

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
«Робототехника и техническая кибернетика»

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

«Проектирование опытно-промышленного образца
листоподробочного роботизированного комплекса на базе дельта-
параллельного робота»

Руководитель	_____	_____	В.М. Соловьюк
	подпись, дата	должность, учёная степень	
Выпускник	_____		Н.Е. Кустов
	подпись, дата		
Нормоконтролёр	_____		В. Н. Куликова
	подпись, дата		

Красноярск 2019

Студенту Кустову Николаю Евгеньевичу

Группа ФЭ15-08б Направление (специальность) 15.03.06

«Мехатроника и робототехника»

Тема выпускной квалификационной работы «Проектирование опытно-промышленного образца листоподборочного роботизированного комплекса на базе дельта-параллельного робота».

Утверждена приказом по университету № 19632/ С от 28 декабря 2019г.

Руководитель ВКР Соловьев В.М., канд. техн. наук, доцент каф. РИТК ПИ

Исходные данные для ВКР

1. Конструкторско-технологическая документация частей робота
2. Технические требования к системе управления
3. Технические требования к схвату робота
4. База данных по проектным решениям

Перечень разделов ВКР

Глава 1 – Описание робота как объекта управления

Глава 2 – Система управления дельта роботом

Глава 3 – Оценка точности дельта - робота

Глава 4 – Перемещения и деформации опорной станины

Глава 5 – Кинематический анализ

Глава 6 – Создание 3D модели дельта – робота в Solid Works

Глава 7 – Безопасность и экологичность проекта

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов

Лист 1 – Габаритные размеры верхней платформы

Лист 2 – Габаритные размеры нижней платформы

Лист 3 – Габаритные размеры опорной станины

Лист 4 – Общий вид дельта - робота

Лист 5 – Технико-экономическое обоснование проекта

Руководитель ВКР _____

В. М. Соловьев

Задание принял к исполнению _____

Н. Е. Кустов

« 11 » мая 2019 г.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Исследование дельта-параллельного робота» содержит 146 страниц текстового документа, 3 приложения, 26 использованных источников.

СЕРВОДВИГАТЕЛЬ, СЕРВОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ДЕЛЬТА-ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ РОБОТ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОПОРНАЯ СТАНИНА, КОНТРОЛЛЕР.

Цели проекта:

- - статический и динамический расчёт приводов;
- - подбор приводов;
- - настройка приводов в ПО ASDASOFT;
- - реализация конструкции робота и схем подключения;
- - расчёт силовых перемещений, напряжений и внешней нагрузки опорной станины;
- - анализ точности позиционирования;
- - решение прямой и обратной задачи робототехники в ПО Mathcad/Mathlab/ISPSOFT;
- - моделирование рабочей области в ПО Mathlab;
- - разработка и установка системы схвата робота;
- - разработка программы управления роботом в ISPSOFT;
- - разработка интерфейса не требующего специальных навыков и знаний в ПО DOPSOFT;
- - технико-экономический расчёт;
- - анализ безопасности и экологичности проекта.

В ходе дипломного проектирования был изготовлен лабораторный стенд дельта - параллельного робота. Стенд испытывался в условиях производственных работ. Также экспериментальным путём исследовалась точность и скорость дельта-параллельного робота

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Описание робота как объекта управления.....	8
1.1 История развития дельта–параллельного робота	8
2 Система управления дельта роботом	12
2.1 Статический и динамический расчёт приводов робота	12
2.1.1 Статический расчёт	12
2.1.2 Динамический расчёт	13
2.3 Описание серводвигателя Delta ECMA-C10604RS дельта - робота	15
2.3.1 Планитарный редуктор модели PS / PA.....	17
2.4 Сервопреобразователь ASD-A2-0421-M.....	19
2.4.1 Описание конструкции	19
2.4.2 Источник питания	23
2.4.3 Базовая схема соединений ASD-A2-0421-M	24
2.4.4 Связь приводов по шине CANopen	25
2.5 Описание контроллера AS324MT	26
2.5.1 Основные характеристики модуля CPU	26
2.5.2 Обозначение входов\выходов модулей CPU.....	27
2.5.3 Блок питания AS-PS02.....	28
2.6 Обзор лабораторного стенда	30
2.6.1 Настройка редукторов	30
2.6.2 Алгоритмы настройки и пробный пуск сервоприводов	32
3 Оценка точности дельта - робота	39
3.1 Точность дельта - параллельного робота.....	39
4 Перемещения и деформации опорной станины.....	43
5 Кинематический анализ.....	46
5.1 Обратная задача кинематики	47
5.2 Прямая задача кинематики.....	51
5.3 Принцип виртуальной роботы	53
6 Создание 3D модели дельта – робота в Solid Works	55
6.1 Верхняя платформа.....	55

					БР-15.03.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		4

6.2 Кронштейн скреплениями под сервоприводы	58
6.3 Серводвигатели и плечи дельта-робота	60
6.4 Универсальные магнитные шаровые шарниры KD625	62
6.4.1 Технические характеристики шарниров.....	63
6.5 Нижняя платформа.....	64
6.5.1 Выбор элементов для схвата.....	67
6.6 Результаты испытаний системы управления робота.....	71
6.6.1 Точность позиционирования.....	71
6.7 Обзор сенсорной панели оператора DOP-B10E615.....	72
6.7.1 Разработка интерфейса в среде DOP soft.....	74
6.7.2 Внешний вид робота	79
6.7.3 Выявленные недостатки	80
6.7.3 Техничко-экономические затраты.....	80
6.7.4 Расчет затрат на основное оборудование	81
6.7.5 Затраты на заработную плату	83
6.7.6 Затраты на электроэнергию.....	84
6.7.7 Затраты на амортизацию оборудования	85
6.7.8 Расходы на аренду помещения	86
6.7.9 Расчет сметы затрат на разработку лабораторного стенда.....	86
7 Безопасность и экологичность проекта	88
7.1 Безопасность дельта-параллельного робота.....	88
7.2 Безопасность производственного оборудования.....	88
7.3 Безопасность деталей дельта-параллельного робота	89
7.4 Безопасность исходных материалов	90
7.5 Безопасность органов управления робота	91
7.6 Безопасность средств защиты.....	92
7.7 Безопасность при монтажных и ремонтных работах	94
7.8 Безопасность при транспортировке, хранении и установке робота	95
7.9 Безопасность при установке дельта-параллельного робота	95
7.9.1 Требования безопасности к профессиональному отбору	96
7.9.2 Пожарная безопасность	96
7.9.3 Безопасность при чрезвычайных ситуациях	97
7.9.4 Экологическая безопасность дельта-параллельного робота	97

7.9.5 Экологическая безопасность исходных материалов	97
7.9.6 Экологическая безопасность материалов	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	100
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	145
ПРИЛОЖЕНИЕ А	Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ В	Ошибка! Закладка не определена.

					БР-15.03.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация технологических процессов является одним из главных направлений технического прогресса, она (автоматизация) является решающим фактором повышения производительности и улучшения условий труда.

На сегодняшний день, актуальным вопросом остаётся повышение производительности промышленных предприятий и увеличение выпуска продукции без увеличения границ производственных площадей при значительном сокращении численности рабочих. Это требует коренного технического переоснащения предприятий с существенным уменьшением доли ручного труда. Оно достигается путем комплексной автоматизации технологических процессов с широким применением вычислительной техники и робототехники наряду с другими традиционными средствами автоматизации.

Основным решением таких задач является внедрение в производство различных типов роботов. К таким типам роботов относится и дельта-параллельный робот.

В данной работе, мы рассматриваем только сборочные роботы и роботы перекладчики. В настоящее время роботы данного типа способны выполнять различные сборочные операции быстрее и качественнее, чем человек. Высокая точность позиционирования и маленькое время рабочего цикла, за счет высокой скорости и ускорения, вот что обеспечивает спрос и постоянное увеличение доли рынка роботизированных сборочных комплексов.

Спектр применения дельта-роботов очень широк, начиная от роботов данного типа в сфере микрохирургии и заканчивая дельта-роботами в сфере развлечений.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 Описание робота как объекта управления

В 1980 году, когда Рэймонд Клавэл продумал блестящую идею использования принципа параллелограммов для создания параллельного робота с тремя поступательными, и одной вращательной степенями подвижности.

1.1 История развития дельта-параллельного робота

Это изобретение утвердилось, как одно из самых успешных на свете, с множеством активных роботов во всем мире. В 1999 году профессор Клавэл получил награду "Золотой Робот", за его спроектированный дельта-робот (рисунок 1).

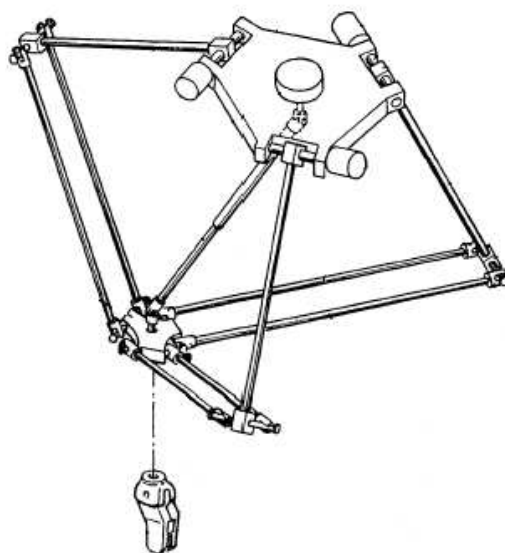


Рисунок 1 - Схема дельта параллельного робота

Позже многие компании применяли эту разработку для автоматизации своих предприятий, например компании Demarex, которая использовала систему с дельта-роботом для упаковки хлебобулочных изделий в промышленной пекарне почти 20 лет назад. Линия таких роботов представлена на рисунке 2 и на рисунке 3.



Рисунок 2 - Установка линии роботов Line-Placer компании Demarex для упаковки хлебобулочных изделий в промышленной пекарне



Рисунок 3 – Медицинский микроскоп «SurgiScore» в хирургической лаборатории робототехники в университете города Берлина

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-15.03.06 ПЗ

Лист

9



Рисунок 4 – Дельта-роботы компании «Hitachi Seiki»

Передовым разработчиком дельта-роботов является компания «ABB Flexible Automation». Она также запустила свой проект с названием «IRB 340 FlexPicker». Задача этого проекта заключалась в оснащении роботами три сектора промышленности: пищевую, фармацевтическую и отрасль электроники.

Робот «FlexPicker» был оборудован интегрированной вакуумной системой, способной к быстрому захвату и отпусканию объектов, весящих до 1 кг. Робот управляется ABB S4C контроллером с системой видения Cognex. Также робот был оборудован контроллером движения с системой наблюдения «Adept Technology». Скорость манипуляций, достигаемая такими роботами, составила 10 м./с. и 3.6 гр./с. (приблизительно 150 подъемов в минуту), а ускорение до 100м./с². Такой робот изображен на рисунке 5.



Рисунок 5 - Робот «FlexPicker» корпорации «ABB»

На сегодняшний день, первое место на рынке занимает компания «The SIG Group», которая предлагает три различных модели робота Дельты, С23 и С33, спроектированные «Demaurex», в то время как СЕ33 изготовлен «The SIG Group» (рисунок 6).



Рисунок 6 - Две модели дельта-робота (С33 и СЕ33), представленные корпорацией «The SIG Group»

2 Система управления дельта роботом

Для того, чтобы подобрать приводы для дельта робота, нужно сначала сделать статический и динамический расчёт приводов дельта-робота.

2.1 Статический и динамический расчёт приводов робота

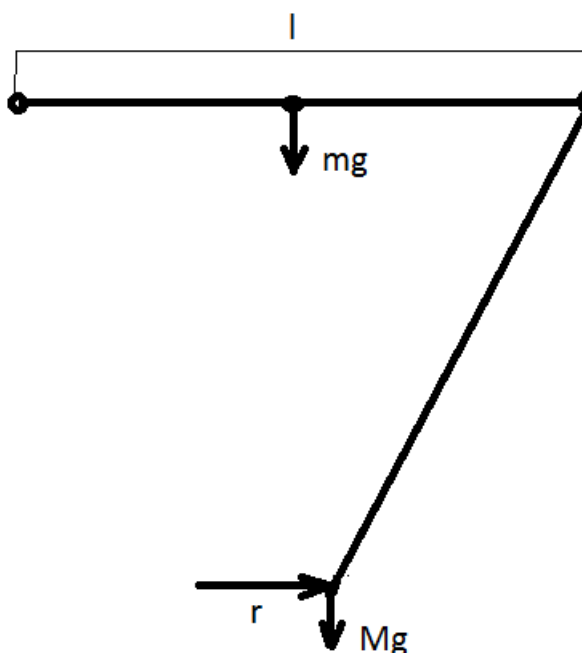


Рисунок 7 – Расчётная схема

2.1.1 Статический расчёт

Статический момент от плеча (рисунок 7):

$$T_m = mg \frac{l}{2}, \quad (1)$$

где m – масса плеча,

g – ускорение свободного падения,

l – длина плеча.

Подставив значения, получаем:

$$T_m = 0.353 \text{ Н} \times \text{м} \quad (2)$$

Статический момент от нагрузки:

$$T_M = mgr \quad (3)$$

Подставив значения, получаем:

$$T_M = 6.374 \text{ Н} \times \text{м} \quad (4)$$

Общий статический момент:

$$T_{\text{стат}} = T_m + T_M \quad (5)$$

$$T_{\text{стат}} = 6.727 \text{ Н} \times \text{м} \quad (6)$$

2.1.2 Динамический расчёт

Задаём время разгона двигателя до установленной скорости, которую находим с учётом передаточного числа редуктора (формула 8).

$$n_{\text{дв}} = 3000 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \quad (7)$$

Обороты вала на выходе из редуктора:

$$= \frac{n_{\text{дв}}}{10} \quad (8)$$

$$= 300 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \quad (9)$$

Исходя из значения, полученного в формуле 9, подбираем время разгона:

$$t = 0.3 \text{ с} \quad (10)$$

Затем считаем ускорение двигателя:

$$a = \frac{v}{t} \quad (11)$$

$$a = 104.72 \frac{1}{c^2} \quad (12)$$

Зная ускорение двигателя, мы можем найти максимальную динамическую силу от плеча:

$$F_{\text{дин. пл.}} = ma \quad (13)$$

$$F_{\text{дин. пл.}} = 3.77 \text{ Н} \quad (14)$$

Далее находим динамическую силу с учётом груза с нижней платформы:

$$F_{\text{дин. гр.}} = \frac{M}{3} \times \frac{r}{t} \quad (15)$$

$$F_{\text{дин. гр.}} = 22.689 \quad (16)$$

Общий динамический момент:

$$T_{\text{дин}} = F_{\text{дин. пл.}} \frac{1}{2} + F_{\text{дин. гр.}} \quad (17)$$

$$T_{\text{дин}} = 12.023 \text{ Н} \times \text{м} \quad (18)$$

Момент на двигателе Delta ЕСМА-С10604RS с редуктором PS / PA:

$$T_{\text{дин}} = 12.7 \text{ Н} \times \text{м} \quad (19)$$

$$T_{\text{дейст}} > T_{\text{дин}} \quad (20)$$

Исходя из формулы 20, мы понимаем, что выбор редуктора и двигателя оправдан.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

2.3 Описание серводвигателя Delta ECMA-C10604RS дельта - робота



Рисунок 8 – Delta ECMA-C10604RS серводвигатель переменного тока

Серводвигатель переменного тока 0.4кВт, 220В, 3000об/мин, без тормоза, с сальником, вал со шпонкой и резьбой.

Серия ECMA объединяет синхронные двигатели с постоянными магнитами мощностью от 100Вт до 15кВт, предназначенные для работы в составе комплексного привода ASDA-A2. Серия включает серводвигатели 5-и типоразмеров с фланцами 40, 60, 80, 86, 100, 130, 180 мм. Диапазон номинальных скоростей от 1000 до 5000 об/мин. Диапазон номинальных моментов вращения от 1.92 до 119.36 Нм. Серводвигатели дополнительно могут комплектоваться электромагнитными тормозами и сальниками. Вал двигателя может быть со шпоночным отверстием или без него.

										Лист
										15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР-15.03.06 ПЗ					

Таблица 1 - Характеристики двигателя ЕСМА-С10604RS

Характеристика, ед. изм.	Значение
Номинальная мощность, кВт	0.4
Напряжение питания, В	220
Номинальная скорость, об/мин	3000
Максимальная скорость, об/мин	5000
Номинальный крутящий момент, Н.м	0.32
Максимальный крутящий момент, Н.м	0.96
Номинальный ток, А	0.90
Максимальный ток, А	2.7
Тип энкодера	20бит
Размер фланца, мм	40
Тип вала	под шпонку
Наличие тормоза и сальников	без тормоза, с сальником
Степень вибрации, мкм	15
Вибростойкость	2.5G
Рабочая температура, С	0...40
Масса, кг	0.5

Из-за нехватки момента на двигателе было принято поставить редукторы для усиления.

2.3.1 Планитарный редуктор модели PS / PA

Краткие характеристики:

- мощность серводвигателей: от 200Вт до 3кВт;
- скорость входного вала: до 5000 об/мин;
- уровень шума: менее 65 Дб;
- степень защиты: IP65;
- смазка на весь срок службы (не менее 20 тыс. часов при режиме работы S5), не требуется обслуживания;
- редукторы изготовлены из высокопрочной легированной стали;

Точность:

- люфт для концентрических 1-ступенчатых редукторов менее 3 угловых минут (серия PS) или менее 8 угловых минут (серия PA);
- люфт для угловых 1-ступенчатых редукторов менее 4 угловых минут (серия PS) ;
- люфт для концентрических 2-ступенчатых редукторов менее 5 угловых минут (серия PS) или менее 12 угловых минут (серия PA);
- КПД 1-ступенчатых моделей превосходит 97% (серия PS) или 95% (серия PA), - КПД 2-ступенчатых моделей превосходит 94% (серия PS) или 92% (серия PA).

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

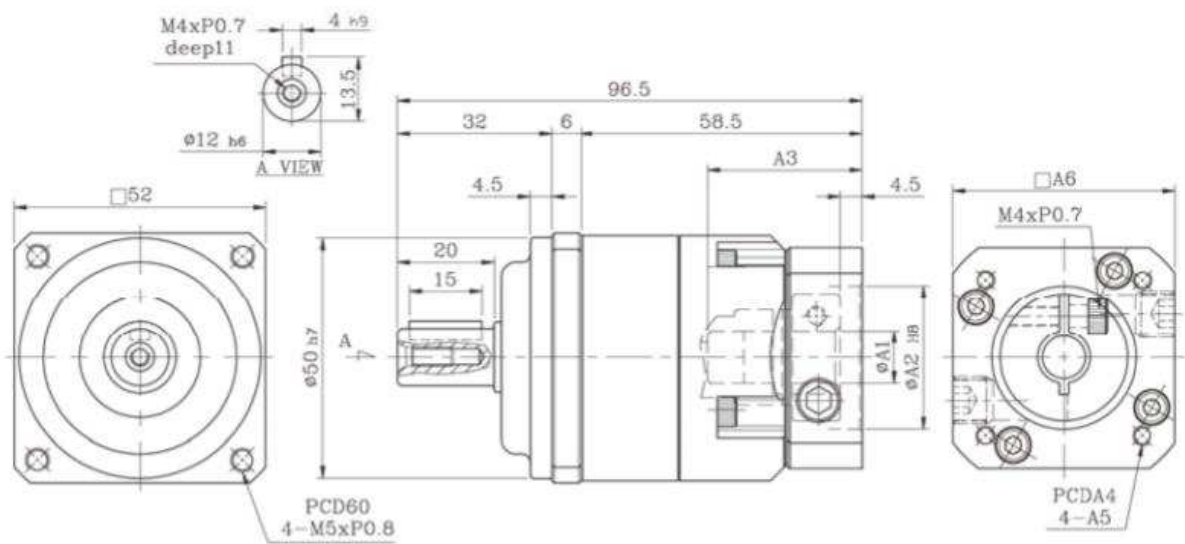


Рисунок 9 – Внешний вид планетарного редуктора серии PS

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-15.03.06 ПЗ

Лист

18

2.4 Сервопреобразователь ASD-A2-0421-M

Используется для управления и настройки серводвигателей. Управляется с помощью протокола связи CANopen.

