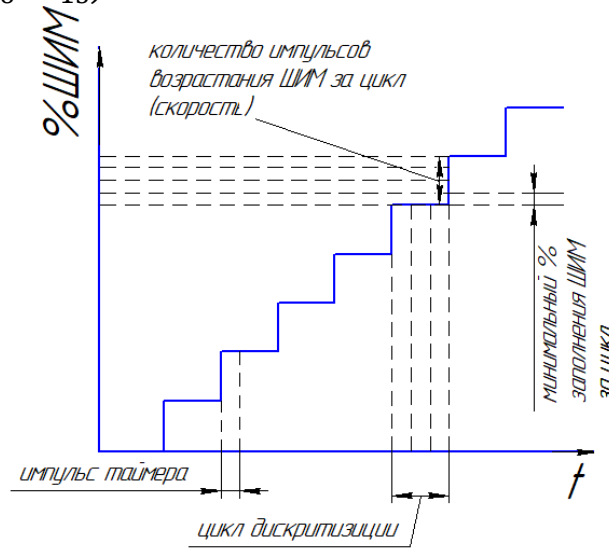


Рисунок 4.6– Время дискретизации

Под скоростью возрастания/убывания ШИМ подразумевается, сколько процентов ШИМ будет возрасть/убывать за цикл программы, при выполнении задания П-регулятора или с компенсирующего устройства для минимизации ошибки.

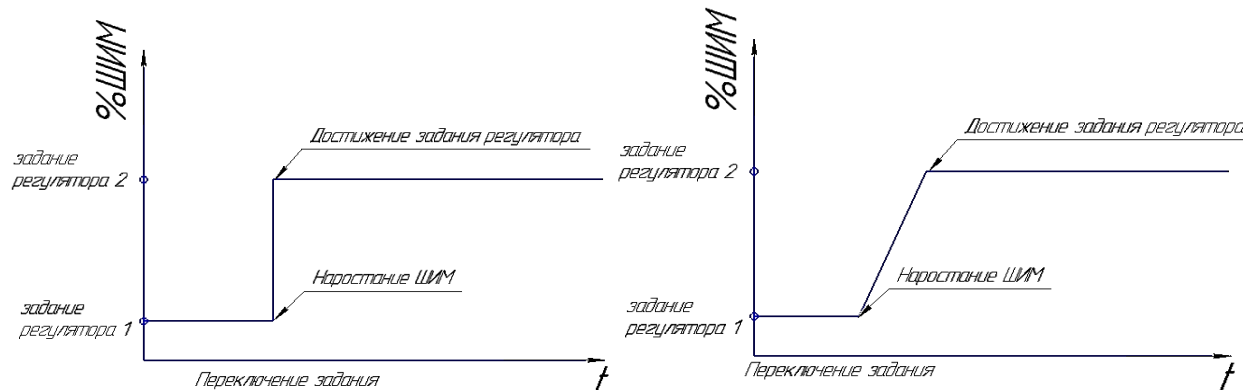


Рисунок 4.7 - График заполнения ШИМ от времени

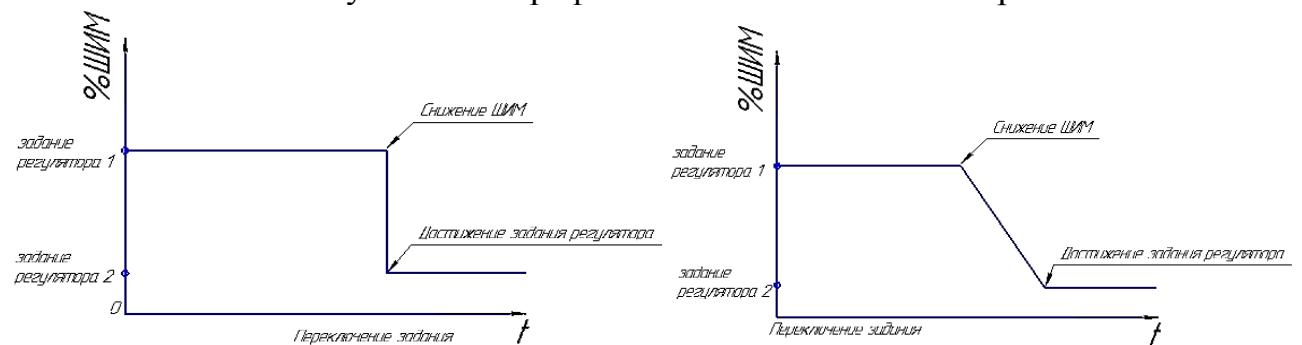
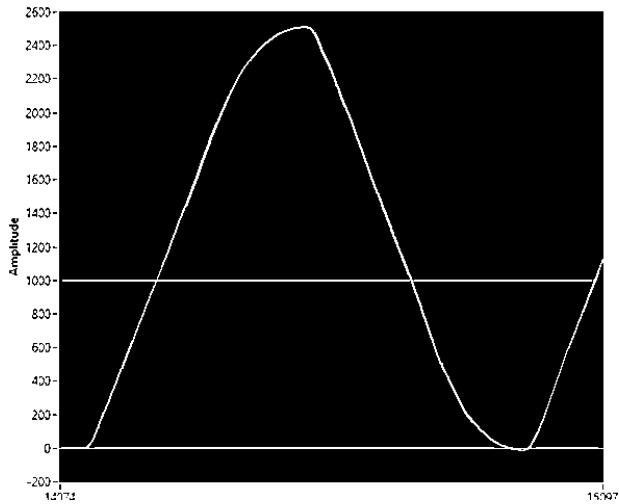
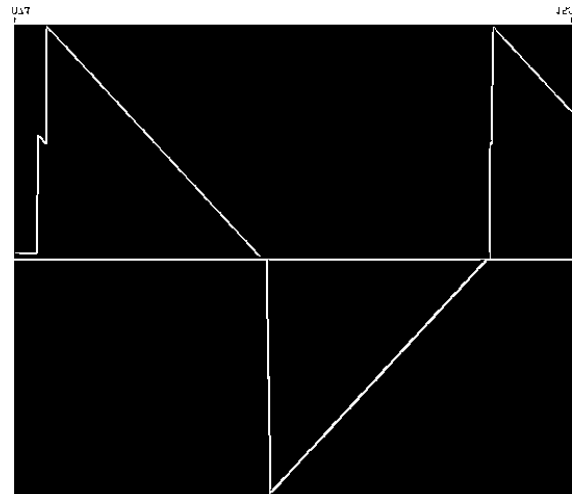


Рисунок 4.8 - График заполнения ШИМ от времени

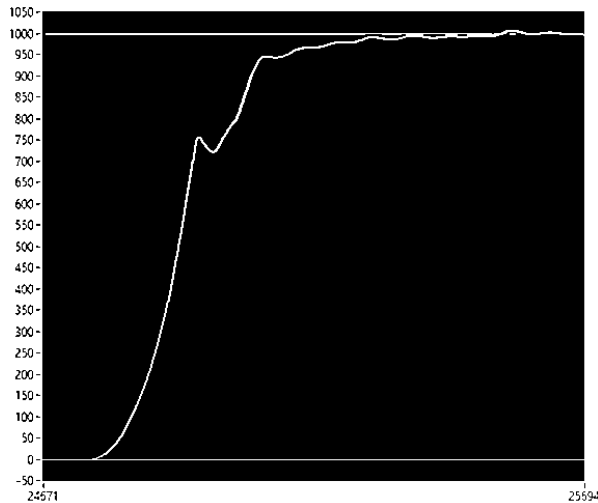


а) п-п

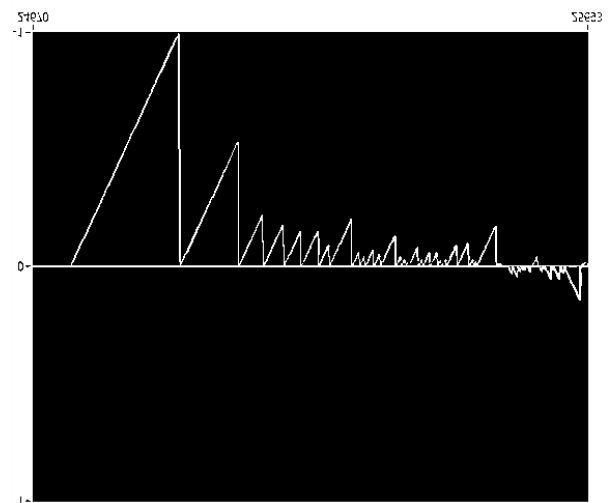


б) график заполнения ШИМ

Рисунок 4.9 – Экспериментальные графики 1 колеса МР при максимальной скорости заполнения ШИМ и средней скорости снижения ШИМ

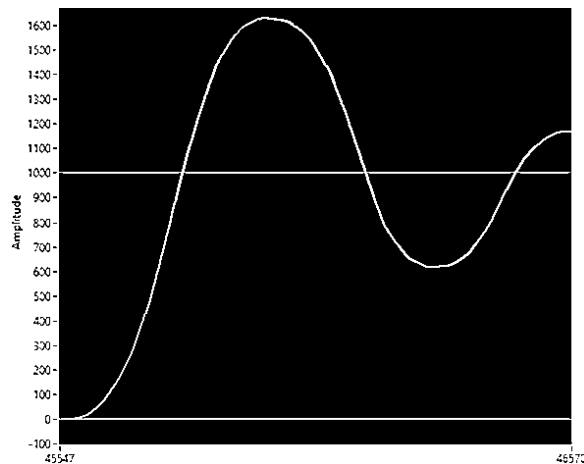


а) п-п

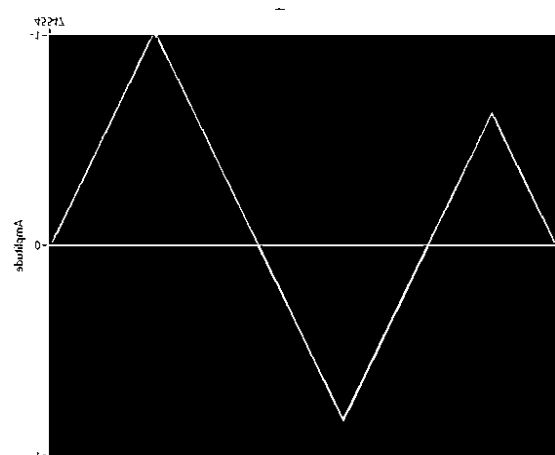


б) график заполнения ШИМ

Рисунок 4.10 – Экспериментальные графики 1 колеса МР при максимальной скорости убывания ШИМ и средней скорости заполнения ШИМ



а) п-п



б) график заполнения ШИМ

Рисунок 4.11 – Экспериментальные графики 1 колеса МР при средних скоростях убывания/возрастания ШИМ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Ограничение ШИМ (рисунок 4.12) влияет на ток, момент, скорость привода.

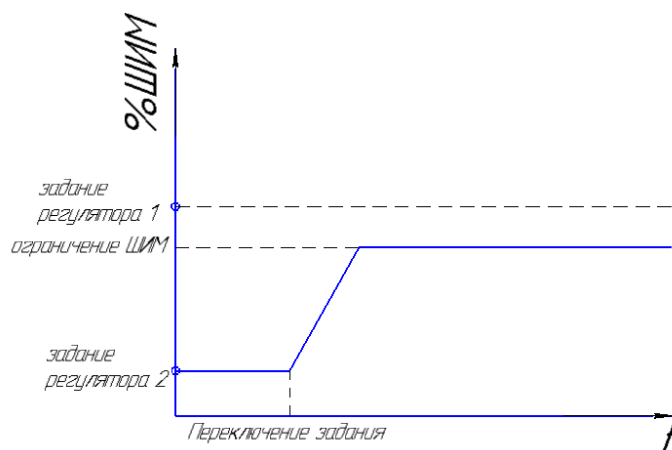
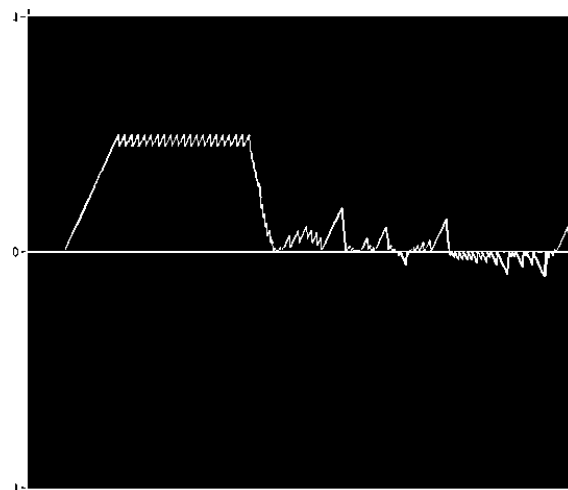
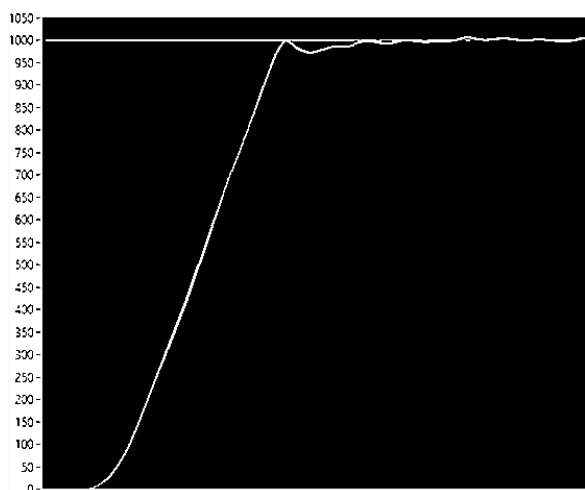


Рисунок 4.12 –График ограничения заполнения ШИМ



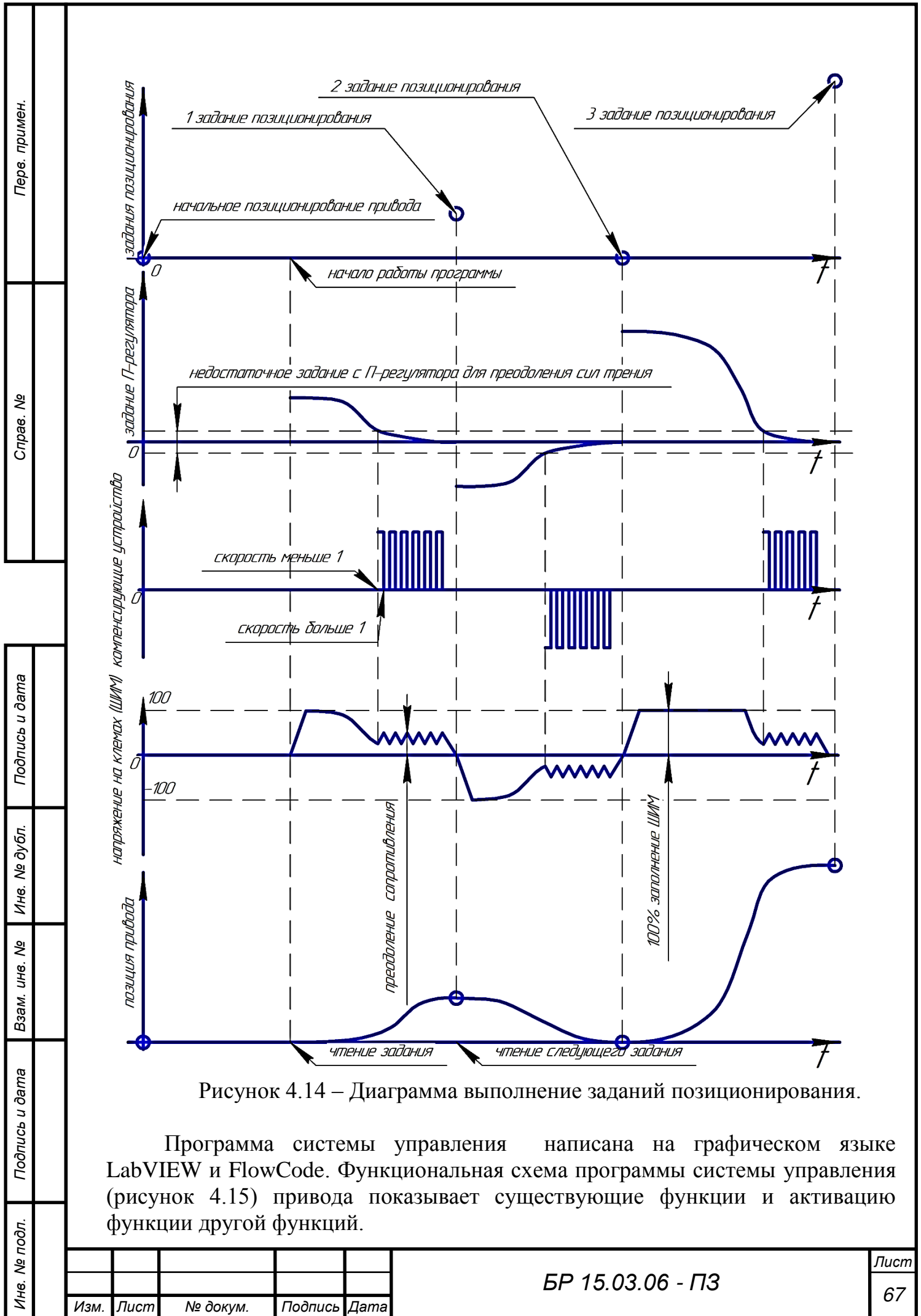
а) п-п колеса 1 МР

б) заполнение ШИМ

Рисунок 4.13 – Экспериментальные графики при ограниченном заполнении ШИМ в 50%

Задание позиционирования подается на П-регулятор. Задание с П-регулятора подается на функцию формирования напряжения. Если недостаточно уровня сигнала ошибки позиционирования для П-регулятора для преодоления силы трения, то включается дополнительное напряжение (компенсирующее устройство). Для исключения перерегулирования и минимизации ошибки позиционирования включение дополнительного напряжения происходит при скорости равной 0 и выключение при скорости больше 1. Напряжение, полученное с П-регулятора и компенсирующего устройства возрастает или снижается по линейному закону при помощи функции формирования напряжения. На рисунок 4.14 показана диаграмма выполнение заданий позиционирования.

Перв. примен.				
	Справ. №			
Подпись и дата				
	Име. № дубл.			
Име. № подл.				
	Взам. име. №			
Изм.				
	Подпись и дата			
Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
				66



Ине. № подл.	Подпись и дата	Взам. ине. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Страв. №	Перв. примен.

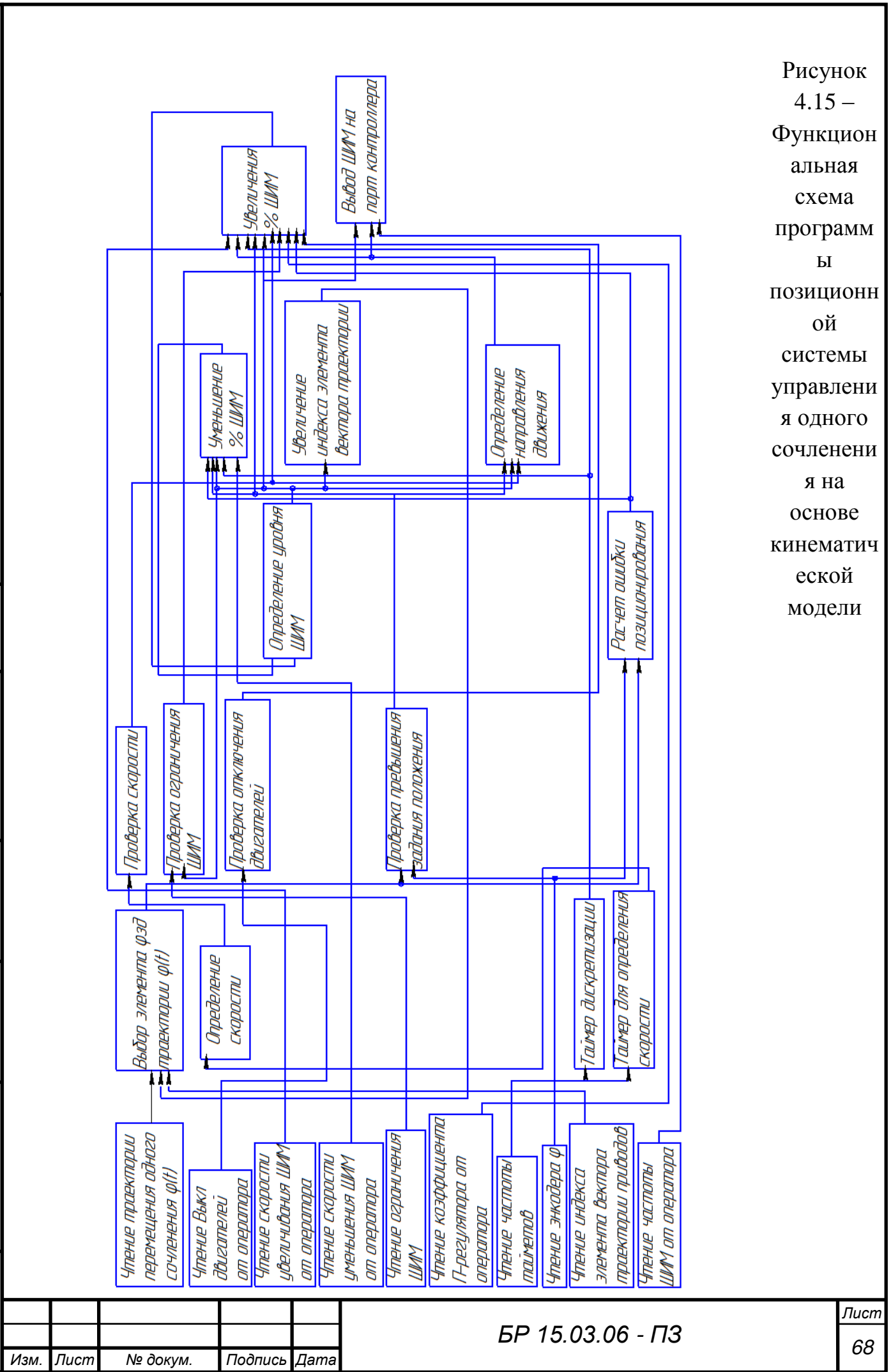


Рисунок 4.15 – Функциональная схема программы позиционной системы управления одного сочленения на основе кинематической модели

Интерфейс оператора позволяет автоматизировать систему управления 3 уровня, и наблюдать состояние МРК и работоспособность системы управления.