2.4.1 Описание конструкции

ASDA-A2 220B - Вид спереди

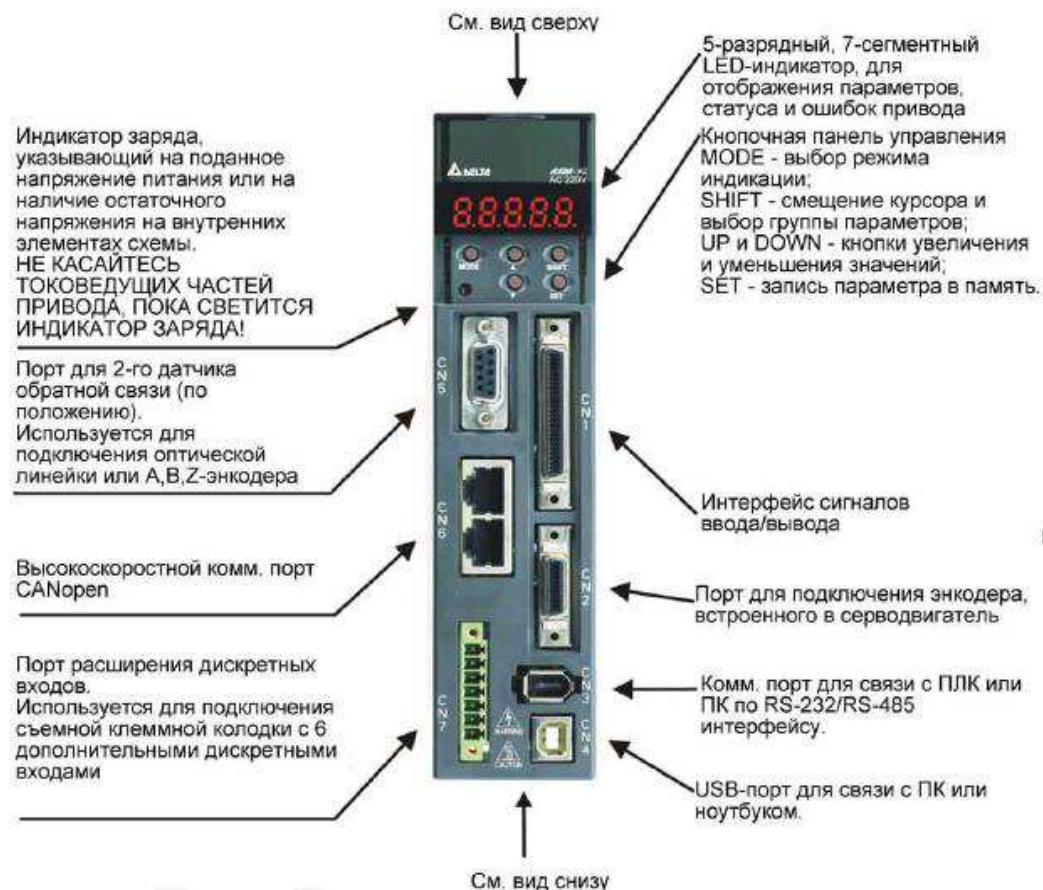


Рисунок 10 - Вид спереди сервопреобразователя ASD-A2-0421-M

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

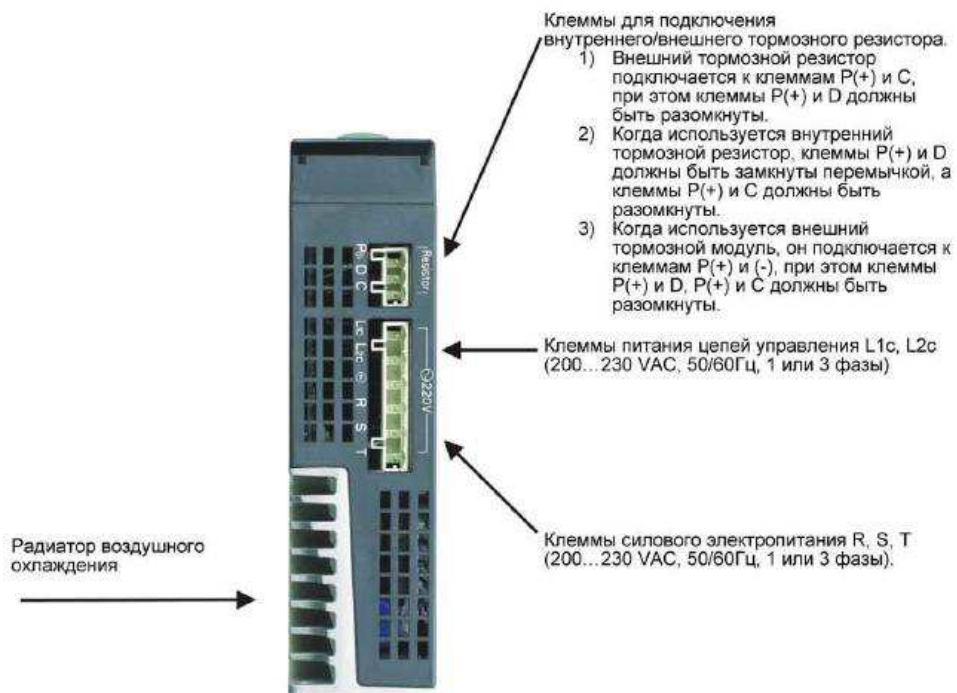


Рисунок 11 Вид сверху сервопреобразователя ASD-A2-0421-M

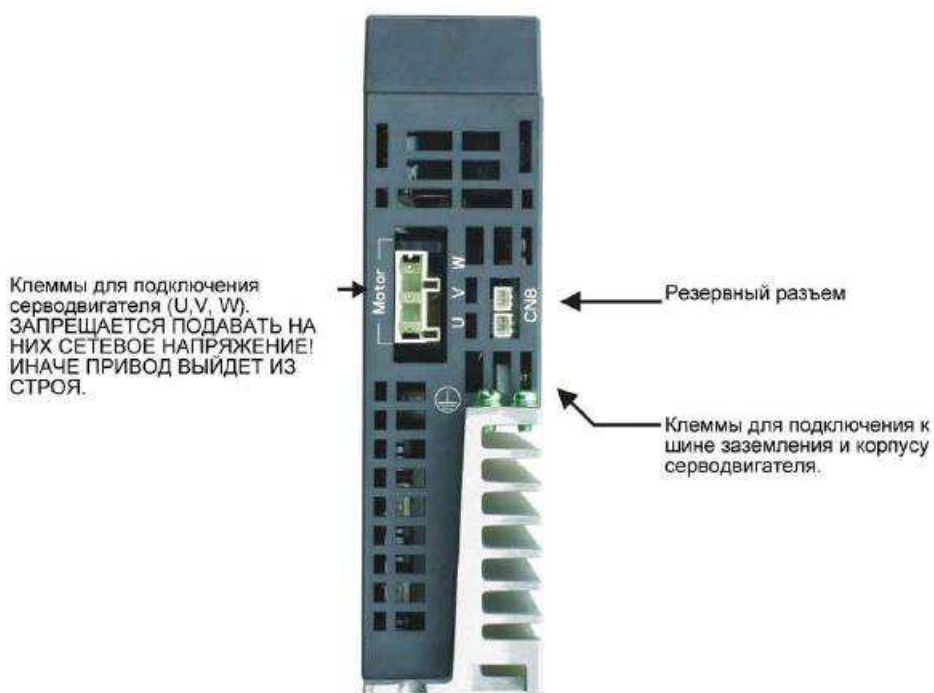


Рисунок 12 - Вид снизу сервопреобразователя ASD-A2-0421-M

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

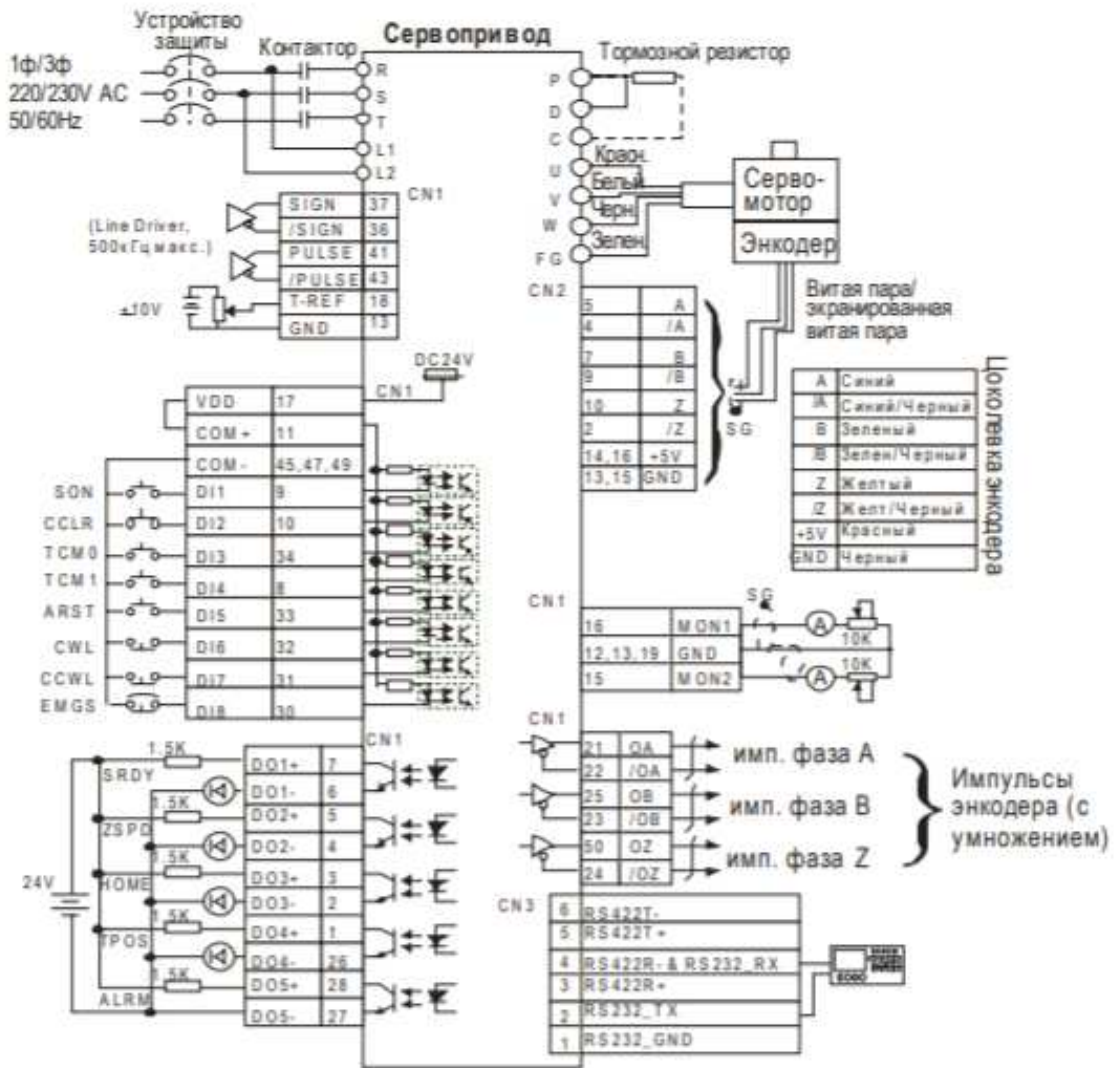


Рисунок 13 - Схема подключения сервопреобразователя ASD-A2-0421-M

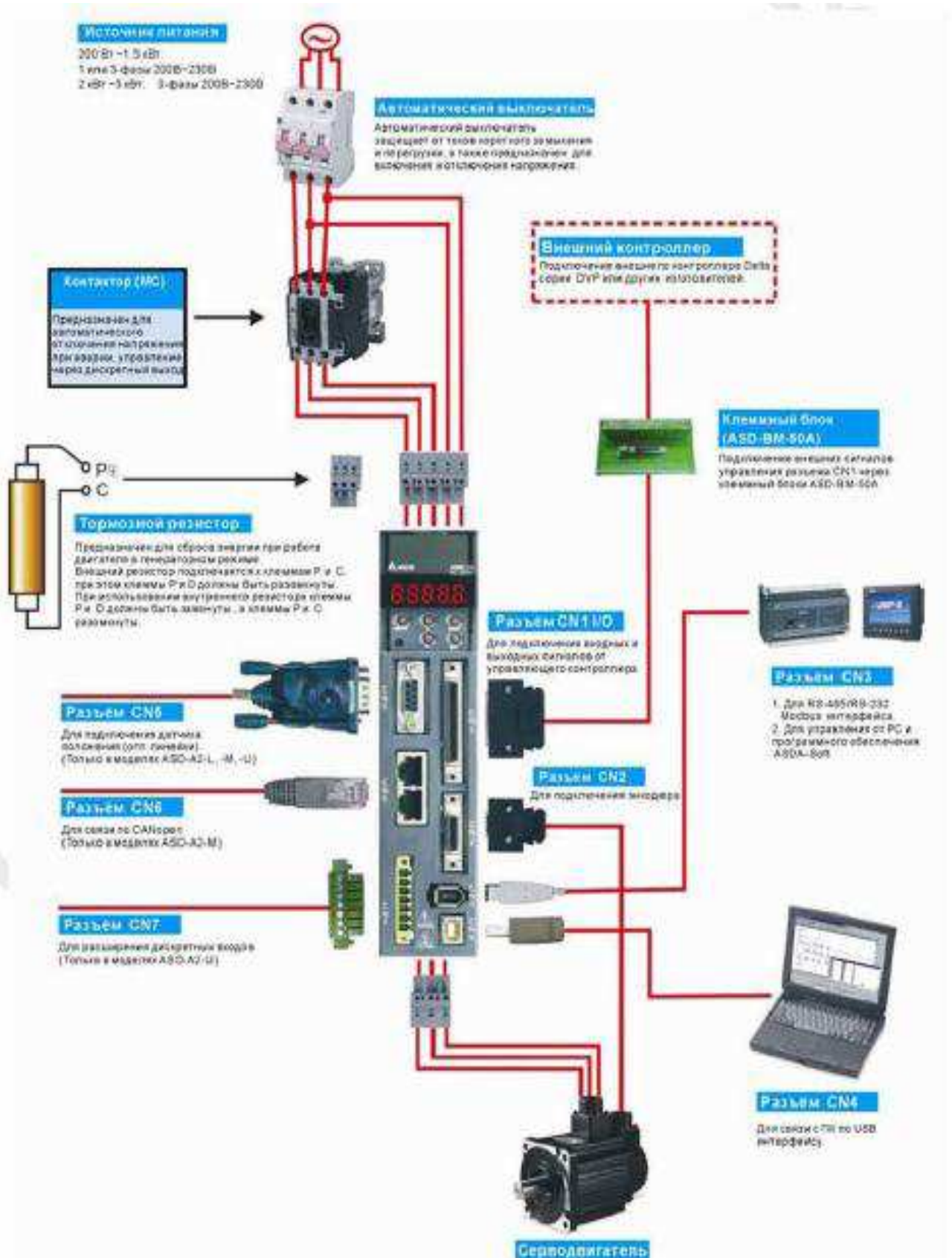


Рисунок 14 - Соединение с внешними устройствами сервопреобразователя ASD-A2-0421-M