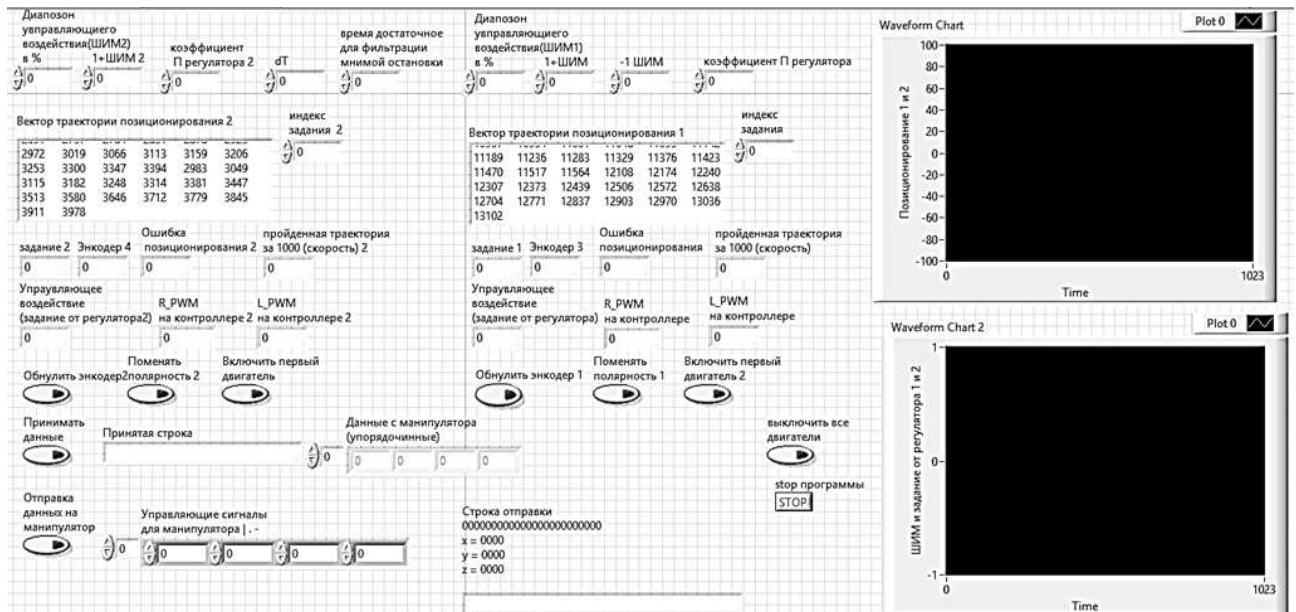


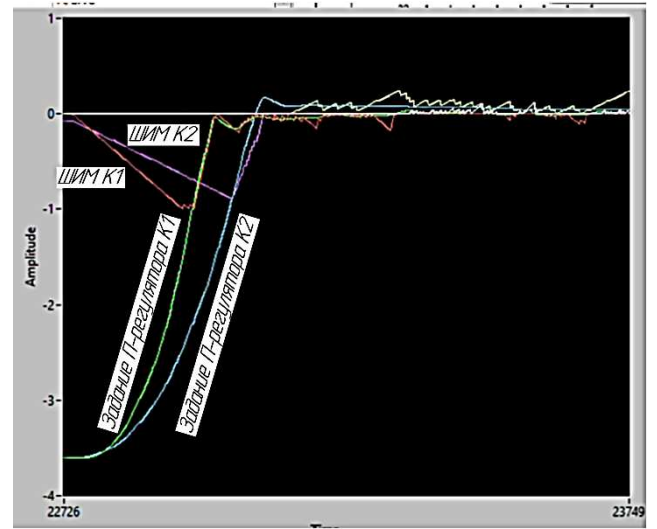
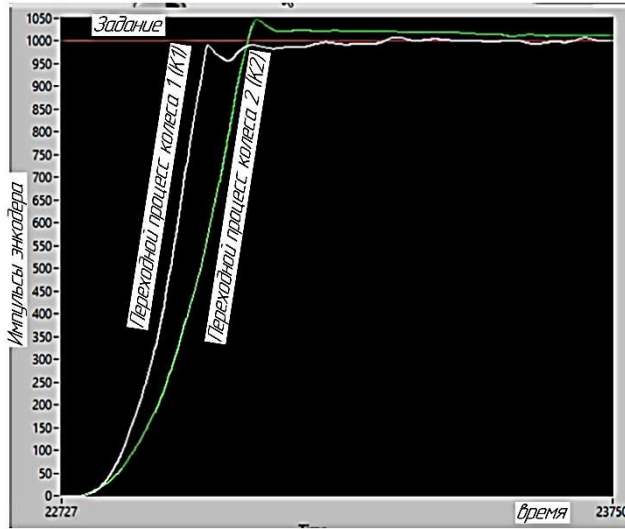
Рисунок 4.16 – Интерфейс оператора МРК 3 и 2 уровня системы управления

В интерфейсе оператора вводится:

- коэффициент П-регулятора
- скорость возрастания ШИМ
- скорость уменьшения ШИМ
- уровень ограничения ШИМ
- период таймера дискретизации ШИМ
- период таймера для определения скорости
- полярность двигателя
- сброс старых значений энкодера
- разрешение движения
- разрешение отправки данных на манипулятор
- разрешение принятия данных с манипулятора

В интерфейсе оператора выводится:

- позиционирование каждого привода МРК
- уровень ШИМ на приводах МР
- задание от регулятора
- принятые/отправленные сигналы манипулятора



а) траектория колес МР

б) ШИМ и задание от П-регулятора колес МР

Рисунок 4.17 – Графики с интерфейса оператора при эксперименте

На графиках видно, что переходные процессы разные. У второго колеса мобильного робота переходной процесс больше $\Delta t = 0.7$ сек.

4.2 Планирование траектории МРК

Планирование траектории МРК и синтез траекторий сочленений (глава 3.1 и 3.2) находится на 1 уровне управления МРК. Был разработан метод построения траектории мобильного робота в условиях с препятствиями. Так же была интегрирована среда разработки labview с solidWorks для симулирования мобильного робота. Разработан интерфейс программы планирования траектории в среде с препятствиями.

Для планирования траектории в условиях препятствий необходимо:

1. Получить значения:
 - 1) координат начальной точки x_0 y_0 и конечной точки x_k y_k (поз. 1 и 2 рисунок 4.18) и (поз.1 рисунок 4.20);
 - 2) начальный угол робота и конечный(рисунок 4.20) и (поз. 2 рисунок 4.18);
 - 3) координаты препятствий (поз. 3 и 4 рисунок 4.20) и (3 рисунок 4.18);
 - 4) размеры области максимальных значений x и y (поз. 4 рисунок 4.18);
 - 5) значение расстояния от центра между осями колес до максимально дальней точки робота (рисунок 4.20) и (поз. 5 рисунок 4.18);
 - 6) время перехода от начальной точки к конечной точки (6 рисунок 4.18).
 - получить через интерфейс (рисунок 4.18);
 - получить через файл (рисунок 4.18) .
 - 7) метод аппроксимации (поз. 7 рисунок 4.18)
2. Сформировать 2D область (матрицу)исходя из максимальных значений x и y

3. Получить первоначальную траекторию. Аппроксимировать x_0 y_0 и x_k y_k линейной функцией:
 - увеличить 2D область;
 - увеличить препятствия;
 - представить робота в виде точки;
 - добавить препятствия в 2D область.
4. Найти точку столкновения:
 - траекторию перевести в матричный вид и сравнить с 2D областью;
 - найти первую точку столкновения.
5. Найти новую точку между старыми точками для аппроксимации, то есть для новой траектории (поз. 7 рисунок 4.20)

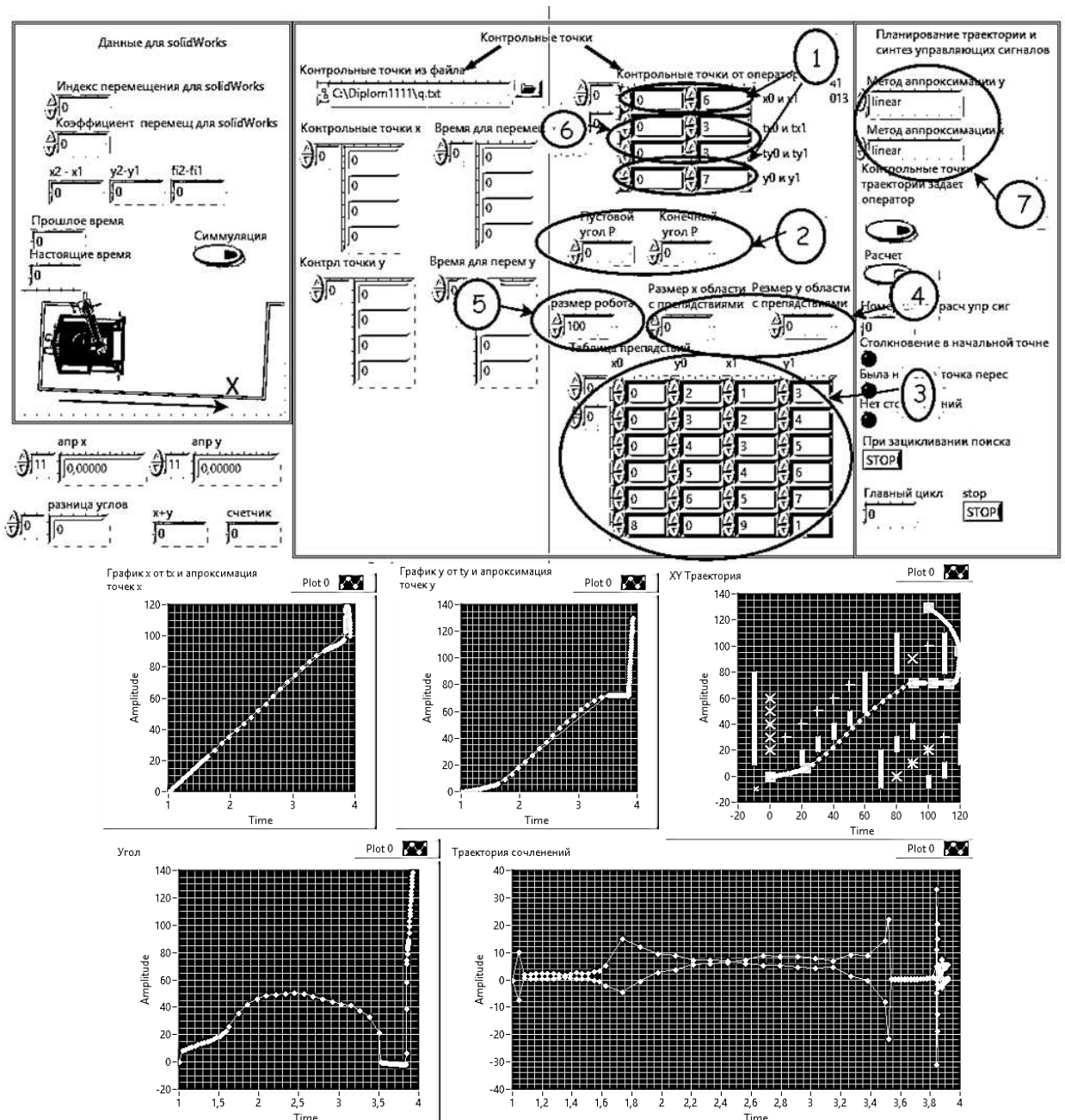


Рисунок 4.18 – Интерфейс построения траектории МРК и синтез траектории сочленений.

Персональная литейная траектория планируется на основе начальной x_0 и конечной точки x_k . Если была найдена точка столкновения первоначальной траектории то, в последствии, будет найдена новая точка, которая изменит первоначальную траекторию. Аппроксимировать или интерполировать ломаную траекторию можно несколькими функциями: *linear*, *Spline*, *cubic* (рисунок 4.19).

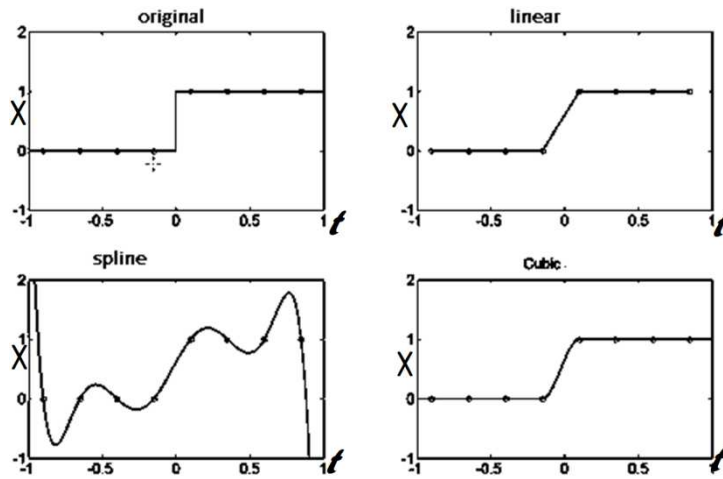


Рисунок 4.19 – Пример аппроксимации

Из вектора $X_f = [x_0, tx_0, tx_k, x_k]$ и $Y_f = [y_0, ty_0, ty_k, y_k]$ после аппроксимации стандартной функцией LabView получим матрицу $X(tx_0, \dots, tx_k) = (x_0, \dots, x_k; tx_0, \dots, tx_k)$ и $Y(ty_0, \dots, ty_k) = (y_0, \dots, y_k; ty_0, \dots, ty_k)$, состоящую из двух векторов: 1й вектор - координаты; 2й вектор - время для каждой координаты [14].

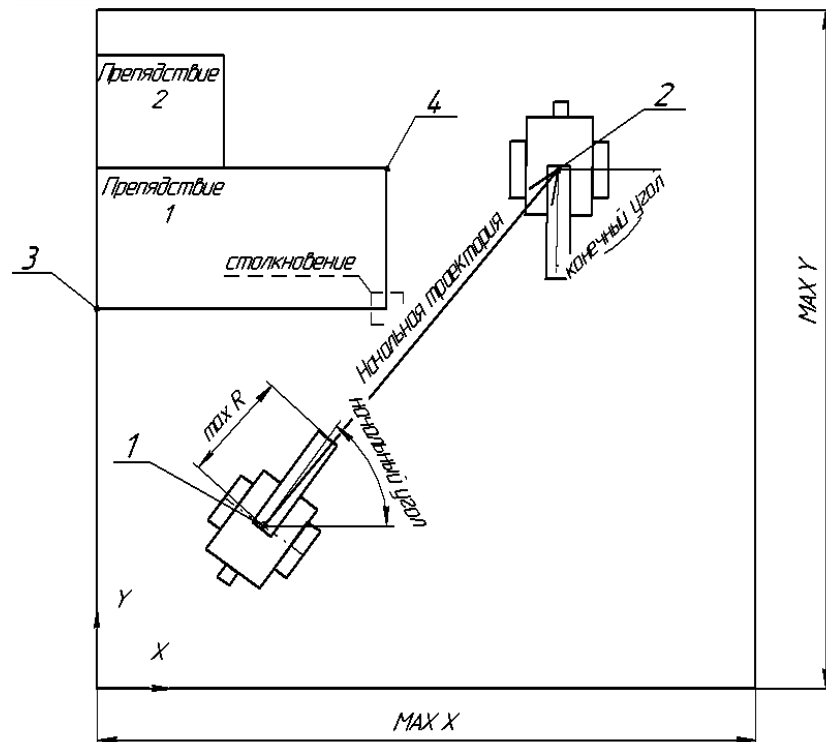


Рисунок 4.20 – Область движения с начальной траекторией без объезда препятствий

Перв. примен.

Страв. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

От точки столкновения откладываются «шаги» по диагонали, от предыдущей начальной точки до диагональных точек проводятся лучи. Лучи проверяется на наличие столкновения, и отсеиваются при столкновении. Из оставшихся новых точек проводится радиусы к точке конечного позиционирования, и выбирается точка самая близкая.

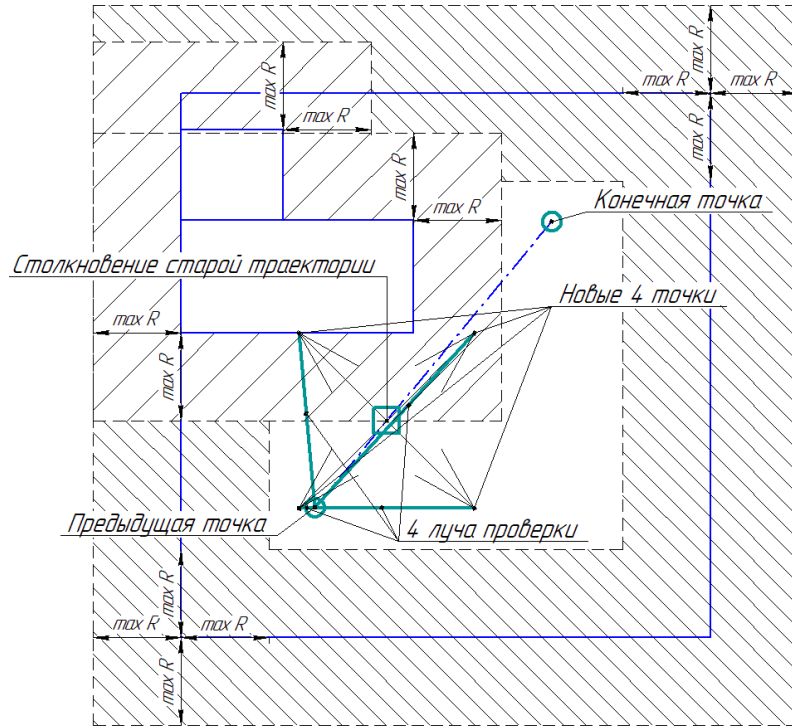


Рисунок 4.21 – Визуализация диагональных новых точек и лучей проверки

Если после построения новой траектории была найдена новая точка столкновения (рисунок 4.22), алгоритм поиска новой точки повторяется, до тех пор, пока не будет столкновения.

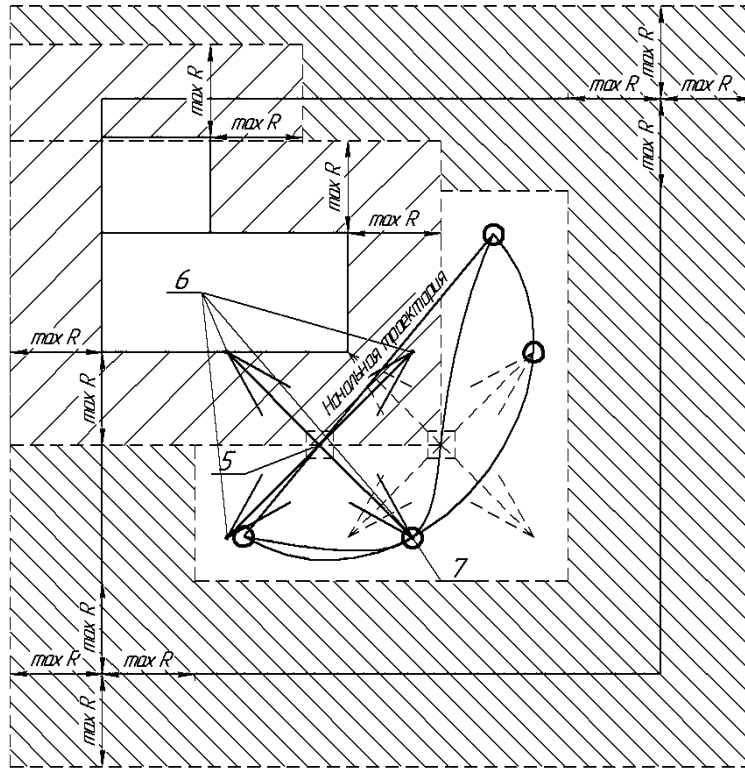
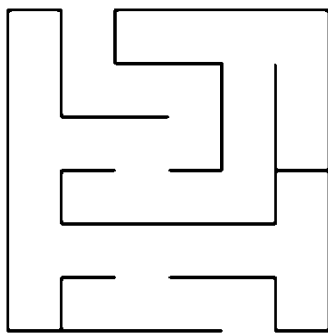
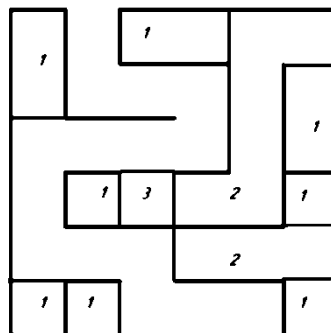


Рисунок 4.22 – Матричное представление области и визуальное представление алгоритма поиска

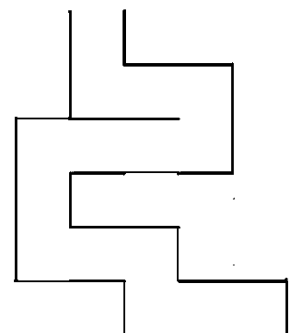
Все тупики (зоны без выхода) (1 поз. б рисунок 4.23) представить в виде препятствий (заштриховать), получится новый лабиринт с меньшим количеством тупиков. Появившиеся новые тупики необходимо представить в виде препятствий (2 поз. б рисунок 4.23). Цикл повторяется пока не останется тупиков.



а) исходные данные



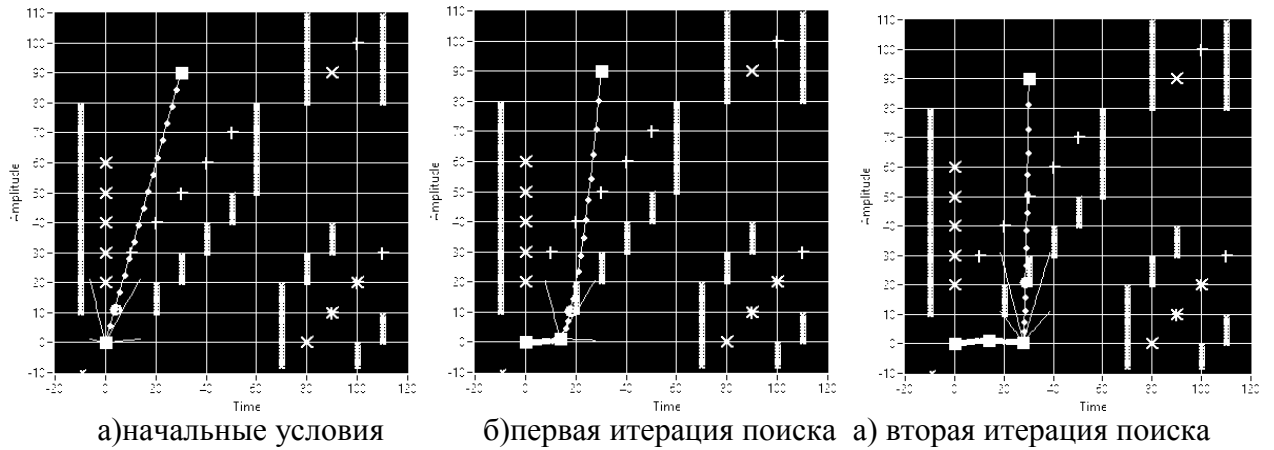
б) третья итерация блокировки тупика



в) результат

Рисунок 4.23 – Представление лабиринта с блокировкой тупиков

Работа программы планирования траектории представлена на рисунках 4.24, 4.25, 4.26.