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.4.2 Источник питания

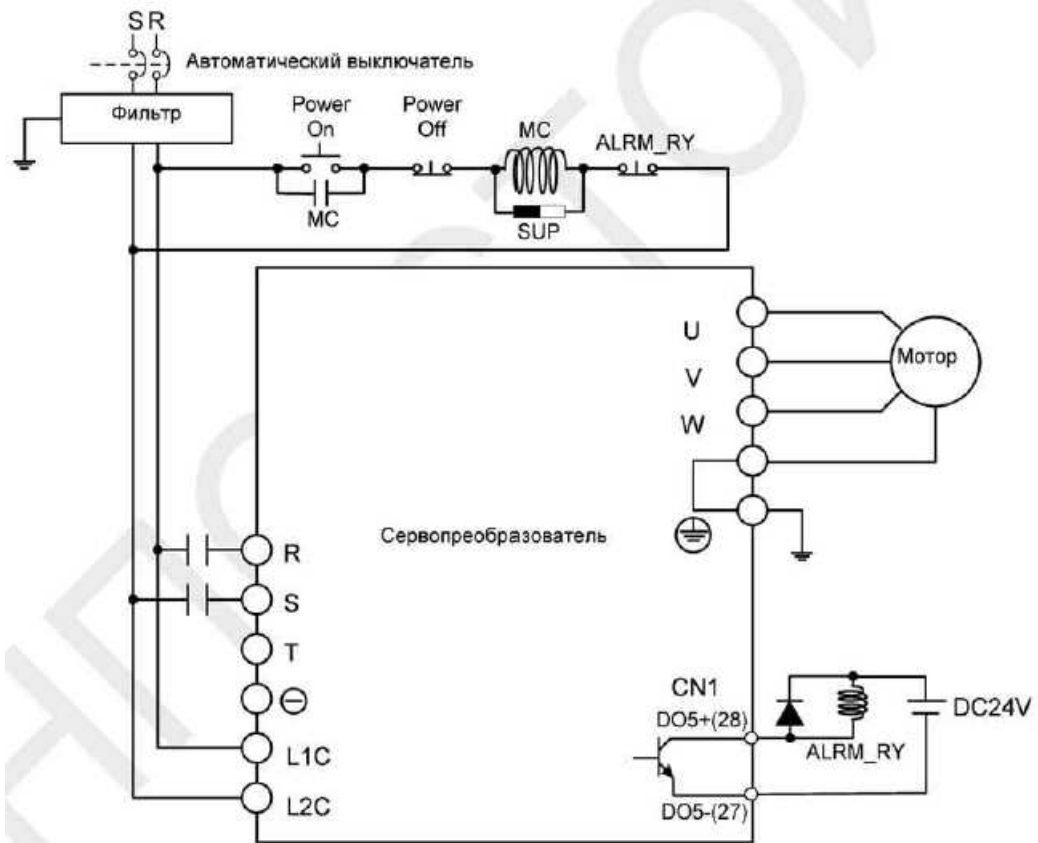


Рисунок 15 - Схема подключения источника питания

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-15.03.06 ПЗ

Лист

23

2.4.3 Базовая схема соединений ASD-A2-0421-M

Power
100W - 400W 1-phase/3-phase 200 - 230V

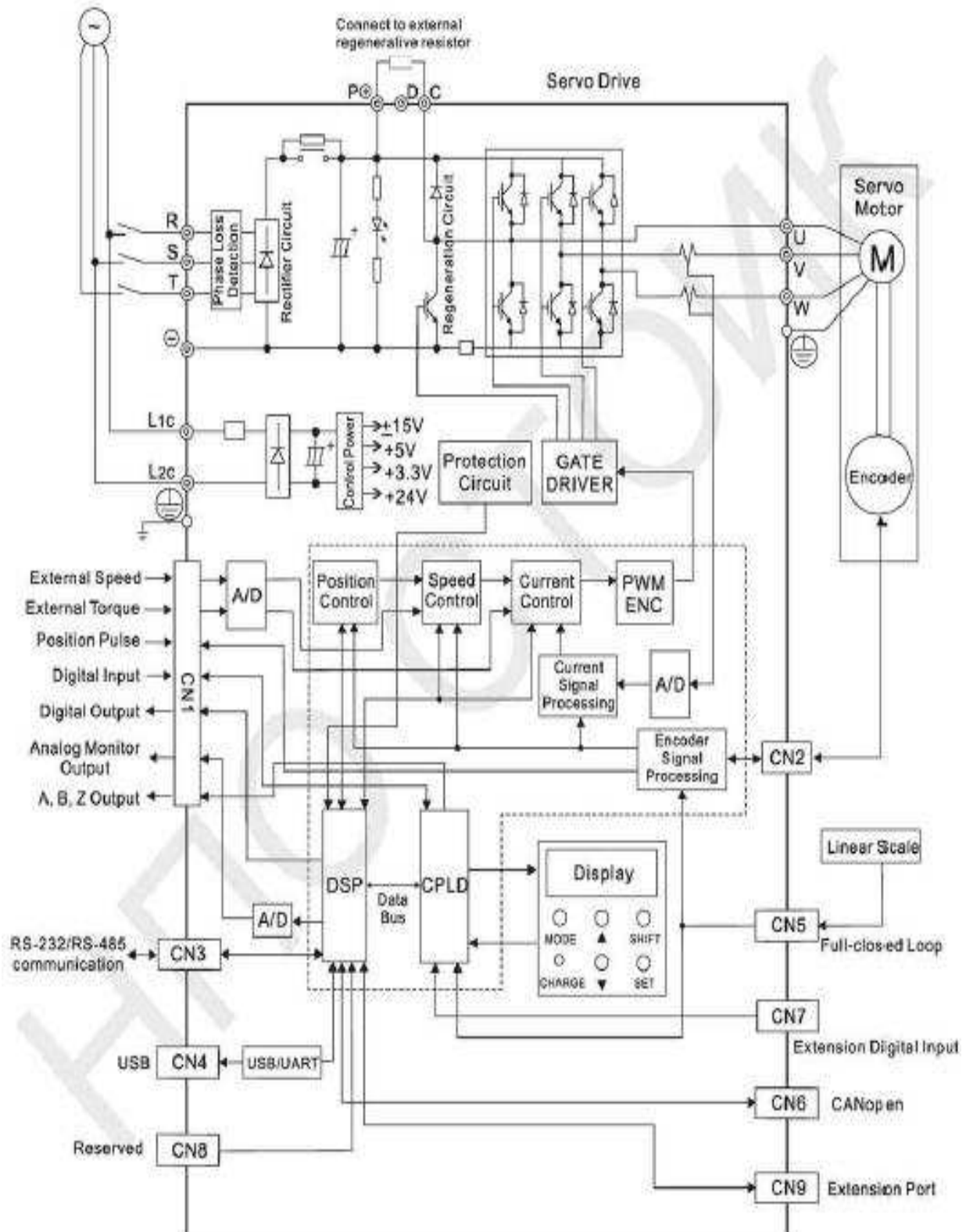


Рисунок 16 - Схема подключения источника питания

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-15.03.06 ПЗ

Лист

24

2.4.4 Связь приводов по шине CANopen

Соединяется при помощи TAP-CB05 кабеля связи по CANopen, длина 0,5 м.



Рисунок 17 – Связь нескольких приводов по CANopen

2.5 Описание контроллера AS324MT

Для программирования серводвигателей был использован контроллер AS324MT с процессорным модулем AS300, 128К шагов, 12DI/12DO



Рисунок 18 - AS324MT-A

2.5.1 Основные характеристики модуля CPU

Таблица 2 – Основные характеристики модуля CPU

Рабочая температура	-20 до 60°C.
Температура хранения	-40 до 60°C.
Рабочая влажность	5 – 95%, без образования конденсата
Условия эксплуатации	Без воздействия агрессивных газов
Класс загрязнения	2
Виброустойчивость	Продолжительность колебаний:10 циклов по направлению 3 взаимно перпендикулярных осей.
Ударопрочность	Сила удара 15 г.(пиковое значение)
Безопасность	Согласно IEC 61131-2 UL508

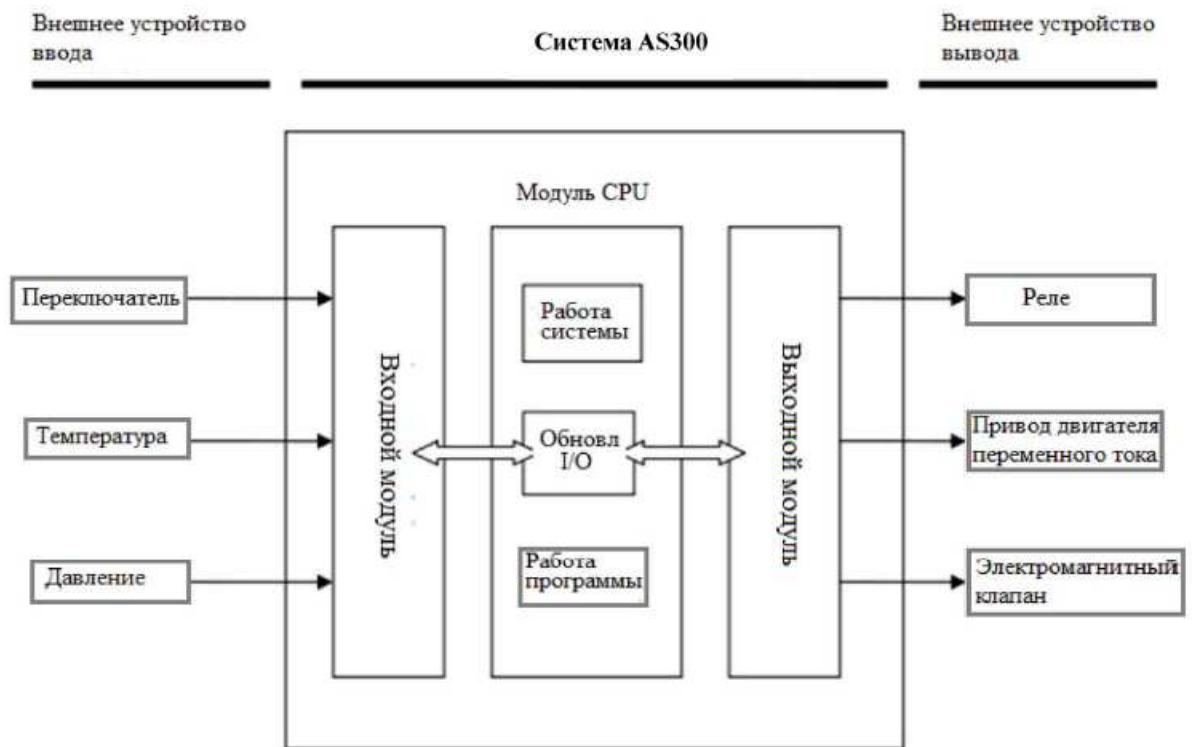


Рисунок 19 - Логика работы AS324MT-A

2.5.2 Обозначение входов\выходов модулей CPU

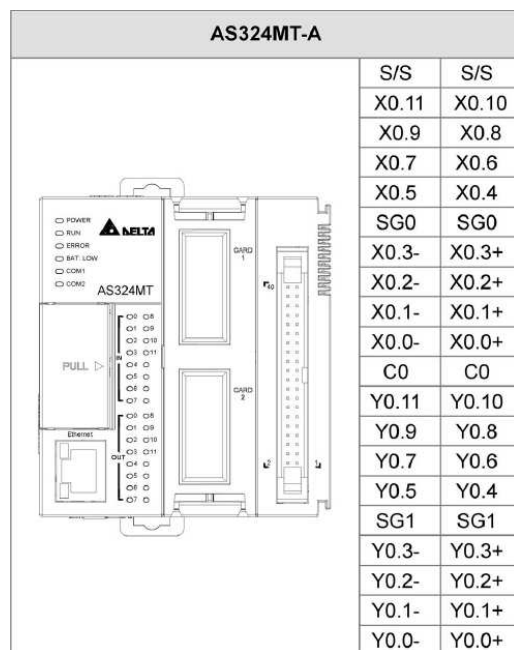
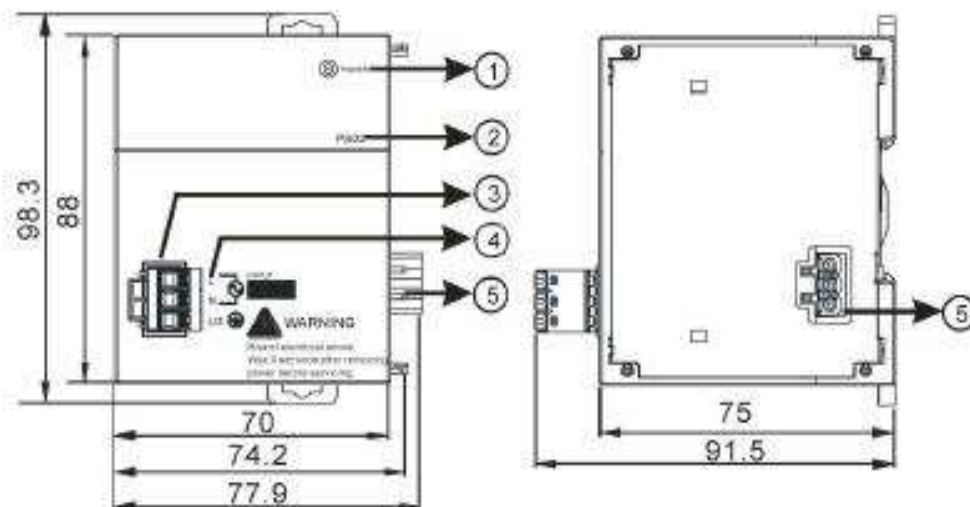


Рисунок 20 – Обозначение входов\выходов модулей CPU

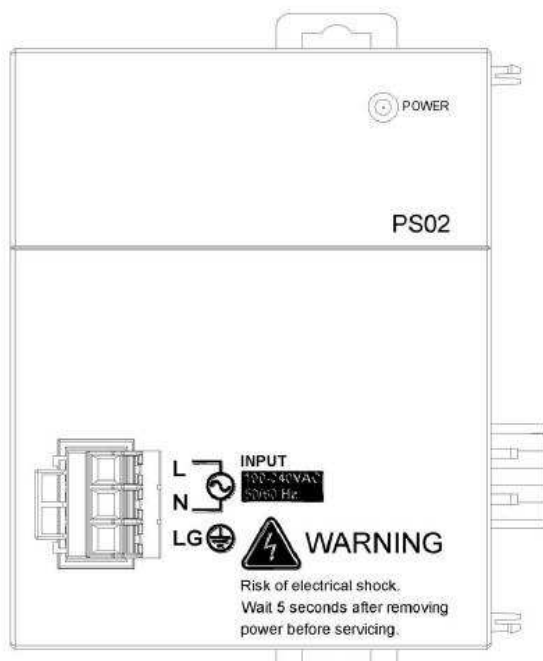
2.5.3 Блок питания AS-PS02

● AS-PS02



1 – индикатор питания (зелёный), 2 – наименование модели, 3 – клеммы для подключения, 4 – наименование клемм с входом питания тока 24 Вт, с заземлением и входом питания переменного тока, 5 – выходные клеммы

Рисунок 21 - Описание модулей питания



- L/N: Питание переменным током
- LG: Заземление

Рисунок 22 - Расположения клемм модулей питания

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

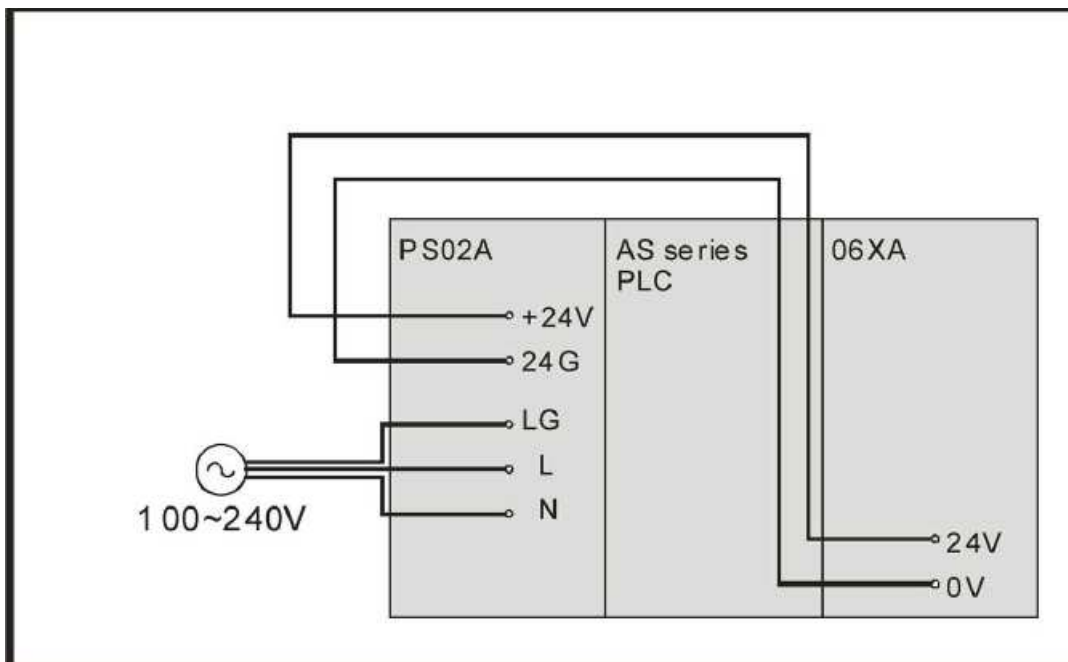


Рисунок 23 - Подключение оборудования

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.6 Обзор лабораторного стенда

Структурная схема стенда включает в себя схемы лабораторного стенда и робота. Взаимодействие между этими частями осуществляется с помощью экранированного соединительного кабеля. Для согласования уровней управления контроллера и сервоприводов была использована шина CANOPEN.

Для управления приводами была использована серво-система ASDA-A2.



Рисунок 24 - Сервосистема ASDA-A2

2.6.1 Настройка редукторов

Пошаговая настройка редукторов:

- 1) выбор привода в зависимости от поставленной задачи и требуемых мощностей и момента;
- 2) автоматическое определение протокола обмена;
- 3) быстрая установка параметров протокола обмена;
- 4) выбор языка интерфейса пользователя;
- 5) чтение и запись;
- 6) поддержка различных версий сервопривода;

- 7) работа с параметрами в режиме on-line;
- 8)строенная функция преобразования;
- 9) режимы управления;
- 10)быстрый выбор режима работы;
- 11)простое изменение параметров, графическое представление;
- 12)настройка;
- 13)автоматический режим настройки коэффициентов;
- 14)ручная настройка при заданной жёсткости;
- 15)режим мониторинга для подавления резонанса;
- 16)мониторинг;
- 17)функция трёхканального цифрового осциллографа;
- 18)поддержка функции запоминания;
- 19)подтвердить, что полная настройка выполнена;
- 20)схема подключения серво-преобразователя.

2.6.2 Алгоритмы настройки и пробный пуск сервоприводов

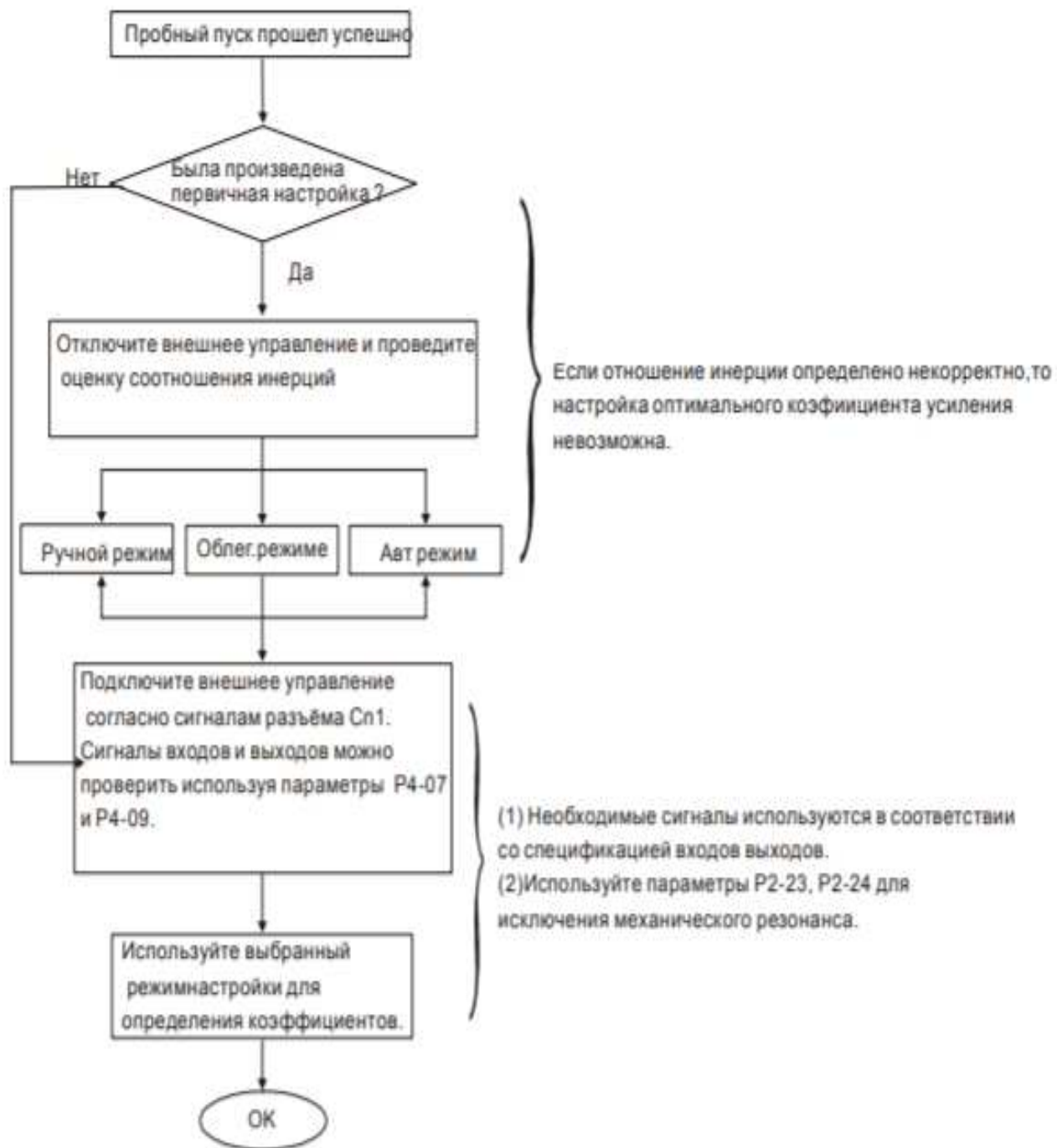


Рисунок 25 - Алгоритмы настройки сервоприводов

После проделанного алгоритма необходимо было определить инерцию нагрузки на серво-преобразователи. Для этого был разработан алгоритм.