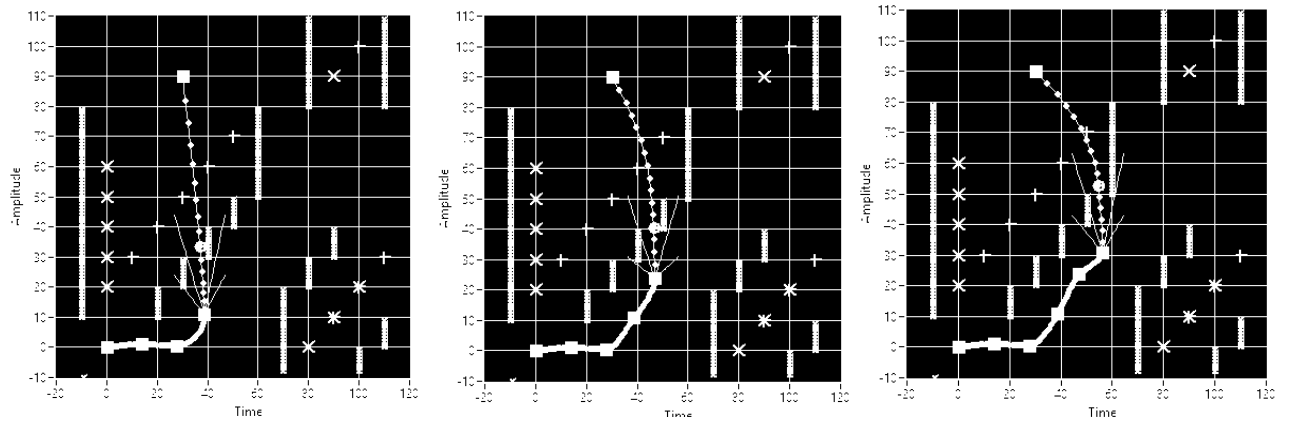


а) начальные условия

б) первая итерация поиска

а) вторая итерация поиска

Рисунок 4.24 – Работа программы планирования траектории

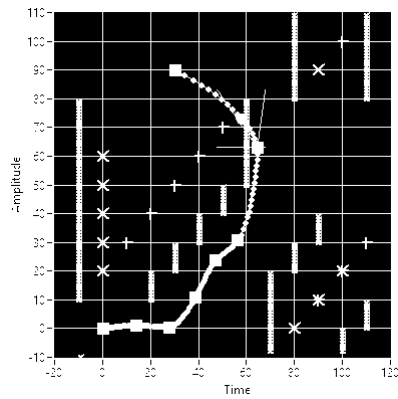


б) третья итерация поиска

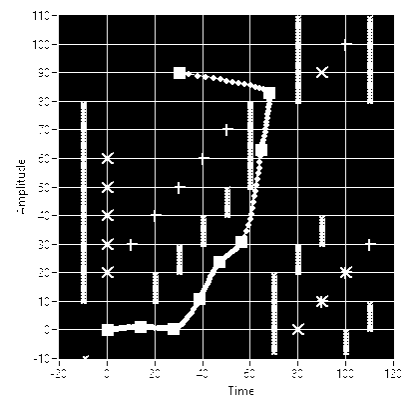
а) четвертая итерация поиска

б) пятая итерация

Рисунок 4.25 – Работа программы планирования траектории



а) шестая итерация поиска



б) седьмая итерация поиска

Рисунок 4.26 – Работа программы планирования траектории

На рисунке 4.27 представлен вариант области движения МРК, определяемый на верхнем уровне управления, исходя из текущей ситуации и план-графика работы оборудования. В процессе работы он может меняться. Соответственно может меняться и траектория движения.

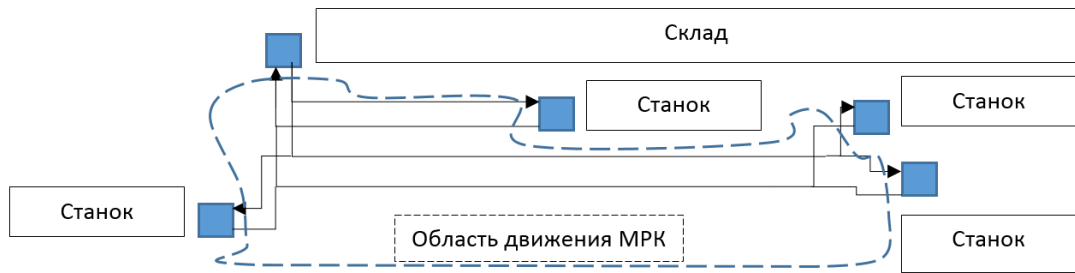


Рисунок 4.27 – Область движения МРК

После обработки изображения создается ограниченная область позиционирования МРК. Объекты УИГПК наносятся на карту, далее строится перемещение. На рисунке 4.28 построена траектория при помощи функции сплайн.

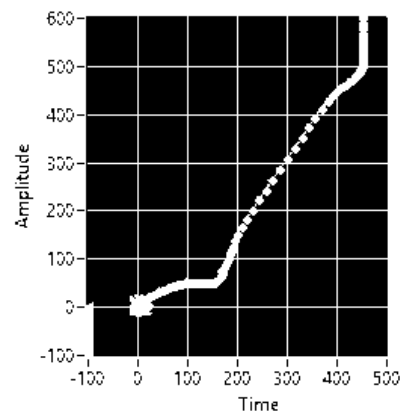


Рисунок 4.28 - Сформированная траектория

Разработана программа симуляции прохождения траектории (рисунок 4.29) модели МРК в SolidWorks.

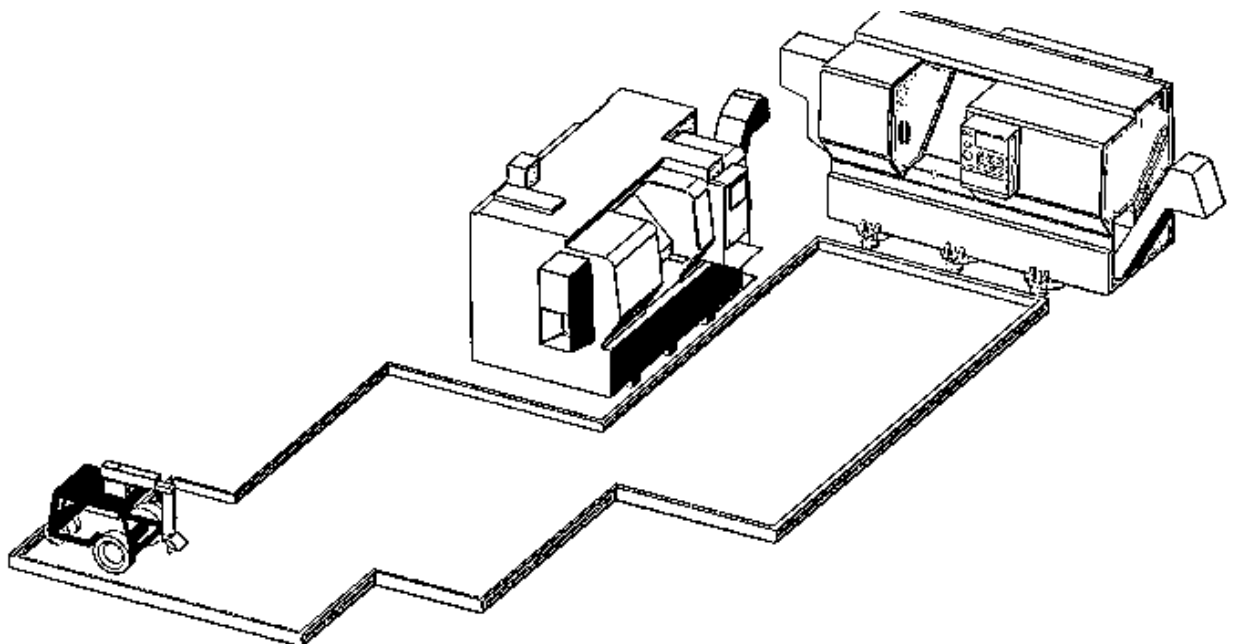


Рисунок 4.29– 3D модель МРК

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Перв. примен.	Страв. №
---------------	----------

Ине. № подл.	Подпись и дата	Взам. ине. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата
--------------	----------------	--------------	--------------	----------------

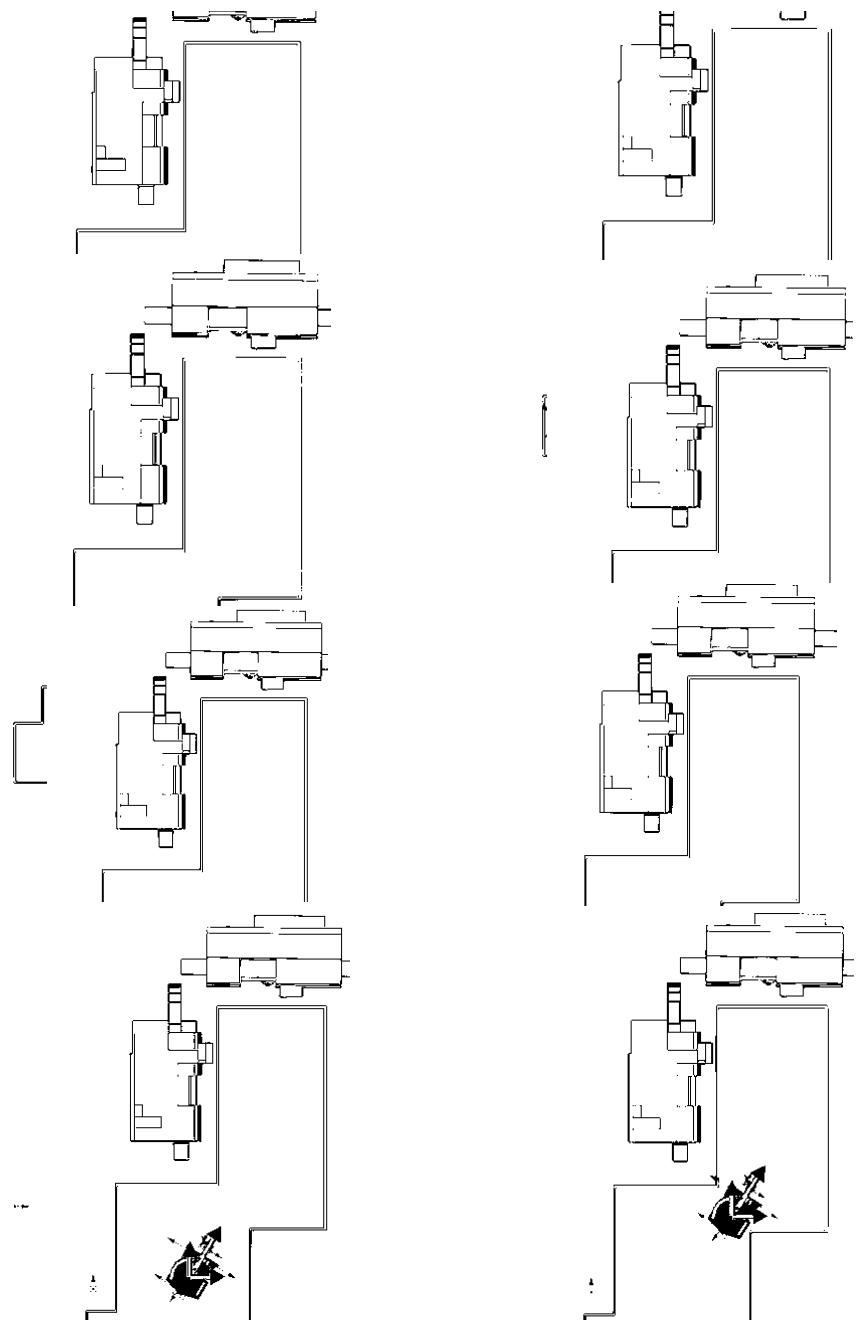


Рисунок 4.30 – 3D симуляция МРК

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

БР 15.03.06 - ПЗ



Рисунок 4.31 – 3D симуляция МРК

По полученной траектории МРК решается обратная задача робототехники для построения траектории сочленений мобильного робота. Обратная задача для мобильного робота и манипулятора имеет аналитическое решение (глава 3.1 и 3.2). Для построения траектории сочленений манипулятора необходимо иметь только две точки позиционирования схвата – точку сжатия/разжатые и начальную точку. В данной программе не учитываются препятствия для манипулятора, так как подразумевается, что деталь находится на полу без препятствий. Построенные траектории сочленений умножается на передаточное число (рисунок 4.32) и записываются в файл.

Габариты МР:

- диаметр колеса 45 см;
- количество импульсов энкодера за полный оборот 1500;
- на один импульс приходится 0,03 градуса оборота колеса или 0,094 см пройденного пути.

$$\frac{1500}{360} = 4.16667 \text{ см.} \quad \text{число импульсо на один градус}$$

$$45 \cdot \pi = 141.37167 \text{ см.} \quad \text{пройденный путь за полный оборот}$$

$$\frac{1500}{141.372} = 10.6103 \quad \text{число импульсо на один сантиметр}$$

$$\frac{1500}{141.372} \cdot 100 = 1061.03047 \quad \text{число импульсо на один метр}$$

Рисунок 4.31 – Расчет передаточного числа

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Сформированные файлы с траекторией сочленения (рисунок 4.33 и 4.34) отправляется в интерфейс (рисунок 4.16) оператора автоматизированной системы управления МРК.

q — Блокнот

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
0	-100	-150	-200	-400 -450 -450 = x_0, \dots, x_k
0	20	30	50	70 90 110 = tx_0, \dots, tx_k
0	20	30	50	70 90 110 = ty_0, \dots, ty_k
0	50	50	150	450 500 600 = y_0, \dots, y_k

Рисунок 4.32 – Файл с входными данными для построения траектории МР

q3 — Блокнот

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
3395	3964	4038	4112	4186 4260 4334 4408 4482 4557 4631 4705
4779	4853	4927	5001	5076 4827 4860 4893 4926 4960 4993 5026
5059	5092	5125	5158	5192 5225 5258 5291 5324 6071 6146 6220
6294	6368	6442	6516	6590 6665 6739 6813 6887 6961 7035 7109
7184	7347	7586	7825	8064 8304 8543 8782 9021 9260 9499 9738
9977	10216	10455	10695	10934 10860 10907 10954 11001 11048 11095 11142
11189	11236	11283	11329	11376 11423 11470 11517 11564 12108 12174 12240
12307	12373	12439	12506	12572 12638 12704 12771 12837 12903 12970 13036
13102				

Рисунок 4.33 – Файл с вектором траектории первого колеса МР

q2 — Блокнот

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
-3395	-3815	-3741	-3667	-3593 -3519 -3445 -3370 -3296 -3222 -3148 -3074
-3000	-2926	-2851	-2777	-2703 -2388 -2355 -2322 -2289 -2255 -2222 -2189 -
2156	-2123	-2090	-2057	-2023 -1990 -1957 -1924 -1891 -2490 -2415 -2341 -
2267	-2193	-2119	-2045	-1971 -1897 -1822 -1748 -1674 -1600 -1526 -1452 -
1378	-1063	-824	-585	-346 -106 133 372 611 850 1089 1328
1567	1806	2045	2285	2524 2691 2737 2784 2831 2878 2925 2972
3019	3066	3113	3159	3206 3253 3300 3347 3394 2983 3049 3115
3182	3248	3314	3381	3447 3513 3580 3646 3712 3779 3845 3911
3978				

Рисунок 4.34 – Файл с вектором траектории второго колеса МР

4.3 Обработка изображения

Системами технического зрения (СТЗ) называют сенсорные устройства, обеспечивающие получение изображений рабочих сцен и объектов, их преобразование, обработку и интерпретацию с помощью ЭВМ, а также передачу результатов управляющему устройству робота. Среди различных систем очувствления роботов СТЗ обладают наибольшей информативной емкостью, обеспечивая по некоторым оценкам от 80 до 90% всей необходимой для успешного функционирования робота информации.

Техническое, или машинное, зрение реализует сложный процесс выделения, идентификации и преобразования видеоинформации, который содержит шесть основных этапов: 1) получение (восприятие) информации; 2) предварительная обработка; 3) сегментация; 4) описание; 5) распознавание и 6) интерпретация.

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

Алгоритм работы управляющей программы можно представить в виде функциональной схемы на рисунке 4.35.

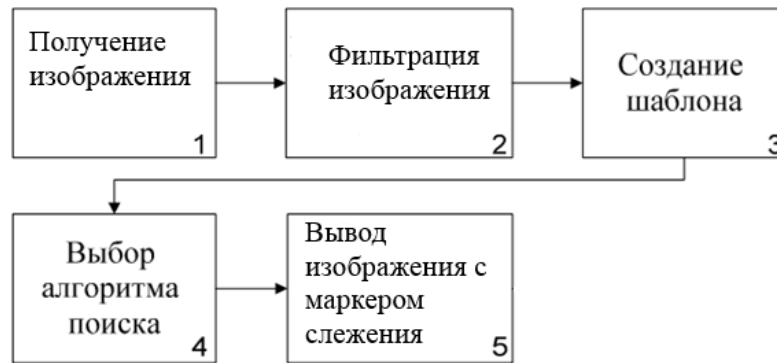


Рисунок 4.35 – Функциональная схема

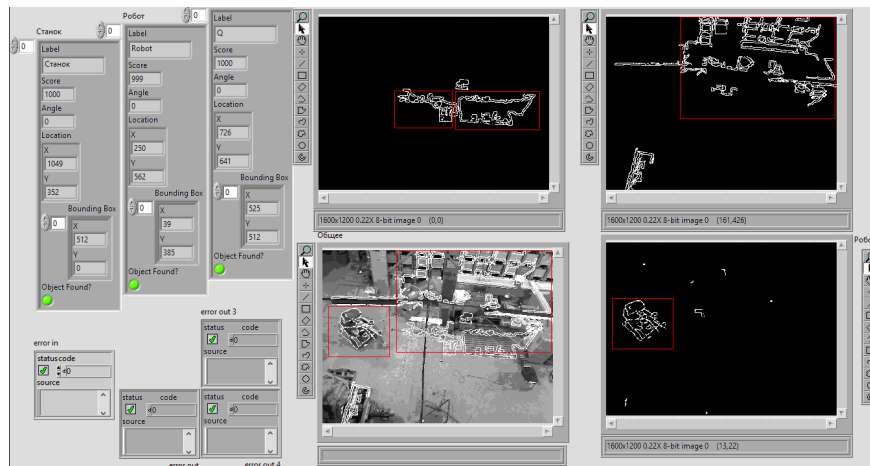
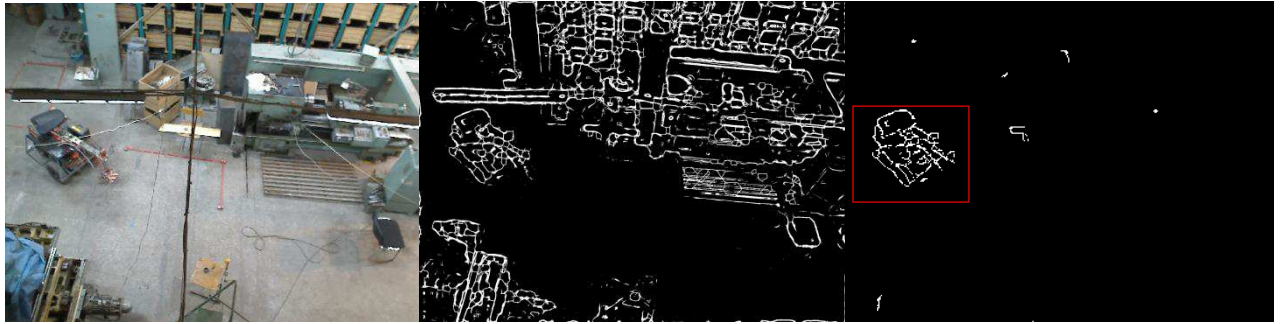


Рисунок 4.36 – Интерфейс управляющей программы

При запуске программы на блок «IMAQ ReadFile» поступает изображение, с которым будут происходить дальнейшие преобразования. Далее изображение поступает на блоки «IVA Image Buffer» с целью создания копий в 5 и 6 ячейках памяти для избегания возникновения ошибок при работе одной копии изображения с разными фильтрами. Затем изображение из 6 ячейки выгружается и идет на блок «IMAQ ExtractSingleColorPlane» для преобразования RGB изображения в HSV, после чего снова попадает на блоки «IVA Image Buffer» для сохранения в буфер в 0 и 1 ячейках. Далее из ячейки 0 изображение попадает на блоки «RobCol» и «Rob» для фильтрации и поиска координат робота. Полученные данные и изображение выводятся на лицевой панели управляющей программы с пометкой «Робот». Далее изображение сохраняется в буфере в 7 ячейке, после чего ждет окончания обработки и поисков элементов «Q» и «Станок». Поиск и обработка для этих элементов происходят аналогично описанному ранее алгоритму. После окончания процессов поиска происходит процесс наложения найденных объектов на одно изображение путем поочередного наложения при помощи блоков «IMAQ Add». Конечным этапом является выделение найденных объектов на изображении после наложения всех фильтров.



а) оригинальное изображение б) фильтрация в) выделение объекта

Рисунок 4.37 – обработка изображения

Полученные координаты X, Y, Z среды и объектов отправляются в программу планирования траектории МРК.

5 Синтез параметров системы управления

Для синтезирования параметров позиционной системы управления необходимо создать математическую модель привода или на основе экспериментов подобрать параметры, то есть воспользоваться поисковыми методами, например симплексный метод поиска. Критерием оптимизации (целевая функция) будет время переходного процесса t_p в ходе эксперимента.

$$Q(x) \rightarrow \text{extr}_{x \in E} \quad (5.1)$$

Функция ограничения отсутствие перерегулирования $\sigma\%$

$$q(x) = \sigma(x) \leq 0$$

Время регулирования t_p определяется длительностью переходного процесса. Теоретически переходный процесс длится бесконечно долго, однако практически считают, что он заканчивается, как только отклонения регулируемой величины от нового ее установившегося значения не будут превышать допустимых пределов ε . Обычно принимают $\varepsilon = (3 - 5)\%$ от $h_{уст.}$

Параметры оптимизации:

$$X = \{x: x \in E^n, x > 0, q(x) \leq b\}$$

1) x_1 задержка переключения полярности двигателя;

2) параметры формирователя напряжения:

- x_2 скорость убывания ШИМ;
- x_3 скорость возрастания ШИМ;
- x_4 ограничение управляющего воздействия;
- x_5 время дискретизации;

3) x_6 коэффициент П-регулятора.