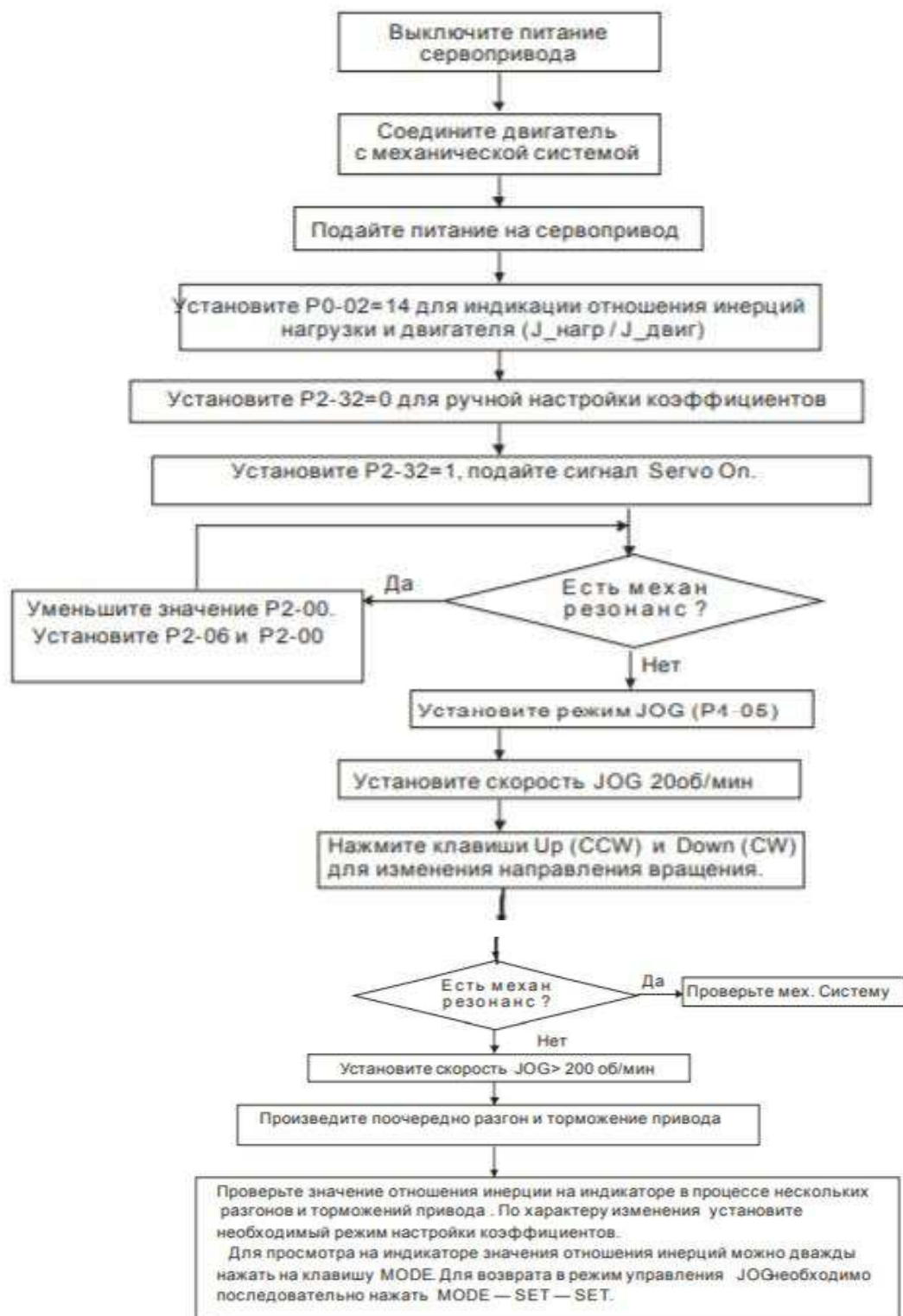


Рисунок 26 - Алгоритм определения инерции нагрузки на сервопреобразователи

Выбор коэффициентов усиления, быстродействия и жесткости контуров положения и скорости зависят от свойств механических узлов оборудования и предъявляемых требований по точности и быстродействию к системе в целом.

Для задач повышенного быстродействия при высокой точности требуются высокие значения коэффициентов.

Однако это может привести к неустойчивой работе и резонансу приводной системы. Поэтому для таких задач необходимо правильно определить коэффициент жесткости для предотвращения резонанса. При первой настройке необходимо устанавливать минимальное значение коэффициентов, а затем постепенно поднимать это значение до момента проявления резонанса. После этого снижают коэффициент для обеспечения запаса устойчивости.

Ниже даны некоторые замечания при настройке коэффициентов:

- КРР, параметр P2-00 - пропорциональный коэффициент усиления контура управления положением. Этот параметр определяет чувствительность контура положения. Коэффициент используется для повышения жесткости, уменьшения времени отклика и ошибки по положению. При высоком значении коэффициента, время отклика на заданную команду по положению мало, ошибка по положению также мала и установка вала в заданное положение происходит очень быстро. В то же время слишком большой коэффициент может привести к неустойчивой работе системы, к появлению резонанса и перерегулированию. Полоса пропускания контура положения определяется формулой (21)

$$\text{Полоса пропускания(Гц)} = \frac{\text{КРР}}{2 \times \pi} \quad (21);$$

- KVP, параметр P2-04 - пропорциональный коэффициент усиления контура управления скорости. Этот параметр определяет чувствительность контура скорости. Коэффициент используется для повышения быстродействия контура скорости и уменьшения ошибки по скорости. При высоком значении коэффициента, время отклика на заданную команду по скорости мало. В то же время слишком большой коэффициент может привести к неустойчивой работе системы. Полоса пропускания скоростного контура должна быть в 4-6 раз больше, чем полоса пропускания контура положения. Если это условие не соблюдается, то возможна неустойчивая работа и перерегулирование системы по положению.

Полоса пропускания контура скорости определяется формулой (22):

$$\text{Полоса скоростного контура (Гц)} = \frac{KVP}{\left(1 + \left(\frac{J_{\text{нагр.}}}{J_{\text{двиг.}}}\right)\right) \times 2 \times \pi} \quad (22);$$

- KVI, параметр P2-06 - интегральный коэффициент скоростного контура. Большее значение коэффициента уменьшает ошибку при отработке заданной скорости. Однако слишком высокое значение может привести к вибрации и неустойчивости системы. Рекомендуются следующие значения параметров;

- KVI (параметр P2-06) 1,5 x полоса скоростного контура (Гц);

- NLP, параметр P2-25 постоянная времени НЧ-фильтра подавления резонанса.

При высоком значении соотношения инерции $J_{\text{нагр.}}$ к $J_{\text{двиг.}}$ время реакции системы увеличивается, а полоса пропускания уменьшается. Для повышения быстродействия можно увеличить пропорциональный коэффициент усиления скоростного контура (KVP, параметр P2-04).

При этом возможна вибрация и резонанс с системы. Параметр P2-25 используется для подавления вибраций и резонансов. При увеличении значения - подавление больше. При очень большом значении возможно неустойчивая работа и перерегулирование системы.

Рекомендуются следующие значения представленные формулой (23):

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

$$NLP \leq \frac{1000}{4 \times \text{полоса ск. контура}} \quad (23)$$

- DST, параметр P2-26 - Коэффициент подавления помех.

Этот параметр используется для снижения влияния помех и уменьшению перерегулирования. Заводская настройка параметра - «0» (функция отключена). Не рекомендуется использовать этот параметр в ручном режиме. Параметр может быть активизирован и определен автоматической настройкой (P2-32=5), затем сохранен при переводе из режима автоматической настройки на ручную (изменение значения P2-32=5 на P2-32=0)

- PFG, параметр P2-02 - коэффициент прямой подачи, (Position Feed Forward Gain).

Этот параметр используется для уменьшения ошибки позиционирования и уменьшения времени отработки положения. При высоком значении коэффициента возможно перерегулирование. При значении электронного коэффициента редукции, (параметры 1-44/1-45), более 10, также возможно вибрации и резонанс.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

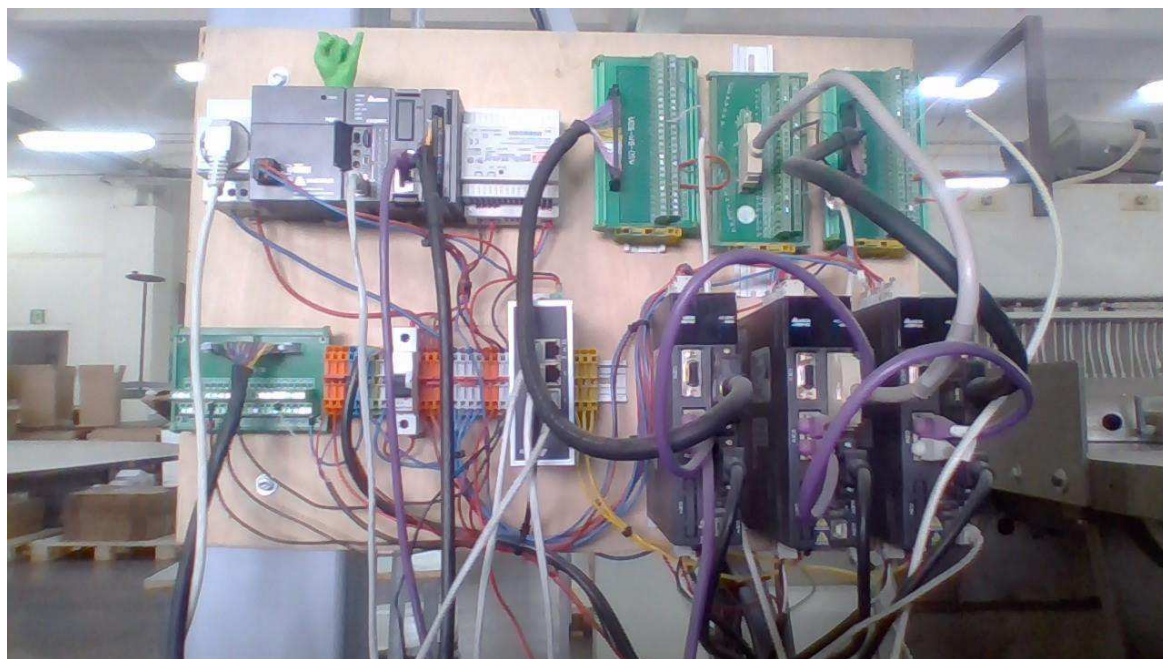


Рисунок 27 – Реализация схемы лабораторного стенда

Подбор сервоприводов производился по параметрам: скорость поворота вала, напряжение питания, вес, размеры, усилие на валу, из стандартного ряда аналоговых и цифровых сервоприводов.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

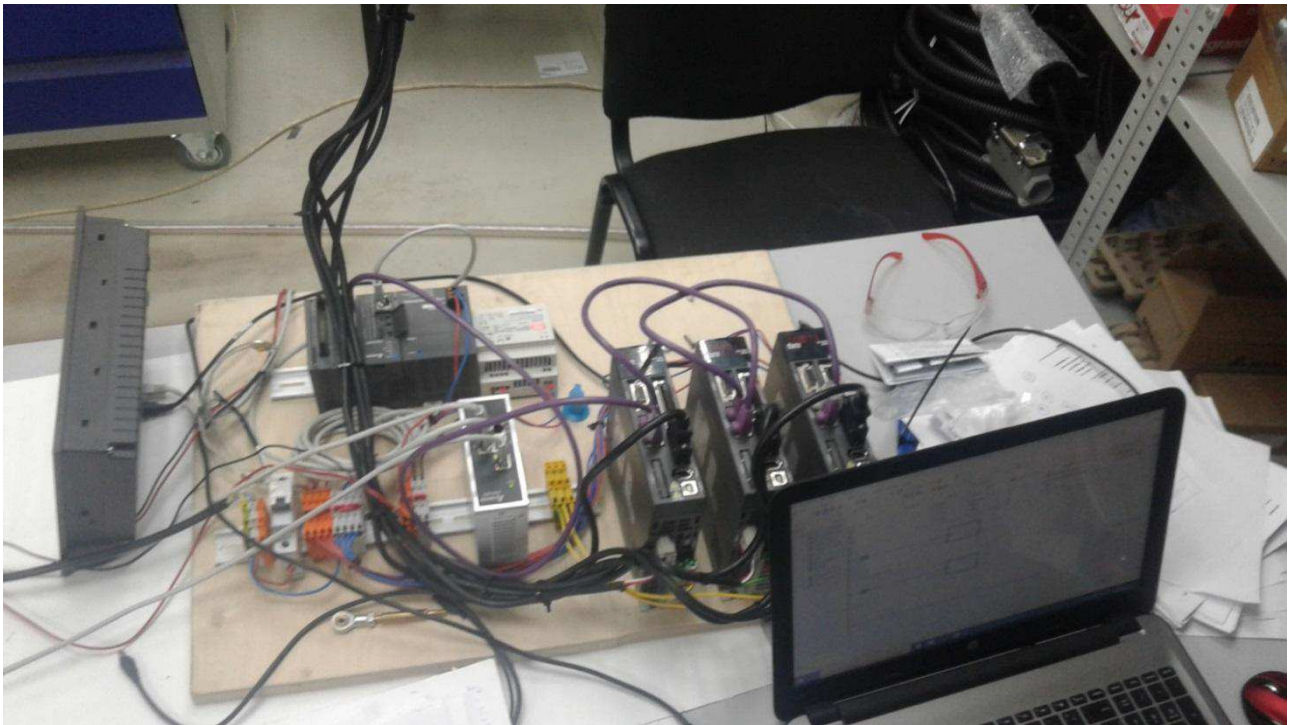


Рисунок 28 - Реализация схемы конфигурации системы управления дельта-робота

3 Оценка точности дельта - робота

Точность роботов определяется погрешностями позиционирования характеристической точки схвата и погрешностями угловой ориентации схвата. Погрешности позиционирования определяются технологическими отклонениями размеров звеньев манипулятора, зазорами в кинематических парах манипулятора и механизмов приводов, деформациями (упругими и температурными) звеньев, а также погрешностями системы управления и датчиков обратной связи

3.1 Точность дельта - параллельного робота

Показатели точности параллельных роботов приведены на рисунке 29.



Рисунок 29 - Показатели точности дельта-параллельного робота

Подробнее о составляющих точности параллельных роботов и соответствующих факторах, оказывающих наибольшее влияние на их величины:

1) погрешность системы управления. Основным фактором, оказывающим влияние на эту погрешность, является точность используемых

датчиков обратной связи. Эту составляющую из дальнейшего рассмотрения можно исключить;

2) геометрические погрешности. Мэсори изучал влияние на дельта-параллельный робот не только ошибок датчиков, но и допусков на расположение центров шарниров. Эхманн с соавторами произвел тщательный анализ влияния допусков на длины опор и не идеальности движения сферических шарниров. Эхманн производил анализ ошибок первого и второго порядка и выяснил, что первого порядка вполне достаточно, хотя разница между ними и увеличивается с уменьшением размеров робота. Программа, созданная им в среде Mathematica, позволяет определить для заданной ориентации платформы области рабочего пространства, в которых ошибки превышают заданное пороговое значение, отобразить распределение ошибок в плоских сечениях рабочего пространства, и выполнить анализ чувствительности;

Тишлер предложил численный метод определения влияния люфтов в шарнирах. Хорошо изучена чувствительность робота 3-UPU к допускам при производстве, а Паренти и Волхарт провели анализ влияния зазоров в шарнирах на траекторию движения последовательных и параллельных роботов.

Обобщенный подход к определению ошибок позиционирования для заданного положения был предложен Поттом. Однако он основан на применении численных оценок, получаемых в результате решения прямой задачи кинематики, и, соответственно, сложен в вычислительном отношении.

Из всех этих работ можно сделать вывод, что нет возможности определить общие закономерности влияния геометрических ошибок, в каждом конкретном случае нужно производить отдельное исследование, так как влияние геометрических ошибок сильно зависит от архитектуры, габаритов и рабочего пространства робота. Эту составляющую из дальнейшего рассмотрения можно исключить;

3) тепловые погрешности. Тепловые эффекты могут влиять на точность высокоточных роботов. Например, Клавель и Ньяритсири показали,

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

что для получения нанометрической точности перемещений необходимо поддержание температуры с точностью 0.01 °С. Способы компенсации тепловых деформаций в настоящее время хорошо изучены, и данную составляющую из дальнейшего рассмотрения можно исключить;

4) динамические погрешности. Притшоу отмечает, что в высокоскоростных машинах динамические ошибки влияют на точность больше статических ошибок. Можно предположить, что для быстрых параллельных роботов подобный эффект также будет иметь место. В качестве потенциальных источников ошибок позиционирования Притшоу указывает упругие деформации, собственные колебания и ошибки двигателей;

5) погрешность, вызванная действием силы тяжести. Ньяритсири показал, что деформации микро - роботов, вызванные действием силы тяжести, могут быть значительны и вызывать в малом рабочем пространстве ошибки, близкие к геометрическим ошибкам. Притшоу указывает, что сила тяжести меняет кинематику станков. Он также упоминает, что для последовательных машин этот эффект практически постоянен во всей рабочей области, но для параллельных роботов это не так. С другой стороны, он указывает, что применение даже простейших гибких моделей приводит к существенному улучшению, при условии предварительного определения жесткости компонентов. Эту составляющую из дальнейшего рассмотрения можно исключить;

6) погрешность позиционирования центра подвижной платформы, возникающая вследствие погрешности приводов штанг, зависит от таких факторов как:

- погрешности вылета штанги;
- конструктивной особенности робота;
- ориентации подвижной платформы робота.

7) погрешность, вызываемая смещением выходного звена под действием приложенной силы, зависит от таких факторов как:

- величина силы и её направление;

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

- жесткость робота.

В свою очередь значение приложенной силы резания зависит от выбранного вида технологической операции.

Жесткость станка зависит от нескольких факторов одновременно:

- жесткости штанг (зависит от характеристик и длин штанг, а также от жесткости приводов);

- конструктивной особенности робота;

- ориентации подвижной платформы робота.

Погрешность позиционирования центра подвижной платформы, возникающая вследствие погрешности приводов штанг и погрешность, вызываемая смещением выходного звена под действием приложенной силы, являются наименее изученными.

8) наихудшие с точки зрения точности положения. По данным Хей , опирающегося на численные расчеты, наихудшие значения чисел обусловленности планарных роботов получаются в положениях на границе рабочего пространства. Соответствуют ли они положениям с наибольшими ошибками позиционирования, а также верно ли это для пространственных роботов — открытые вопросы;

Повышение точности параллельных роботов может быть достигнуто за счет повышения точности каждой из составляющих погрешностей, сокращением числа составляющих, уменьшением чувствительности системы к входным воздействиям, применение системы автоматической компенсации всех или основных составляющих погрешности.

4 Перемещения и деформации опорной станины

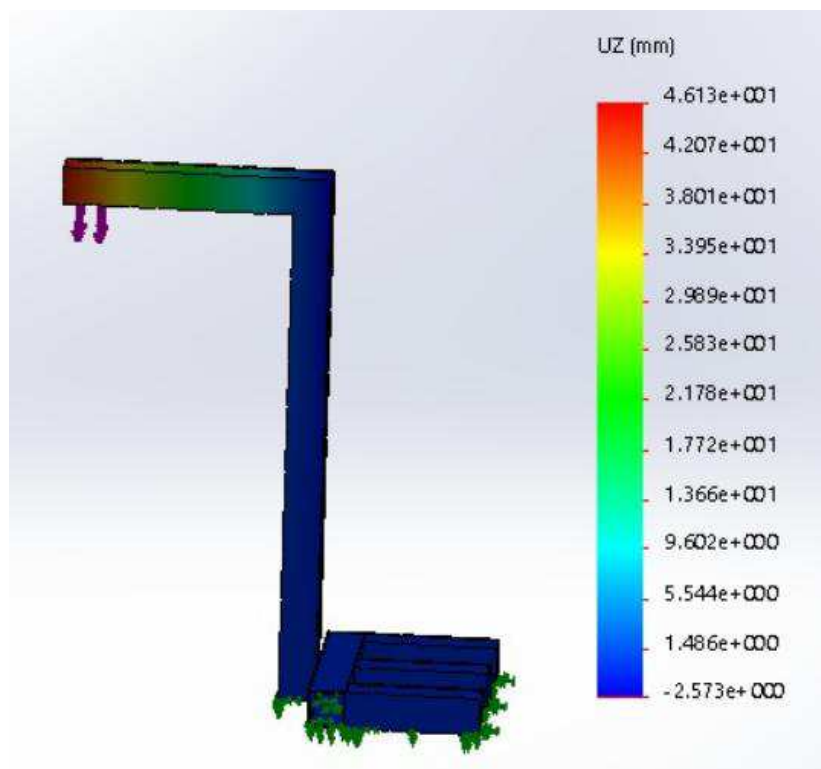


Рисунок 30 - Перемещения опорной рамы

Согласно ГОСТ 8639-82 отклонение в 0.46 мм приемлемы для данной стали 3.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

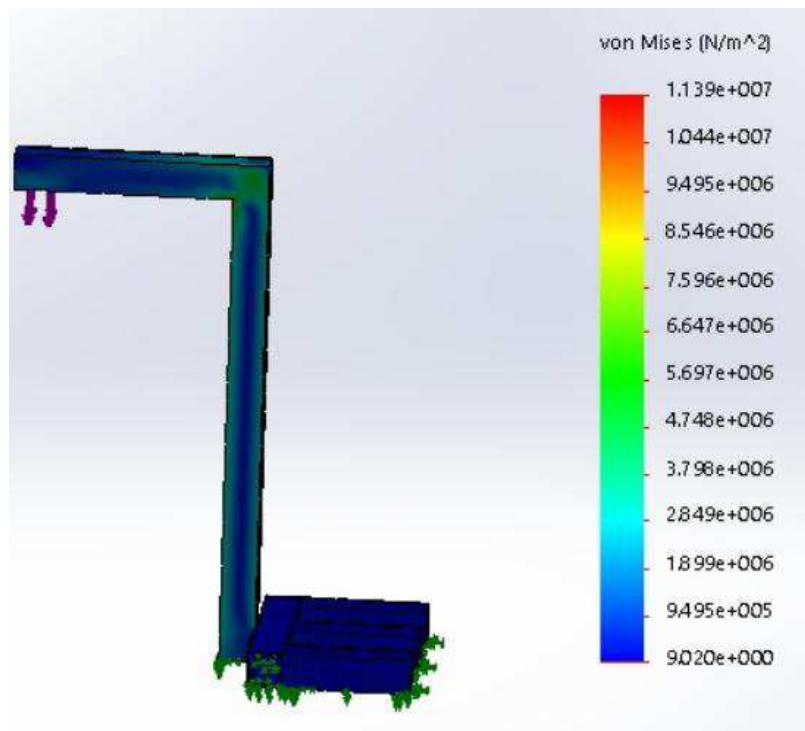


Рисунок 31 - Напряжения на опорной балке

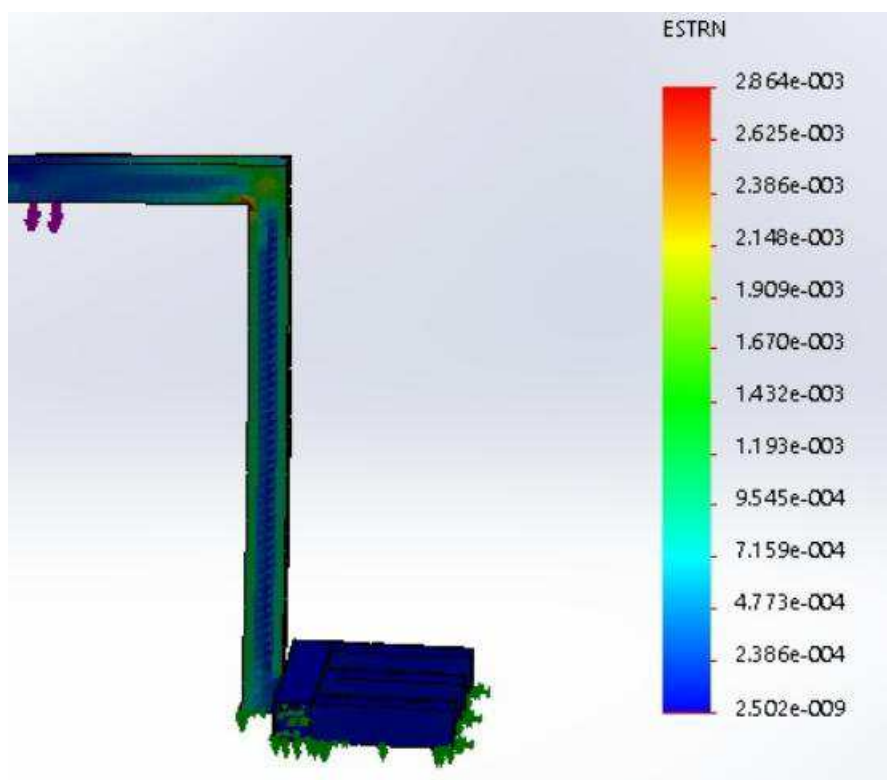


Рисунок 32 - Граничные значения и внешняя нагрузка

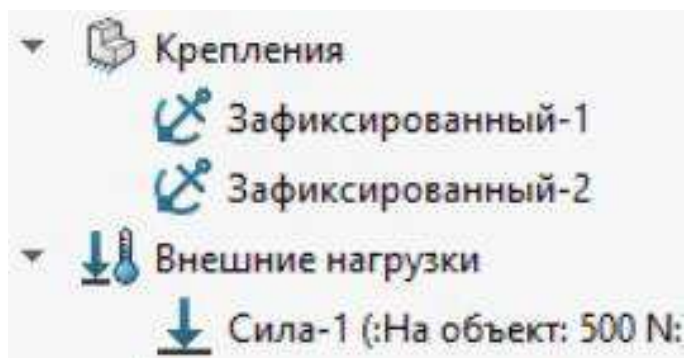


Рисунок 33 - Значение внешних нагрузок в Ньютонах

Из данного анализа мы понимаем, что материал конструкция опорной балки выполненная из стали 3 имеет 13-ти кратный запас прочности.

5 Кинематический анализ

Для создания дельта - робота, требуется решить две задачи. Если известна конечная точка рабочего органа (например, надо захватить деталь, расположенную в координатах XYZ), мы должны определить соответствующие углы каждой из трех рук, чтобы установить двигатели (а значит и рабочий орган) в нужную позицию для захвата. Такой процесс определения углов называется «обратная задача робототехники».

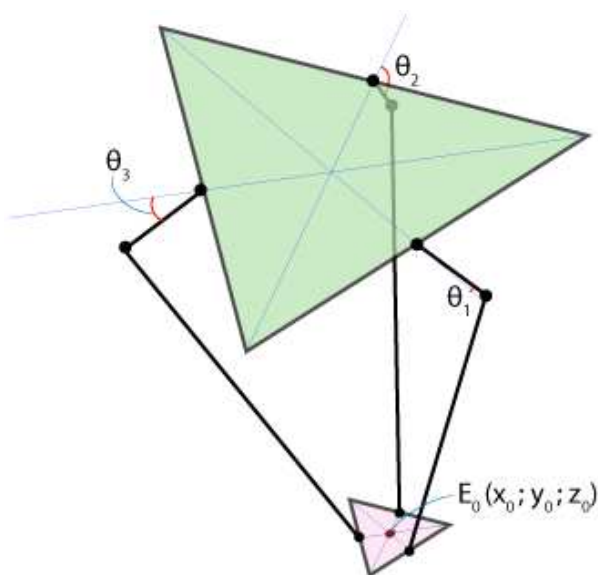


Рисунок 34 – Кинематическая схема дельта-робота

Зная углы, на которые необходимо повернуть двигатель и текущее его положение, определяемое с помощью энкодеров, можно решить «прямую задачу робототехники (кинематики)». Чтобы быть более формальным, необходимо взглянуть на кинематическую схему дельта-робота. Наши платформы – это два равносторонних треугольника: зафиксированная с моторами – верхняя большая, и движущаяся с рабочим органом – маленькая нижняя. Углы в суставах $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, а E_0 - позиция рабочего органа с координатами (x_0, y_0, z_0) . Чтобы решить обратную задачу кинематики, мы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

должны создать функцию с входными параметрами $E_0(x_0, y_0, z_0)$, которая будет возвращать углы $\theta_1, \theta_2, \theta_3$. Функция прямой задачи получает $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ и возвращает $E_0(x_0, y_0, z_0)$.

5.1 Обратная задача кинематики

Для начала определим некоторые ключевые параметры геометрии робота. Назначим сторону фиксированного треугольника - f , сторону треугольника с рабочим органом - e , длину верхнего сустава обозначим - r_f , а длину сустава параллелограмма - r_e . Это физические параметры, которые определены дизайном нашего робота. Точкой отсчета выберем центр симметрии зафиксированного треугольника, как изображено ниже, т.е. z – координата схвата будет всегда отрицательна (рисунок 35).

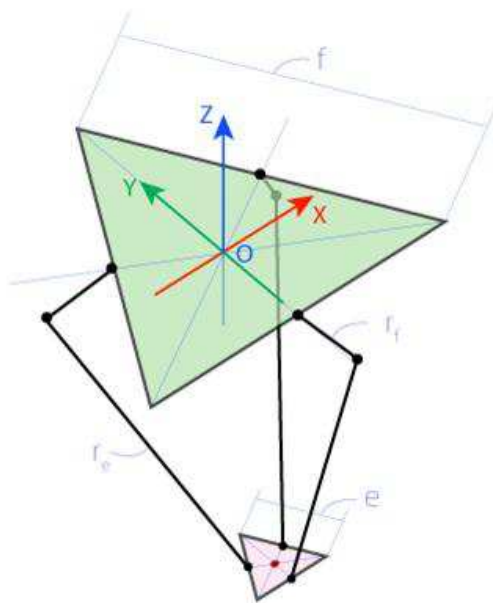


Рисунок 35 – Определение параметров робота

Исходя из конструкции робота, сустав F_1J_1 может вращаться только в YZ плоскости, формируя круг с центром в точке F_1 и радиусом r_f . В отличие от F_1 , J_1 и E_1 являются универсальными шарнирами (шарнир Гука), это означает, что E_1J_1 может вращаться относительно E_1 , формируя сферу с центром в точке E_1 и радиусом r_e (рисунок 31).

Пересечением этой сферы и YZ плоскости является круг с центром в точке E'_1 и радиусом E'_1J_1 , где E'_1 - проекция точки E_1 на YZ плоскость. Точка J_1 теперь может быть найдена, как пересечения двух окружностей с известными радиусами с центрами в точках E'_1 и F_1 , нам же необходимо взять только одну точку пересечения с меньшим значением по Y -координате. И если нам известна точка J_1 , мы можем рассчитать θ_1 (рисунок 36).

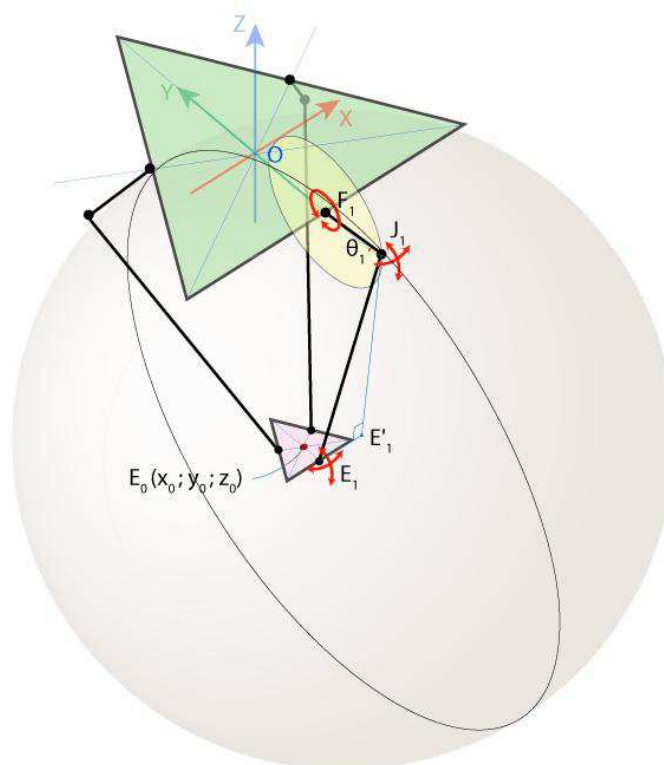


Рисунок 36 – Вращение сочленений робота

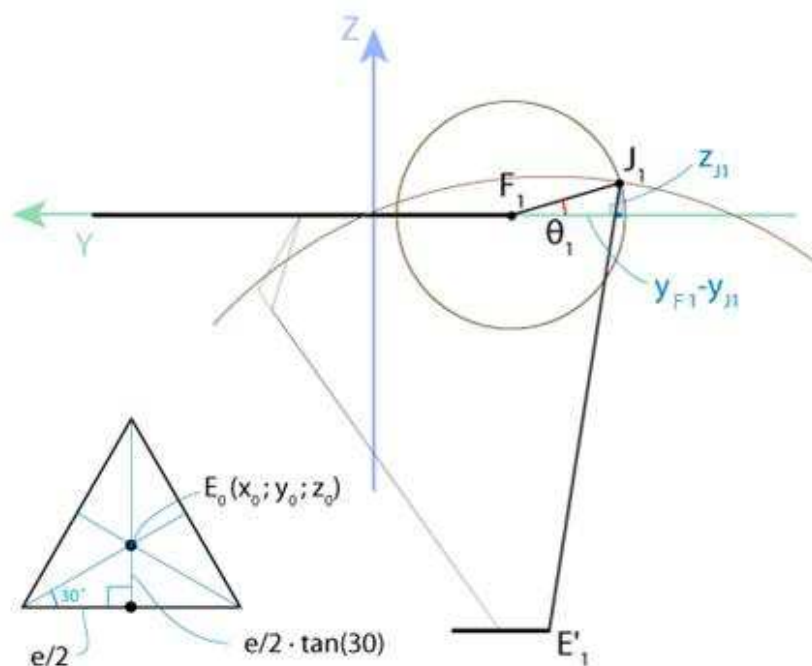


Рисунок 37 – Графическое решение обратной задачи кинематики

$$E_0E_1 = \frac{e}{2} \tan 30^\circ = \frac{e}{2\sqrt{3}}$$

$$E_1(x_0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0) \Rightarrow E'_1(0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0) \quad (24)$$

$$E_1E'_1 = x_0 \Rightarrow E_1J_1 = \sqrt{E_1J_1^2 - E_1E'_1^2} = \sqrt{r_e^2 - x_0^2}$$

$$F_1(0, -\frac{f}{2\sqrt{3}}, 0)$$

$$\begin{cases} (y_{J1} - y_{F1})^2 + (z_{J1} - z_{F1})^2 = r_f^2 \\ (y_{J1} - y_{E1})^2 + (z_{J1} - z_{E1})^2 = r_e^2 - x_0^2 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} (y_{J1} + \frac{f}{2\sqrt{3}})^2 + z_{J1}^2 = r_f^2 \\ (y_{J1} - y_0 + \frac{e}{2\sqrt{3}})^2 + (z_{J1} - z_0)^2 = r_e^2 - x_0^2 \end{cases} \Rightarrow \quad (25)$$

$$\Rightarrow J_1(0, y_{J1}, z_{J1})$$

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{z_{J1}}{y_{F1} - y_{J1}}\right). \quad (26)$$

Простые математические действия исходят из того, что хорошо выбрана система отсчета: F_1J_1 движется только в YZ плоскости, поэтому мы можем полностью исключить X координату. Чтобы применить это преимущество для углов θ_2 и θ_3 , мы можем использовать симметрию дельта робота. Для этого повернем систему координат на 120° вокруг оси Z против часовой стрелки, как изображено на рисунке 48.