Исходными данными являются: $n=6$ – размерность симплекса; $x_{0i} = [1, 1, 1, 1, 1, 1]$ – координаты центра исходного симплекса; $\mathbf{x}^-, \mathbf{x}^+$ – позиционные и функциональные $\mathbf{q}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{b}$ ограничения; целевая функция $Q(\mathbf{x}) = J$; $N1$ – число итераций для вписывания исходной точки x_0 в ограничения задачи; $r, e \leq n$ – номера координат для построения графика перемещения координат

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

Перв. примен.	<p>вершин симплекса при поиске; v – точность отыскания экстремума, $kp = 1$ – константа, определяющая поиск максимума ($kp = 1$) или минимума ($kp = 0$).</p> <p>Порядок выполнения операций следующий:</p> <p>1) осуществляется расчет N, L_N, параметра μ изменения ребра симплекса; вокруг исходной точки с координатами x_{0i} построить симплекс, удовлетворяющий ограничениям. Расчет координат вершин симплекса произвести по формуле</p> $x_{ji} = x_{0i} + \eta L_o, \quad (5.2)$ <p>где $i = 1, \dots, n$ – номер переменной; $j = 1, \dots, n + 1$ – номер вершины симплекса; η – переменная, определяемая из выражения</p> $\eta = \begin{cases} 0, & \text{при } i < j - 1, \\ -\frac{1}{\sqrt{2i(i+1)}}, & \text{при } i > j - 1, \\ \sqrt{\frac{i}{2(i+1)}}, & \text{при } i = j - 1. \end{cases} \quad (5.3)$ <p>Если исходная точка $x_0 \notin X$, то $x_{0i} = x_i^- + \text{rnd}(1)(x_i^+ - x_i^-)$. Процедура повторяется N1 раз. Это обеспечивает вписывание исходной точки x_0 в ограничения задачи.</p> <p>Во всех вершинах исходного симплекса найти значение</p> $Q_j = Q(\mathbf{x}_j), j = 1, \dots, n + 1, \quad (5.4)$ <p>и если текущая j-я вершина симплекса не удовлетворяет ограничениям задачи (8.1) $Q_j = -900000 - j$ при поиске максимума и $Q_j = 900000 + j$ при поиске минимума.</p> <p>Положить номер шага поиска $k = n + 1$; $Y_k = Q_k$ – массив для построения графика Q_k; X – массив координат вершин симплекса;</p> <p>2) из всех вершин текущего симплекса, выбрать вершину с наименьшим (поиск максимума) с наибольшим (поиск минимума) значением Q_j, причем $j \neq p$, где p – номер новой вершины на предыдущем шаге поиска (запрет возврата)</p> $Q_s = \min_{j \neq p} Q_j \text{ – поиск максимума;} \quad (5.5)$ $Q_s = \max_{j \neq p} Q_j \text{ – поиск минимума.} \quad (5.6)$ <p>Положить $s = j$, $p = s$, где s – номер отраженной и новой вершины симплекса;</p> <p>3) вычислить координаты вершины V_s^H нового симплекса по формуле</p> $x_{si}^H = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^{n+1} x_{ji} - \frac{2+n}{n} \cdot x_{si}, i = 1, \dots, n; \quad (5.6)$			
	Страв. №			
Подпись и дата	<p>Если исходная точка $x_0 \notin X$, то $x_{0i} = x_i^- + \text{rnd}(1)(x_i^+ - x_i^-)$. Процедура повторяется N1 раз. Это обеспечивает вписывание исходной точки x_0 в ограничения задачи.</p> <p>Во всех вершинах исходного симплекса найти значение</p> $Q_j = Q(\mathbf{x}_j), j = 1, \dots, n + 1, \quad (5.4)$ <p>и если текущая j-я вершина симплекса не удовлетворяет ограничениям задачи (8.1) $Q_j = -900000 - j$ при поиске максимума и $Q_j = 900000 + j$ при поиске минимума.</p> <p>Положить номер шага поиска $k = n + 1$; $Y_k = Q_k$ – массив для построения графика Q_k; X – массив координат вершин симплекса;</p> <p>2) из всех вершин текущего симплекса, выбрать вершину с наименьшим (поиск максимума) с наибольшим (поиск минимума) значением Q_j, причем $j \neq p$, где p – номер новой вершины на предыдущем шаге поиска (запрет возврата)</p> $Q_s = \min_{j \neq p} Q_j \text{ – поиск максимума;} \quad (5.5)$ $Q_s = \max_{j \neq p} Q_j \text{ – поиск минимума.} \quad (5.6)$ <p>Положить $s = j$, $p = s$, где s – номер отраженной и новой вершины симплекса;</p> <p>3) вычислить координаты вершины V_s^H нового симплекса по формуле</p> $x_{si}^H = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^{n+1} x_{ji} - \frac{2+n}{n} \cdot x_{si}, i = 1, \dots, n; \quad (5.6)$			
	Ине. № дубл.			
Взам. ине. №				
	Подпись и дата			
Ине. № подл.				
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
БР 15.03.06 - ПЗ				
Лист				
82				

Перв. примен.	<p>4) проверить выполнение ограничений для точки с координатами x_{si}^H:</p> <ul style="list-style-type: none"> • если эта точка удовлетворяет ограничениям, то перейти к п.5, • иначе $Q_s^H = -90000 - k$ и перейти к п.6 (при поиске минимума $Q_s^H = 90000 + k$); <p>5) определить значение Q_s^H в вершине с координатами $x_{si}^H, i=1, n; Y_k = Q_s^H$ – массив для построения графика Q_k;</p>			
	Справ. №	<p>6) положить $k = k + 1, m_j = m_j + 1; m_s = 0$, здесь m_j – число последовательных шагов поиска, в которых вершина с номером j не отражалась. Для новой (отраженной) вершины $m_s = 0$;</p> <p>7) присвоить $j = s, x_{ji} = x_{si}^H, i=1, \dots, n, Q_j = Q_s^H$. Вычислить координаты остальных вершин текущего симплекса</p> $x_{ji}^H = x_{si}^H + (x_{ji} - x_{si}^H) \frac{\gamma_k}{\gamma_{k-1}}, j=1, \dots, n+1, j \neq s, i=1, \dots, n, \quad (5.7)$ <p>где $\gamma_k = e^{-\mu k}$;</p> <p>8) провести анализ $m_j, j=1, \dots, n+1$:</p> <ul style="list-style-type: none"> • если $m_j < n+2, \sigma\% = 0$ перейти к п.9) • иначе $d = j$, вычислить $Q_d = Q(\mathbf{x}_d^H)$ (повторный эксперимент), $m_d = 0$, перейти к п.9); <p>9) проверить число шагов поиска k:</p> <ul style="list-style-type: none"> • если $k < N$, перейти к п.2); • если $k \geq N$, перейти к п.10); <p>10) вывести на печать оптимальные значения $x_{j,i}^*, Q_j^*, i=1, \dots, n, j=1, \dots, n+1$ и траекторию движения координат вершин симплекса X_k для двух выбранных переменных x_r, x_e на двух координатный график и график Y_k от k.</p> <p>Синтезированные параметры позиционной системы управления мобильного робота для задания позиционирования 1000 импульсов энкодера первого колеса МР:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ограничение ШИМ 100%, (нет ограничения); • скорость увеличения ШИМ 1 % за цикл программы; • скорость снижения, ШИМ 5 % за цикл программы; • коэффициент регулятора 0,35; • время дискретизации (ВД) программы СУ 10 миллисекунд; • задержка переключения полярности, количество циклов 20 миллисекунд; <p>Время переходного процесса 278 ВД = 2780 миллисекунд = 2,7 секунд. Перерегулирование, импульсов энкодера 5 = 0,15 см.</p>		
Подпись и дата		Име. № дубл.	Взам. име. №	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
БР 15.03.06 - ПЗ				Лист
				83

На рисунке 5.1 представлен переходной процесс эксперимента на реальном объекте при задании траектории сочленения то 0 до 1000

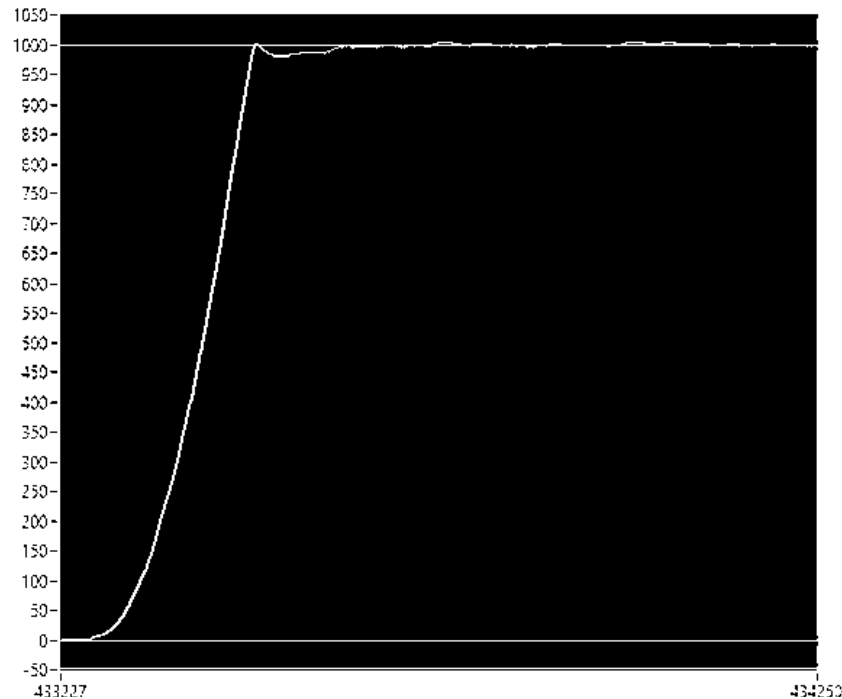


Рисунок 5.1 - Переходной процесс траектории сочленения МР при синтезируемых параметрах СУ

Вывод о подборе параметра диапазона ШИМ:

- 1) при малом диапазоне ШИМ
 - а) перерегулирование уменьшается;
 - б) устойчивость системы увеличивается (меньше колебаний);
 - в) время переходного процесса увеличивается;
 - д) момент сочленения меньше;
- 2) достигнув определенной скорости, привод не разгоняется, это объясняет то, что при увеличении диапазона управляющих воздействий (с 75% до 100%) время переходного процесса сильно не увеличилось. Устойчивость системы в конце переходного процесса так же сильно не изменилось, из-за того, что регулятор в обои случаях в конце будет выдавать похожие значения управления при малой ошибке позиционирования, что может привести к нагреву оборудования.

Вывод о подборе параметра скорости возрастания и убывания ШИМ:

- 1) при увеличении скорости снижения ШИМ:
 - а) перерегулирование уменьшается;
 - б) устойчивость системы увеличивается.
- 2) при слишком высокой скорости снижения ШИМ:
 - а) система нелинейная (пульсирующая);
 - б) возрастает время переходного процесса.
- 3) при малой скорости снижения ШИМ:
 - а) возрастает перерегулирование;

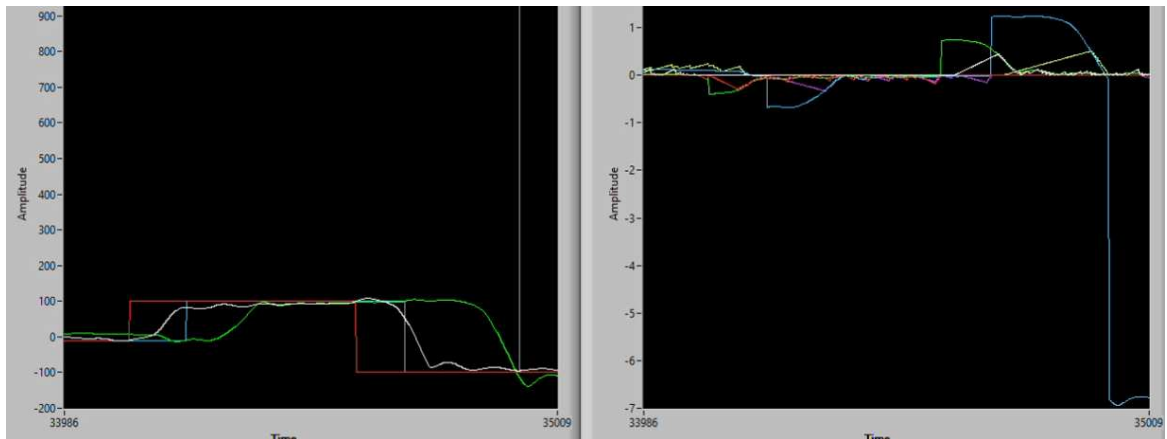
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

- б) время переходного процесса.
- 4) при высокой скорости возрастания ШИМ:
- время переходного процесса меньше;
 - устойчивость системы уменьшается.
- 5) при сильно малой скорости возрастания ШИМ:
- время переходного процесса увеличивается;
 - устойчивость системы уменьшается.

Вывод о подборе параметра времени дискретизации:

- при увеличении времени дискретизации:
 - устойчивость системы уменьшается (быстрее меняет полярность);
 - система пульсирующая.
- при уменьшении времени дискретизации:
 - перерегулирование больше;
 - система более неустойчива;
 - пульсации отсутствуют.