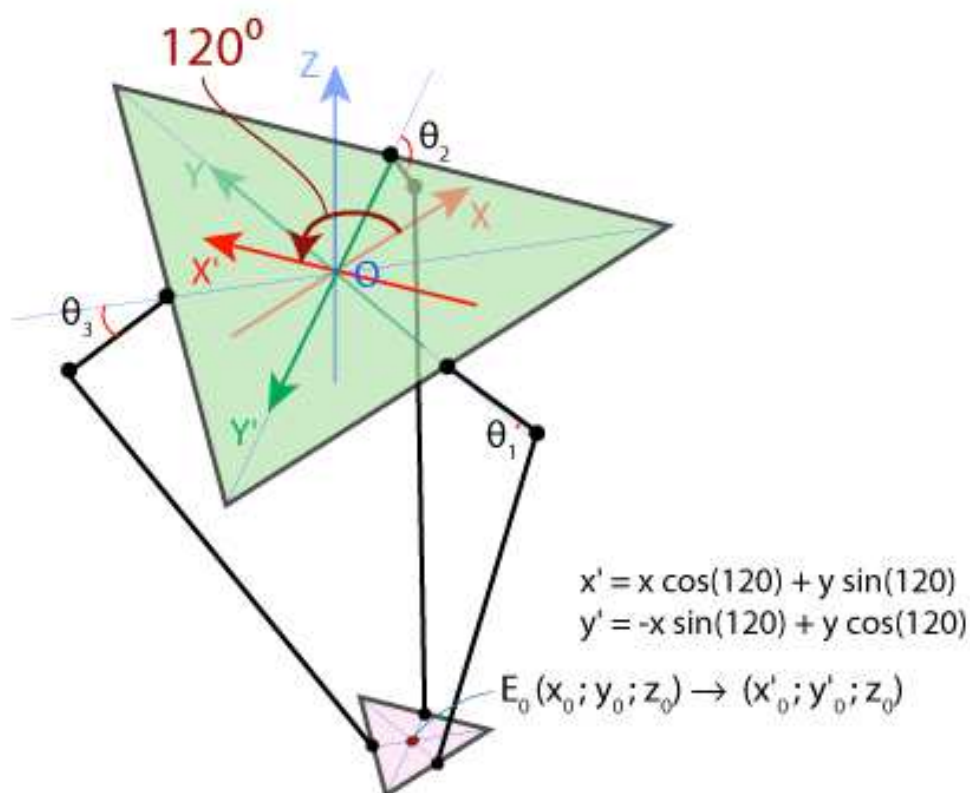


Рисунок 38 – Поворот системы координат на 120°

Мы получили новую систему координат, для которой можно легко найти угол θ_2 , используя такой же алгоритм, как и при нахождении первого угла. Единственное что необходимо выполнить – определить новые координаты

x'_0, y'_0 в точке E_0 , что может быть легко сделано, используя матрицу поворота.

Угол θ_3 найдем таким же образом.

5.2 Прямая задача кинематики

Теперь, все углы найдены, и мы можем найти координаты схвата $E_0(x_0, y_0, z_0)$. Зная углы, мы можем найти координаты J_1, J_2, J_3 . Суставы J_1E_1 , J_2E_2 , J_3E_3 могут свободно вращаться вокруг точек J_1, J_2, J_3 соответственно, формируя три сферы с радиусом r_e .

Теперь сместим центры сфер из точек J_1, J_2, J_3 в J'_1, J'_2, J'_3 . После этого все три сферы будут иметь точку пересечения в E_0 , как показано на рисунке 39.

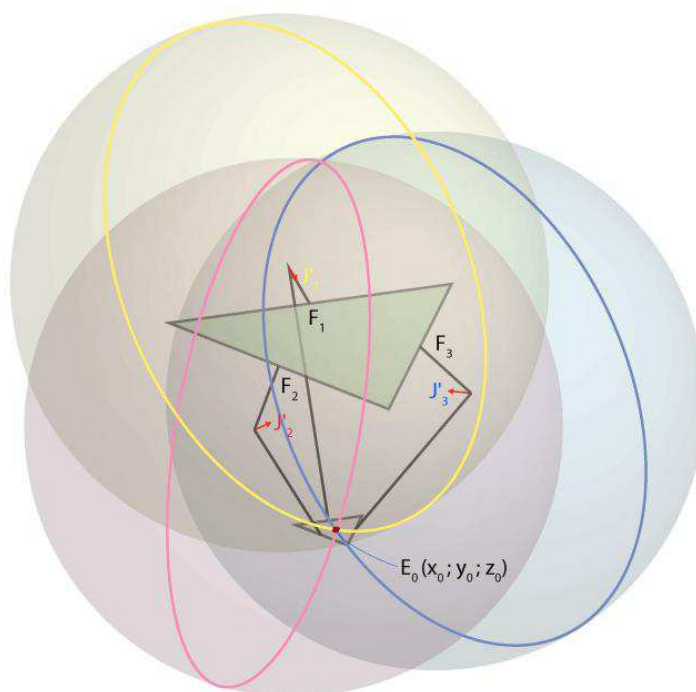


Рисунок 39 – Смещение центров сфер

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Так, чтобы найти координаты (x_0, y_0, z_0) точки E_0 , необходимо решить систему из трех уравнений, учитывая что $x_1 = 0$.

$$\begin{cases} x^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = r_e^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = r_e^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = r_e^2 \end{cases} \quad (27)$$

В итоге получим:

$$(a_1^2 + a_2^2 + 1)z^2 + 2(a_1 + a_2(b_2 - y_1) - z_1)z + (b_1^2 + (b_2 - y_1)^2 + z_1^2 - r_e^2) = 0, \quad (28)$$

где

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{d} [(z_2 - z_1)(y_3 - y_1) - (z_3 - z_1)(y_2 - y_1)]; \\ b_1 &= \frac{1}{2d} [(w_2 - w_1)(y_3 - y_1) - (w_3 - w_1)(y_2 - y_1)]; \\ a_2 &= -\frac{1}{d} [(z_2 - z_1)x_3 - (z_3 - z_1)x_2]; \\ b_2 &= \frac{1}{2d} [(w_2 - w_1)x_3 - (w_3 - w_1)x_2]; \\ d &= (y_2 - y_1)x_3 - (y_3 - y_1)x_2; \\ w_i &= x_i^2 + y_i^2 + z_i^2; i = 1..3. \end{aligned} \quad (29)$$

Теперь необходимо решить квадратное уравнение (29), найти z_0 (нужно выбрать наименьший отрицательный корень уравнения) и затем посчитать x_0 и y_0 используя выражения:

$$\begin{aligned}x_0 &= a_1 z + b_1; \\ y_0 &= a_2 z + b_2.\end{aligned}\tag{30}$$

5.3 Принцип виртуальной работы

На основе прямой задачи робототехники, был построен графический вид рабочей зоны робота. Графический вид всей рабочей зоны представлен на рисунках 36,37,38.

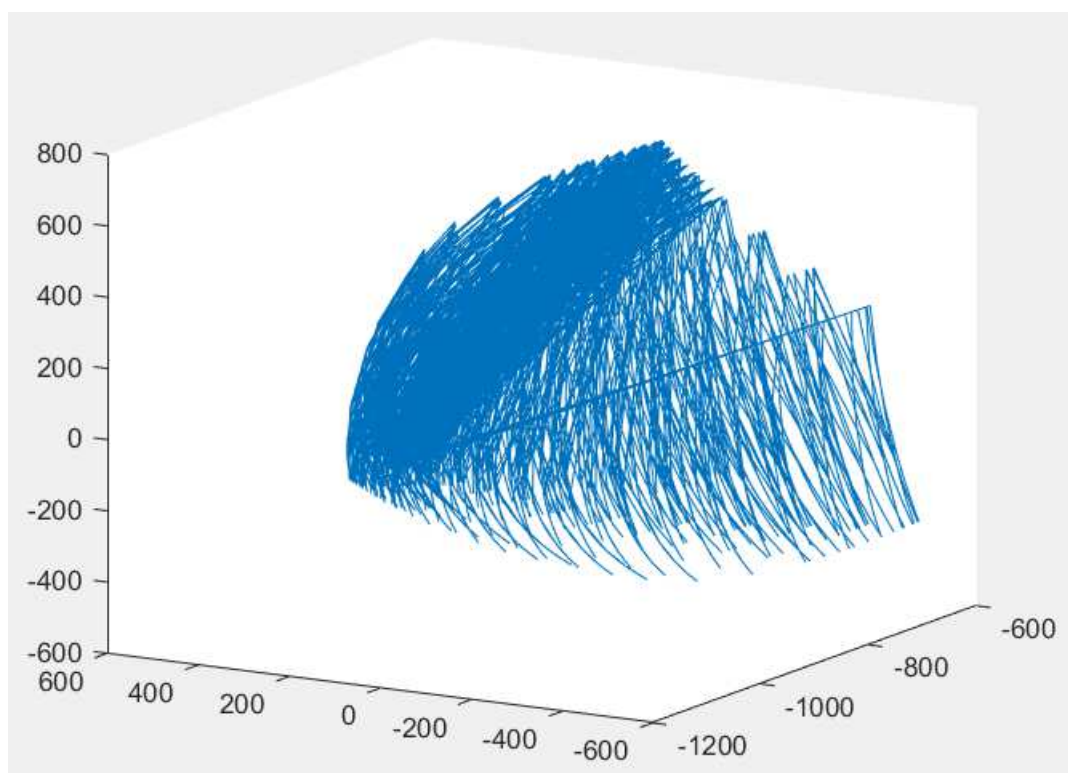


Рисунок 40 - Общий графический вид всей рабочей зоны робота

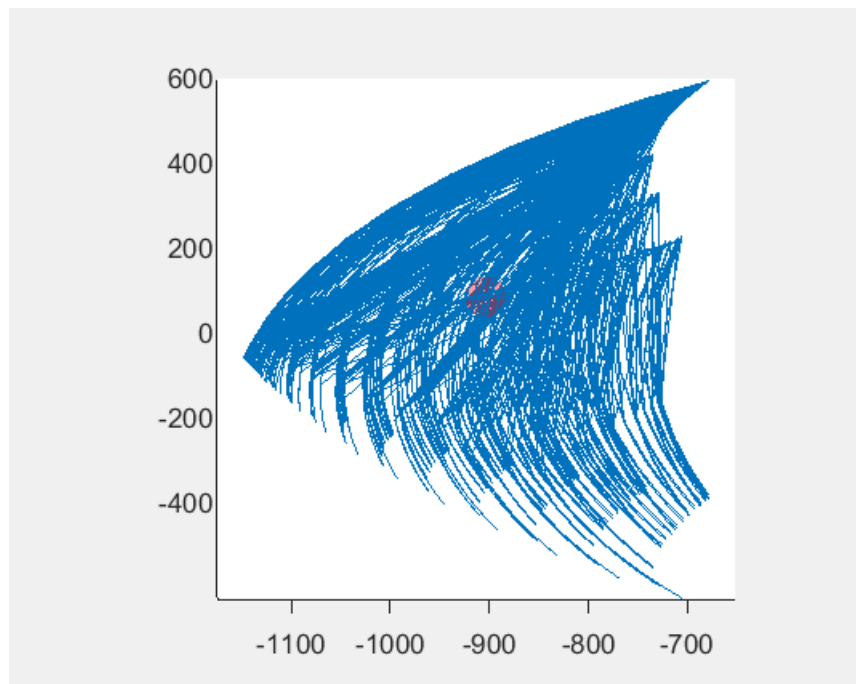


Рисунок 41 – Графический вид всей рабочей зоны робота сбоку

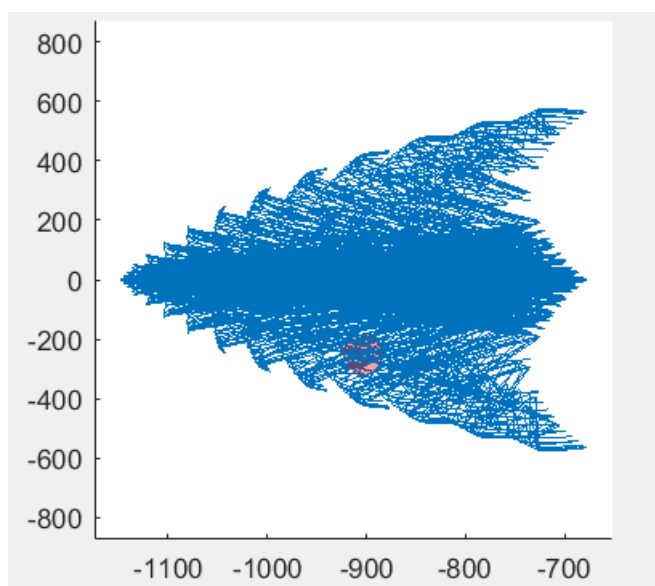


Рисунок 42 – Графический вид всей рабочей зоны робота сверху

6 Создание 3D модели дельта – робота в Solid Works

Первым делом нам нужно смоделировать верхнюю и нижнюю платформу нашего робота.

6.1 Верхняя платформа

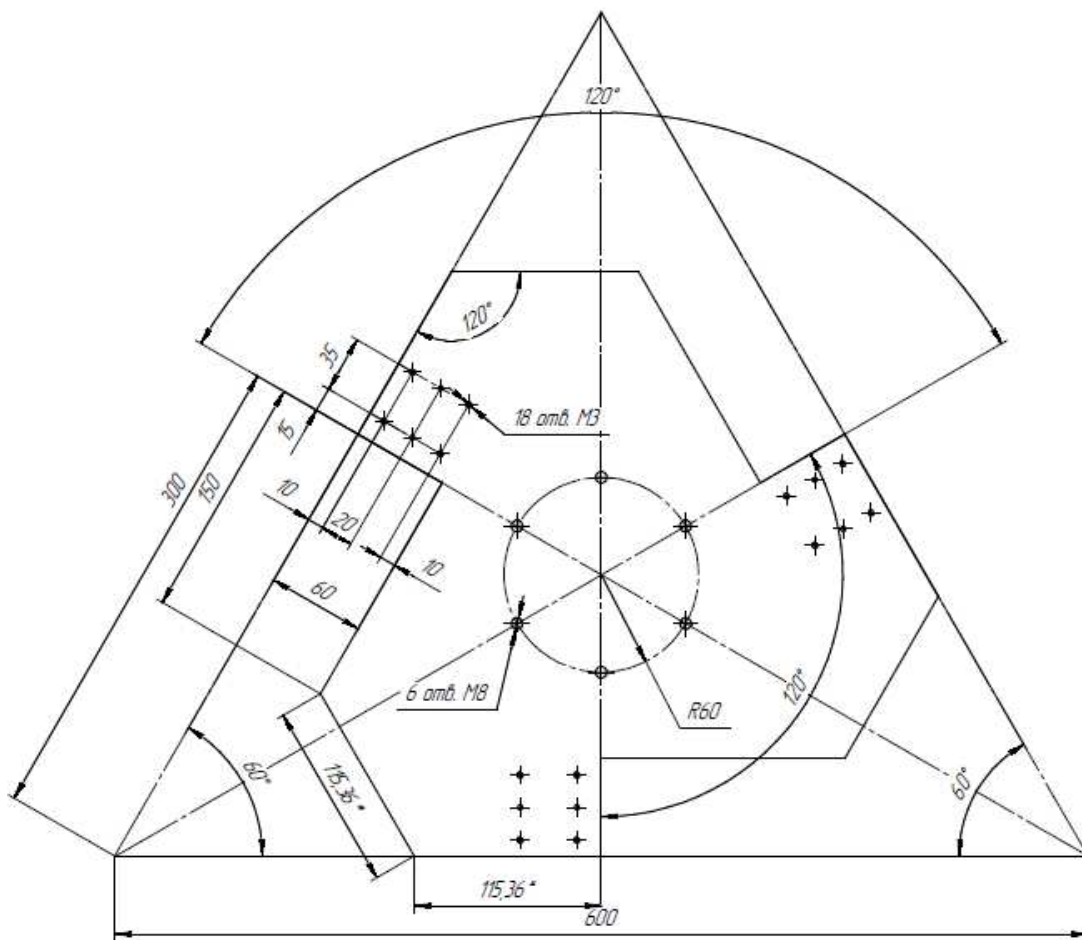


Рисунок 43 – Чертёж верхней платформы дельта – робота

Делаем простой эскиз треугольника равностороннего и операцией «выдавливание» делаем 3D модель начальной платформы.

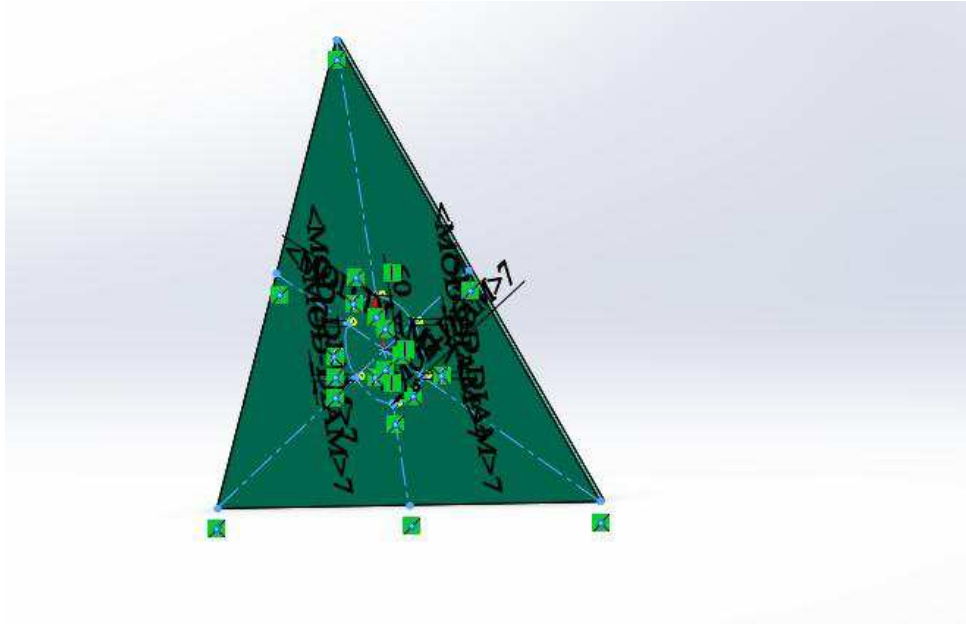


Рисунок 44 – Первоначальная 3D модель верхней платформы дельта – робота

Мы понимаем, что данную модель можно уменьшить по габаритам и весу путём отсекаания лишних областей модели. Делаем это с помощью операции «вырезать», предварительно нанеся на платформу нужный нам эскиз.

Заранее делаем сквозные отверстия для креплений с помощью операции «выдавливание»

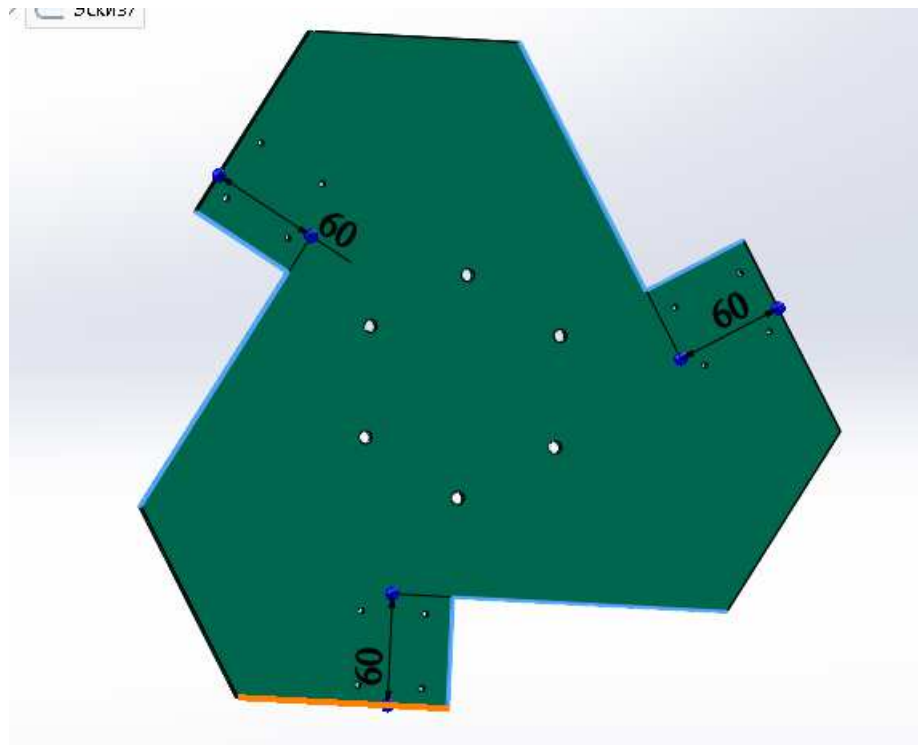


Рисунок 45 – Конечная 3D модель верхней платформы дельта – робота

6.2 Кронштейн креплениями под сервоприводы

Делаем эскиз, заранее вырезаем отверстия под крепление

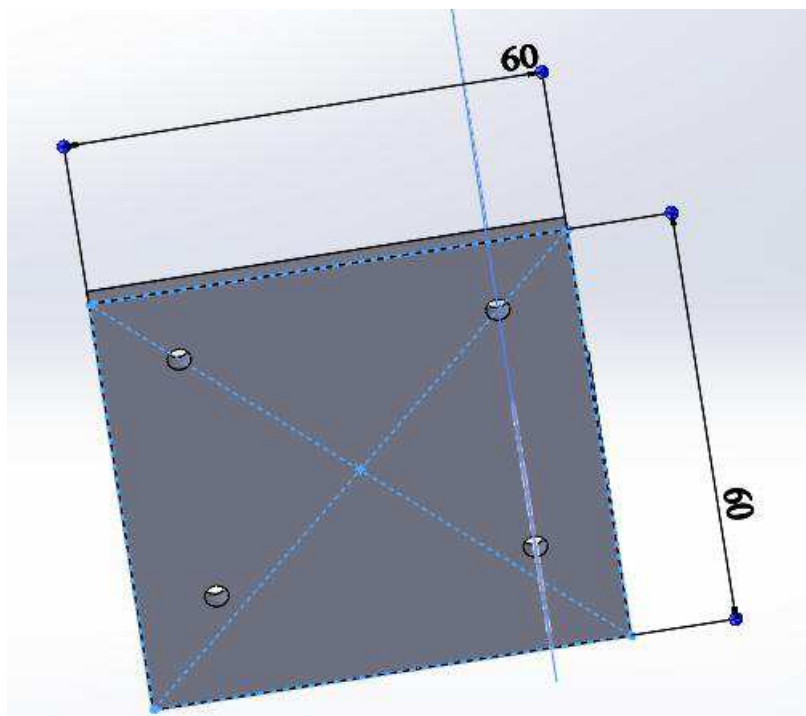


Рисунок 46 – Конечная 3D модель верхней платформы дельта – робота

Кронштейн нам нужен г – образный, для дополнительной фиксации, поэтому из получившейся модели, с помощью дополнительных построений, получаем нужную нам деталь.

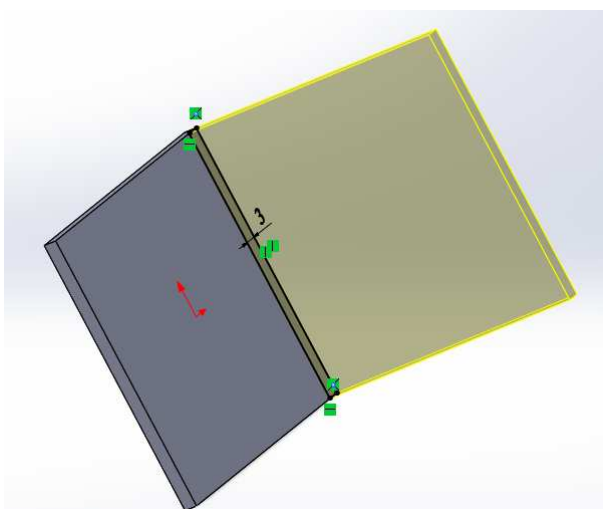


Рисунок 47 – 3D модель кронштейна дельта – робота

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Осталось только сделать крепления и вырез для закрепления сервоприводов.

Делаем мы это также с помощью операции «вырезать».

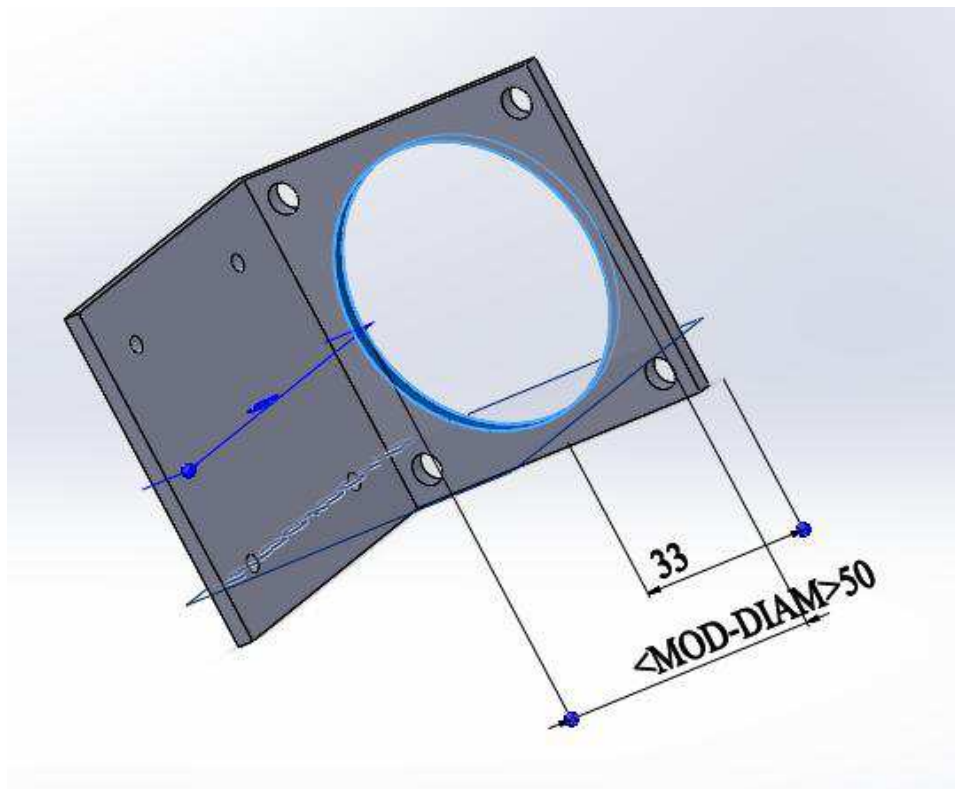


Рисунок 48 – Конечная 3D модель кронштейна дельта – робота

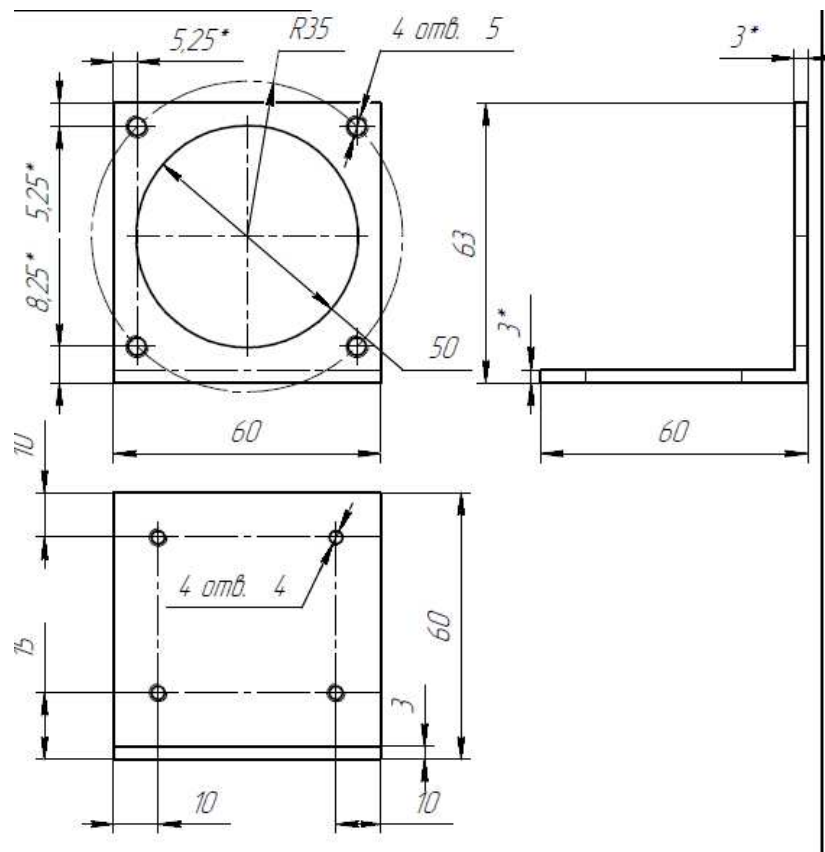


Рисунок 49 – Чертеж кронштейна дельта – робота

6.3 Серводвигатели и плечи дельта-робота

Стоит отметить, что суставы и плечи моделируются похожим образом, таких деталей у нас будет целых три, на каждый сервопривод.

Приводы мы детально моделировать не будем, просто сделаем условную форму, соблюдая габариты выбранного нами сервопривода. Делаем это с помощью операции «симметрия».

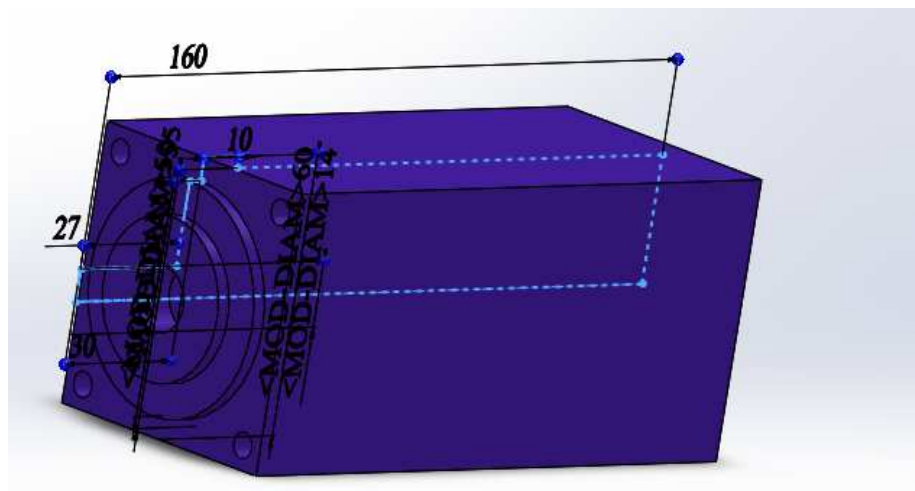


Рисунок 50 – Модель сервопривода дельта – робота

Когда верхняя часть смоделирована, мы можем приступить к моделированию плеч, шарниров и суставов дельта – робота.

Делаем простой эскиз и выдавливаем до необходимой нам длины.

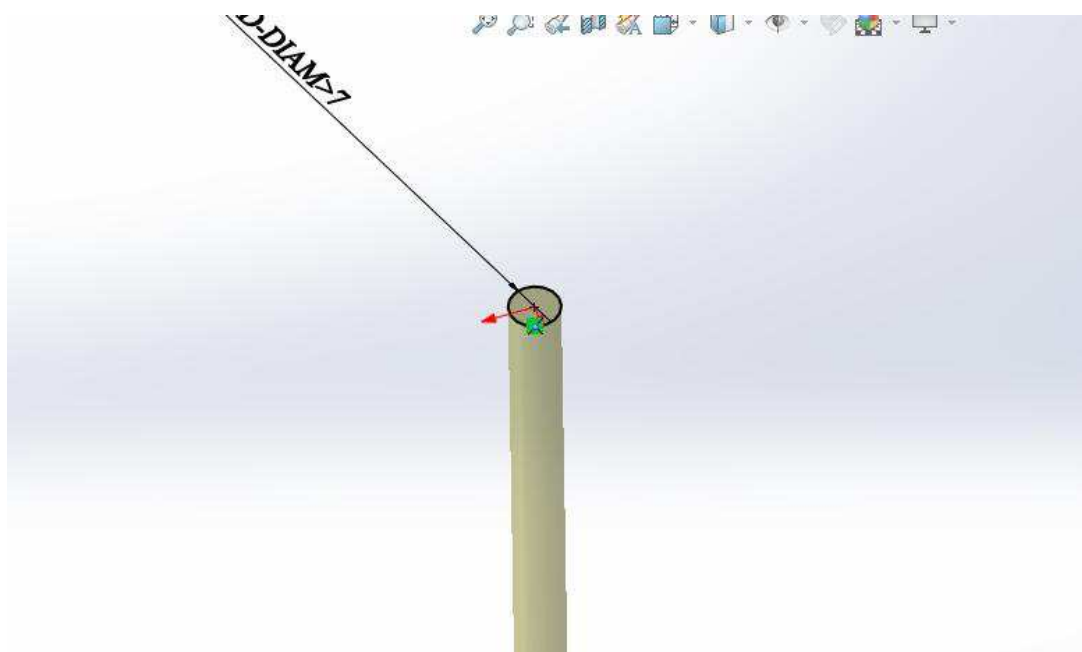


Рисунок 51 – Модель плеча дельта – робота

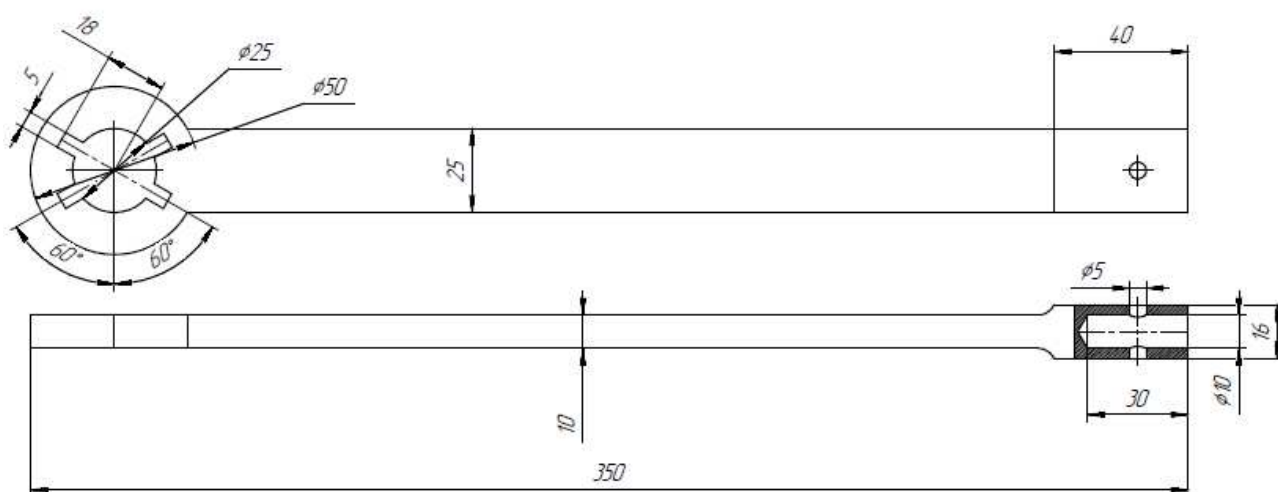


Рисунок 52 – Чертёж плеча дельта – работа

6.4 Универсальные магнитные шаровые шарниры KD625

Магнитный универсальный шарнир является удерживающим устройством, которое имеет универсальное гибкое соединение с мм диаметром 10 мм до 25 мм стальной. Сферический шар, удерживающий сильный неодимовый редкоземельный магнит, который закрепляется в конце латунного/алюминиевого стержня. Таким образом, магнитные шаровые соединения позволяют стальному шару вращаться на 120 °.

Конструкция гарантирует, что даже если магнитный шар убежит от магнитного цилиндра, никаких повреждений не произойдет, и шаровой шарнир может вернуться к работе после сброса.

Межвинтовое отверстие в нижней части стержня для фиксации или фиксации соединения.

Как правило, шаровой шар магнитного шарового сустава покрыт хромом, улучшенное поверхностное покрытие шарового сустава, никелевое покрытие будет использоваться для выбора для повышения устойчивости к истиранию.

Очень сильная удерживающая сила. Удерживающая сила соединения достаточно сильна, чтобы удерживать оптические системы камер, осветительных приборов, лазерных блоков или 3D-принтера, не требуя

дополнительных механических фиксаторов. И есть много моделей магнитных шаровых соединений с резьбой, показанных ниже диаграммы

6.4.1 Технические характеристики шарниров

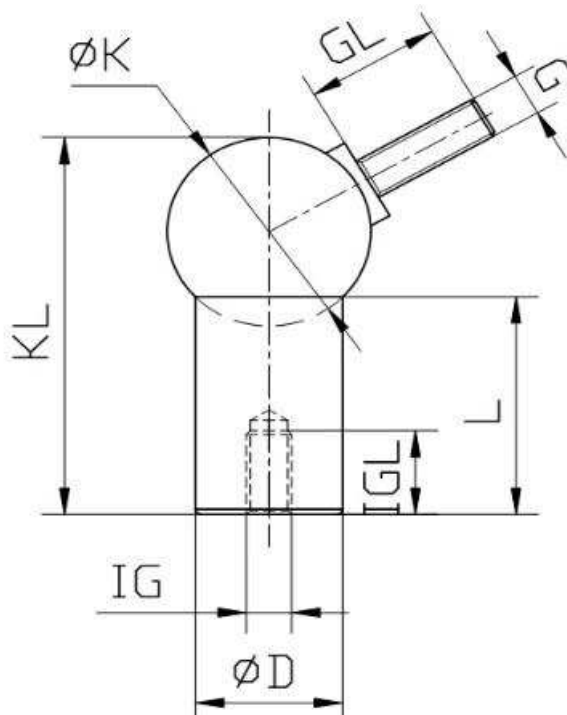


Рисунок 53 – Чертёж соединения дельта – робота

Таблица 3 - Характеристики двигателя ЕСМА-С10604RS

Модель	К Ф (Шар)	D Ф (Цилиндр)	KL	L	G	GL	IG	IGK	Усилие
KD525	25	20	47	25	M5	16	M5	5	15 кг



Рисунок 54 – Универсальные магнитные шарниры, внешний вид

6.5 Нижняя платформа

Её мы делаем с помощью операции «Вытянуть». Заранее делаем отверстия под крепление суставов дельта – робота.