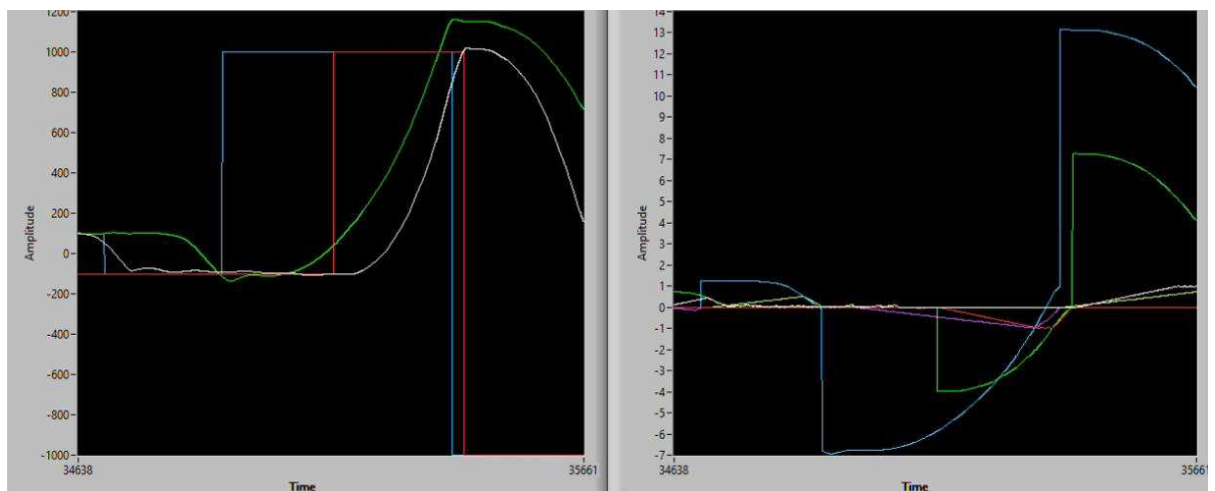
На рисунке 5.2, 5.3, 5.4 представлен переходной процесс эксперимента на реальном объекте МР при прохождении МР прямой линии $\varphi_{\text{задание 1 колеса}} = [0,10,-10,100,-100,1000,-1000]$, $\varphi_{\text{задание 2 колеса}} = [0,10,-10,100,-100,1000,-1000]$



а) траектория колес

б) ШИМ и задание от П-регулятора колес

Рисунок 5.2 –Переходной процесс колес при походе МР по прямой



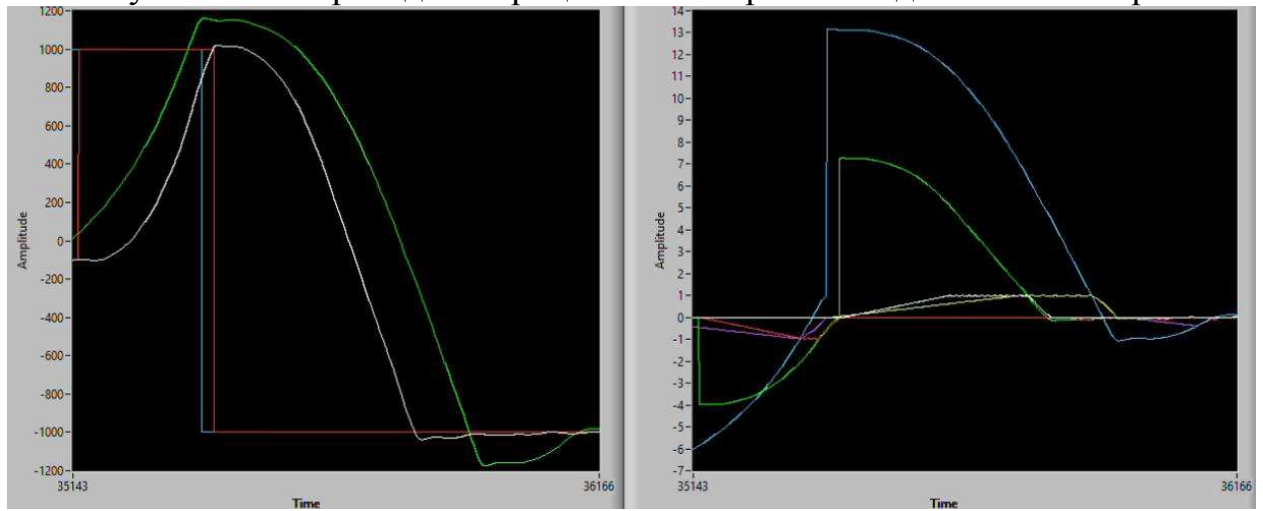
Перв. примен.

Страв. №

а) траектория колес

б) ШИМ и задание от П-регулятора колес

Рисунок 5.3 –Переходной процесс колес при походе МР по прямой



а) траектория колес

б) ШИМ и задание от П-регулятора колес

Рисунок 5.4 –Переходной процесс колес при походе МР по прямой

Вывод о выполнении нескольких заданий: параметры П-регулятора необходимо подбирать в соответствии от задания позиционирования. Необходимо адаптировать коэффициенты П-регулятора от задания позиционирования. Высокое перерегулирование при малом задании позиционирования, так как параметры для данного регулятора подбирались при задании 1000, а не 10. Так же видно, что синтезированные параметры СУ 1 колеса подходят только для 1 колеса, но не для 2.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

6 Технико-экономическое обоснование проекта

Согласно техническому заданию на дипломное проектирование была произведена доработка мобильного роботизированного комплекса. Целями технико-экономического расчета является определение сметы затрат на разработку комплекса и анализ рынка сбыта.

Смета затрат — это выражение в денежной форме затрат на разработку и выполнение хозяйственно-договорной работы.

Таблица 6.1 – Стоимость основного оборудования.

Наименование	Стоимость, руб.
Контроллер NI myRIO	86 652
Микроконтроллер Arduino Nano	143
Кобель Arduino Cable	71
Транзистор IRLR2905PBF (3 шт.)	241,8
8 канальный релейный модуль с оптопарой	279,5
Соединительный кабель Arduino (100 шт.)	500
Двигатель ПЯ 250ф (2 шт.)	24 000
Редуктор волновой безлюфтовый LHS-25 100:1 (2 шт.)	91000
Цепь приводная роликовая однорядная повышенной прочности (4 м.)	10400
Уголок 35x35x5 (18 м.)	4000
Колесная опора большегрузная поворотная с тормозом 200x50x250мм 400 кг ТД11-12Т1/200-400 черная литая резина	800
Колесо цельнолитое для тачки и тележки d-500 мм. SR1000 (2 шт.)	4000
Звезда Z 12 для мотобуксировщиков (2 шт.)	1400
Подшипник качения SNR (FC 40696)	1600
Сдвиговый регистр 74HC595 (3 шт.)	55
Транзистор IRLR2905PBF(10 шт.)	440
Драйвет Двойной BTS7960 43А h-мост высокой мощности двигателя (2 шт.)	572
Lpd3806-400bm-g5-24c АВ двухфазный 5-24 V 400 импульсов инкрементный оптический поворотный Энкодер (2 шт.)	1560
Веб-камера Logitech HD Pro C920 черный 2Мpix USB2.0	6 510
Манипулятор	1105000
Общая стоимость	1340023

Электро-сварочные работы 25 000/мес. Изготовление печатных плат 12500/мес. Зарплата инженера проектировщика 40000/мес.

Общие затраты на изготовление МРК составляет 2270023.

Перв. примен.				
Страв. №				
Подпись и дата				
Инв. № дубл.				
Взам. инв. №				
Подпись и дата				
Инв. № подл.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
БР 15.03.06 - ПЗ				Лист
				87

Перв. примен.

Страв. №

В московской области открыт тендер на разработку, изготовление и поставку самоходной роботизированной платформы. Цена данного тендера 22 028 543 руб. Разработка и изготовление мобильного роботизированного комплекса имеет смысл существовать, так как зарубежные аналоги имеют высокую цену.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист

88

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дипломного проектирования была осуществлена модернизация системы управления мобильного роботизированного комплекса, разработана электрическая принципиальная схема мобильного робота и манипулятора, по спроектированной принципиальной схеме в программе Proteus промоделировано состояние системы. Разработана разомкнутая и замкнутая кинематическая модель МР, а так же динамическая модель МР. Разработан алгоритм синтеза управляющих воздействий мобильного роботизированного комплекса на основе кинематической модели. Разработана программа планирования траектории МР в условиях препятствий. Координаты препятствий могут динамически изменяться в реальном времени. Траектория может быть построена 3 функциями spline-аппроксимации(линейная spline sublc). Разработана программа 3D моделирования, которая показывает движущегося по траектории МРК на производственном участке, что позволяет наблюдать правильность траектории движения МРК. Разработана трехуровневая система управления МРК (стратегическая, групповая и исполнительная СУ). На основе написанной программы был добавлен П регулятор. Параметры П регулятора оптимизируются в ходе эксперимента. Был разработан драйвер связи между исполнительным и групповым уровнем, то есть между контроллером Arduino и MyRio. Связь между групповым и стратегическим уровнем осуществляется стандартными функциями MyRio по сети Wifi. Разработаны интересы оператора стратегической и групповой системы управления

Перв. примен.

Страв. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист

89

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бурдаков, С.Ф. Системы управления движением колесных роботов / СПб. : Наука, 2001. - 231 с.,
2. Масальский Г.Б. / Математические основы кибернетики: учебное пособие в 2-х частях. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – 491 с.
3. М. Шахинпур. Курс робототехники. - М.: Мир, 1990.- 527 с.
4. Лекции по дисциплине « Основы мехатроники и робототехники», Ткачев Н.Н., 2016 г.
5. Лабораторные работы по программированию в Matlabs, Куликова В.Н., 2016 г.
6. Зенкевич С. Л, Ющенко А. С. Управление роботами — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.
7. Шахинпур М. Курс робототехники / Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 527 с.
8. Анурьев В.М. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. М., 1992.
9. Егоров И.Н. Автоматическое управление электроприводами: Владимир, 2002. 60 с.
10. Фу К. Робототехника Мир, 1989 – 624 с., ил.
11. Стрельцова О.Г. Модернизация микрокриогенной системы / выпускная квалификационная работа/ Санкт-Петербург 2012 г.
12. И.Н.Чернышева, А.К.Мусатов, Н.А.Глухов и др.; Под ред. А.К.Мусатова / Силовой расчет, уравнивание, проектирование механизмов и механика манипуляторов: Учебное пособие для студентов смешанной формы обучения / - М.: Изд-во МГТУ, 1990. - 80 с., ил.
13. К.В.Фролова, Е.И.Воробьева Механика промышленных роботов: Учеб. пособие для вузов: В 3-х кн. / под ред. - М.: Высш.шк., 1988.
14. Р.Пол "Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота - манипулятора" - М.: Наука, 1976.
15. Кручинкин А.А. Исследование замкнутой системы управления кинематической моделью мобильного робота / Электроэнергетика, электротехнологии, электротехника и робототехника/ Проспект Свободный – 2017/ с. 4-8
16. Кручинкин А.А. Управление мобильным роботизированным комплексом / Электроэнергетика, электротехнологии, электротехника и робототехника/ Проспект Свободный – 2019
17. Кручинкин А.А. Мобильный роботизированный комплекс / Научные исследования и технологические стартапы в контексте НТИ/ Проспект Свободный – 2019
18. Кручинкин А.А. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА /Красноярск / «Борисовское чтения»– 2019

БР 15.03.06 - ПЗ

Лист

90

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №


Подпись и дата

Инв. № подл.

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

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

Политехнический институт
Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Разработка и исследование системы управления мобильным
роботизированным комплексом

Руководитель


подпись, дата

КТИ, России
должность, учёная степень

Г.Б. Масальский

Выпускник


подпись, дата

08.07.19г

А. А. Кручинкин

Нормоконтролёр


подпись, дата

08.07.19г

В. Н. Куликова

Красноярск 2019