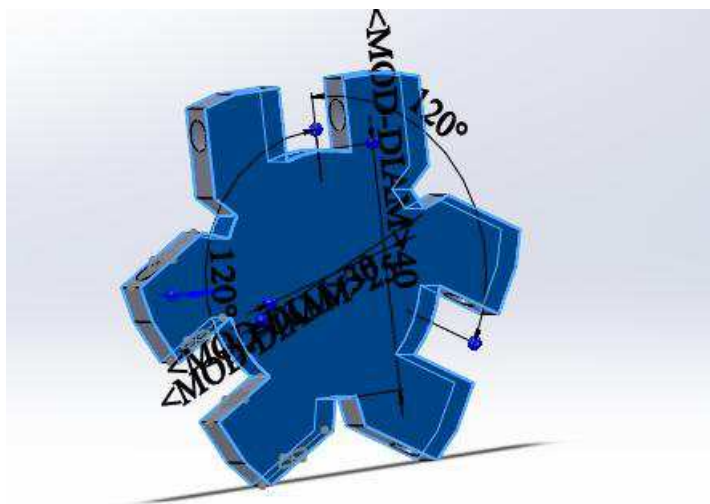


Рисунок 55 – Модель общий вид нижней платформы дельта – робота

Наконец нам нужно собрать все детали, чтобы получилась готовая модель и описать её.

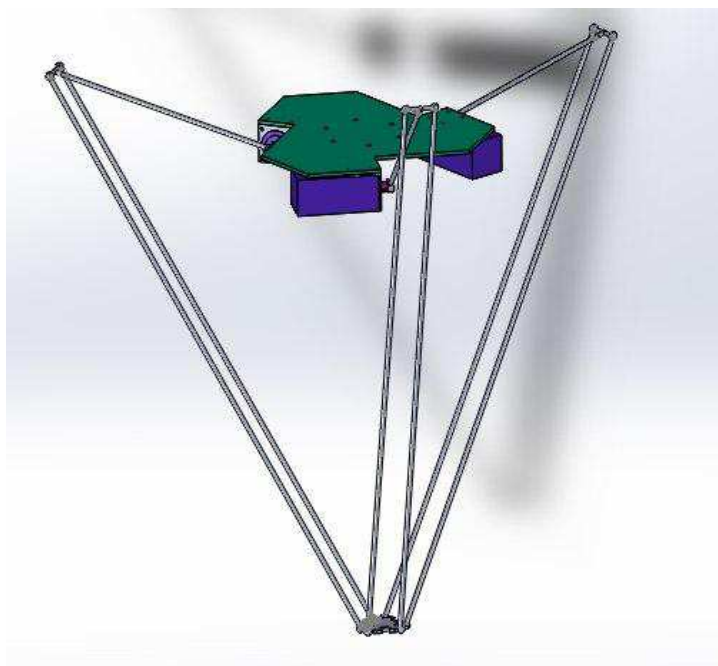


Рисунок 56 - Готовая модель с поднятыми суставами

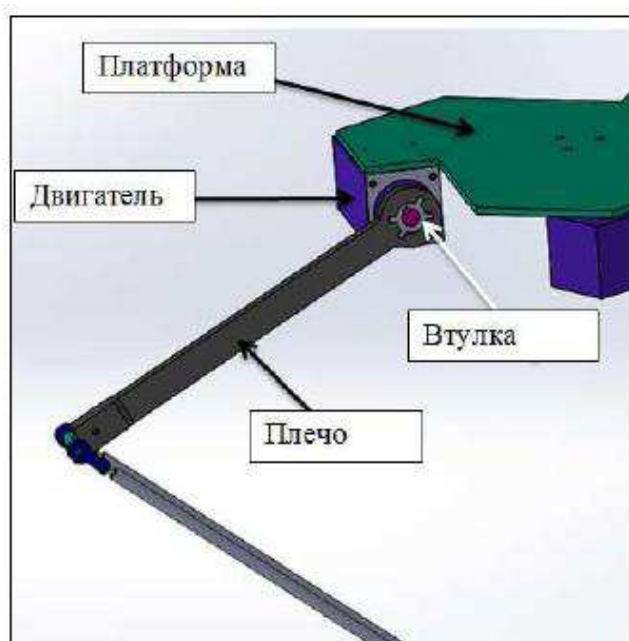


Рисунок 57 – Описание модели соединения платформа-сервопривод-плечо-втулка

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

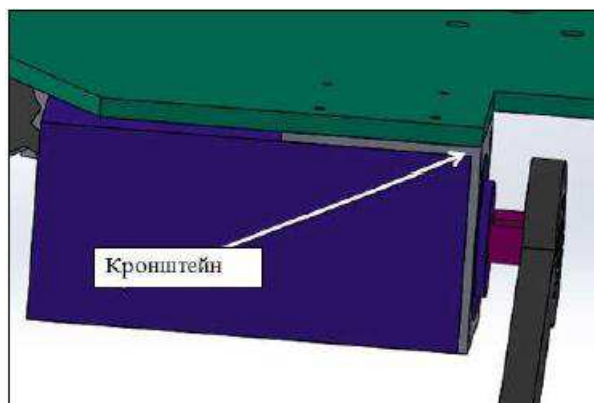


Рисунок 58 - Описание модели соединения кронштейн-сервопривод

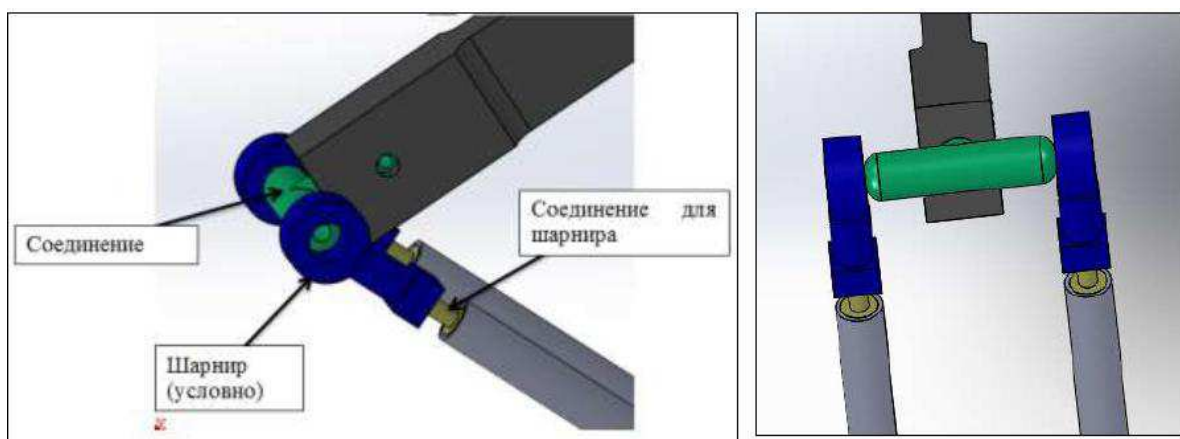


Рисунок 59 - Описание модели шарнирного соединения

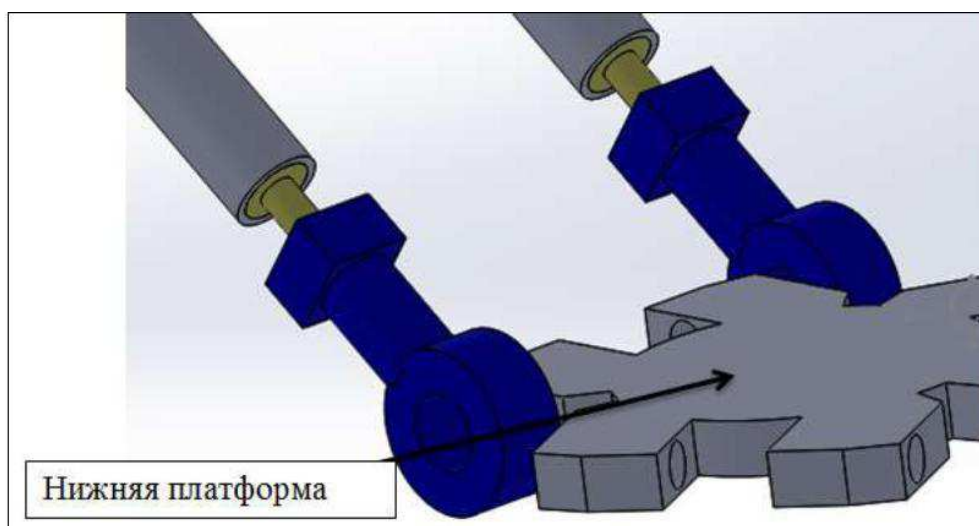


Рисунок 60 - Описание модели соединения нижней платформы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

6.5.1 Выбор элементов для схвата

Схват нашего дельта - робота, представляет собой систему, состоящую из:

- 1) компрессора;
- 2) асинхронного мотора МС-2 на 350 Вт, производства Китай;



Рисунок 61 - Асинхронный мотор МС-2

- 3) пневматических клапанов;



Рисунок 62 - Пневматические клапаны, производитель: Janatics Pneumatic,
Индия

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

3)шланг армированный, поливочный;



Рисунок 63 - Шланг армированный, прозрачный

4)двойные присоски;

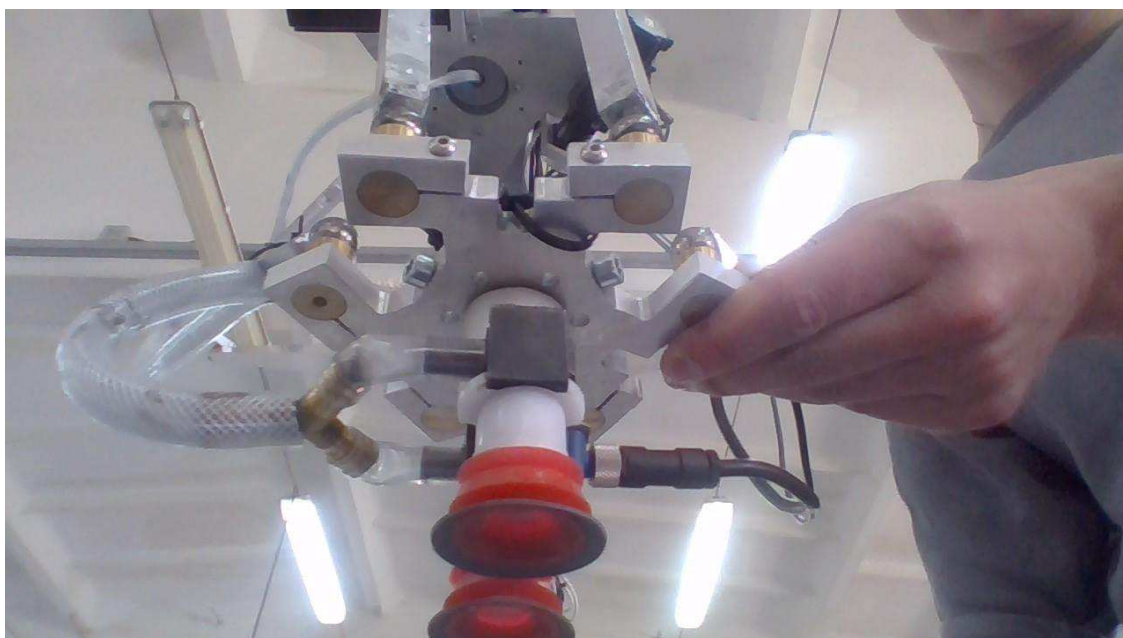


Рисунок 64 - Присоски схвата дельта – работа

5) для упрощения управления схватом было решено установить ультразвуковой датчик microsonic серии sks;



Рисунок 65 - Индуктивный датчик Delta Electronics

Характеристики:

- разрешение 0,025 мм (максимальная точность);
- температурная компенсация (точное измерение в условиях перепада температуры);
- 1× или 2×PNP дискретных выхода.



Рисунок 66 - sks-15/D Ультразвуковой датчик

Характеристики:

- рабочая зона (20...150 мм);
- макс. расстояние 250 мм;
- корпус 33x16 мм;
- выход 1xPNP, 2xLED, без температурной компенсации, требуется разъем 3 pin M8x1



Рисунок 67 - Разъем кабельный прямой

Характеристики:

3 pin M8x1;

диаметр кабеля 4-6мм;

IP67, для датчиков sks-15/D

б) для настройки режима «НОМЕ» было решено установить три оптических датчика фирмы Delta Electronics.



Рисунок 68 - Оптодатчик BS5-T2M Autonics Микроминиатюрный фотоэлектрический датчик

Характеристики:

П-образный, расстояние срабатывания: 0-5 мм;

питание: 5-24VDC;

режим работы: no/nc;

тип выхода: nрп, индикатор.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

6.6 Результаты испытаний системы управления робота

Главными задачами проведения испытаний были определение точности позиционирования, синхронность взаимодействия дельта - параллельного робота с другими роботами, выявление недостатков и замечаний по работе робота, системы управления и управляющей программы. Фотографии стенда и опытных испытаний представлены ниже.

6.6.1 Точность позиционирования

Под ней понимают наибольшие отклонения захватного устройства (его фиксированные точки) от заданного положения при неоднократном повторении цикла.

Наиболее часто применяются промышленные роботы с точностью позиционирования порядка 0,2-0,3 мм. При особо точных – менее 0,1 мм. При грубых – от 1 до 5 мм. Указанные значения зависят от скорости движения и габаритов робота.

Ниже представлена таблица результатов эксперимента по определению точности данного дельта – робота.

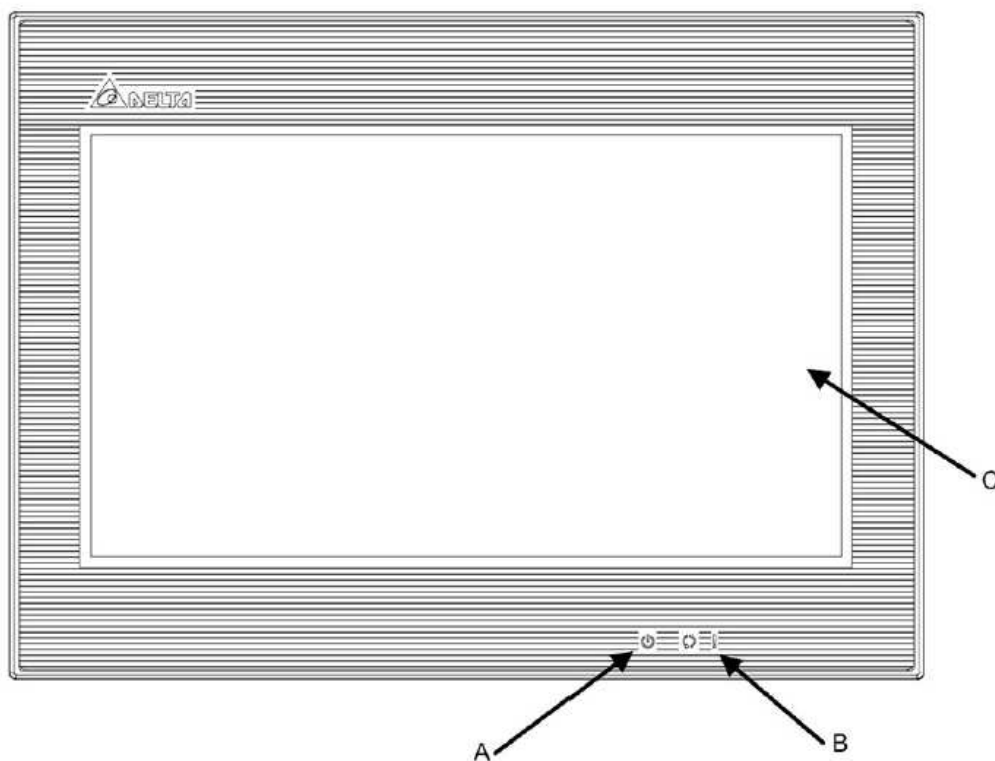
Таблица 3. Результаты эксперимента по определению погрешности дельта робота.

Скорости приводов.	10 об/мин					50 об/мин					100 об/мин				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Погрешность в мм по оси X	1.52	1.4	1.5	1.0	1.5	1.0	1.1	1.4	1.3	1.6	1.3	1.2	1.5	1.2	1.2
Погрешность в мм по оси Y	1.23	1.1	1.3	1.4	1.12	1.4	1	1.1	1.4	1.1	1.5	1.5	1.3	1.2	1.3

Для работы в сфере полиграфии данной точности робота более чем достаточно.

6.7 Обзор сенсорной панели оператора DOP-B10E615

Подраздел содержит фотографии панели управления. Фотографии общего внешнего сенсорной панели представлены на рисунках 68 и 69.

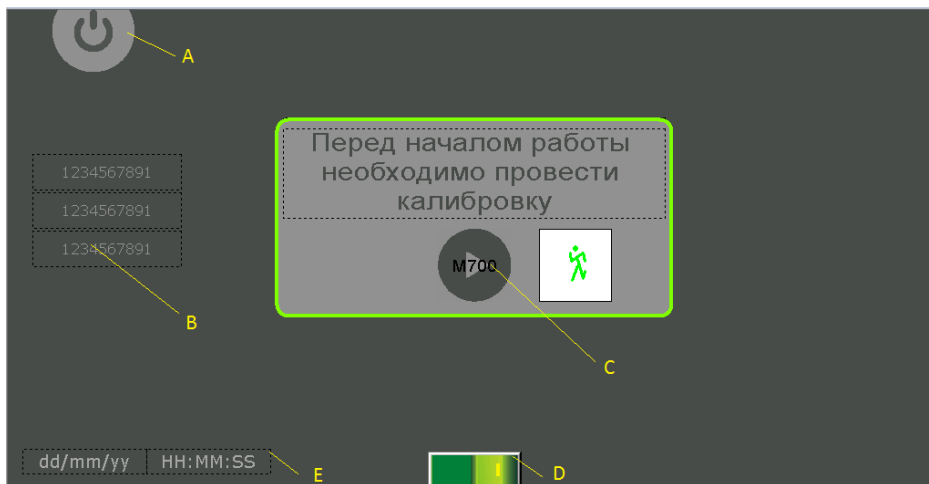


А – индикатор питания, В – операционный индикатор, мигает когда подключён USB – кабель, С – сенсорный экран

Рисунок 69 – Экран управления, вид спереди

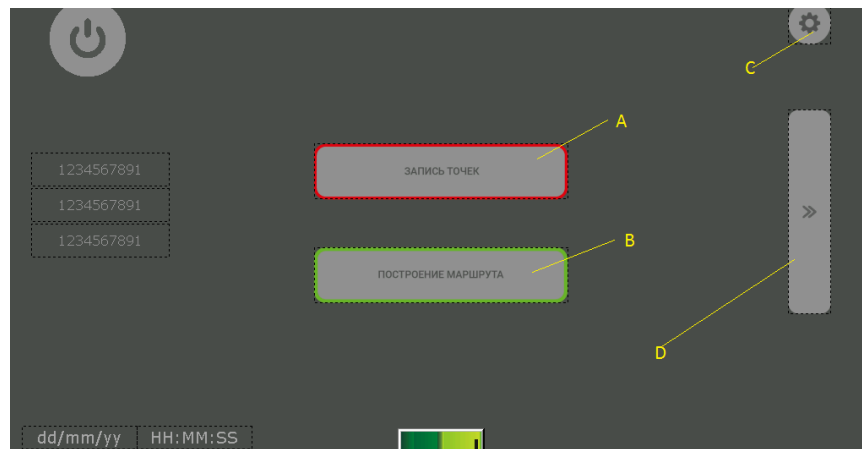
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

6.7.1 Разработка интерфейса в среде DOP soft



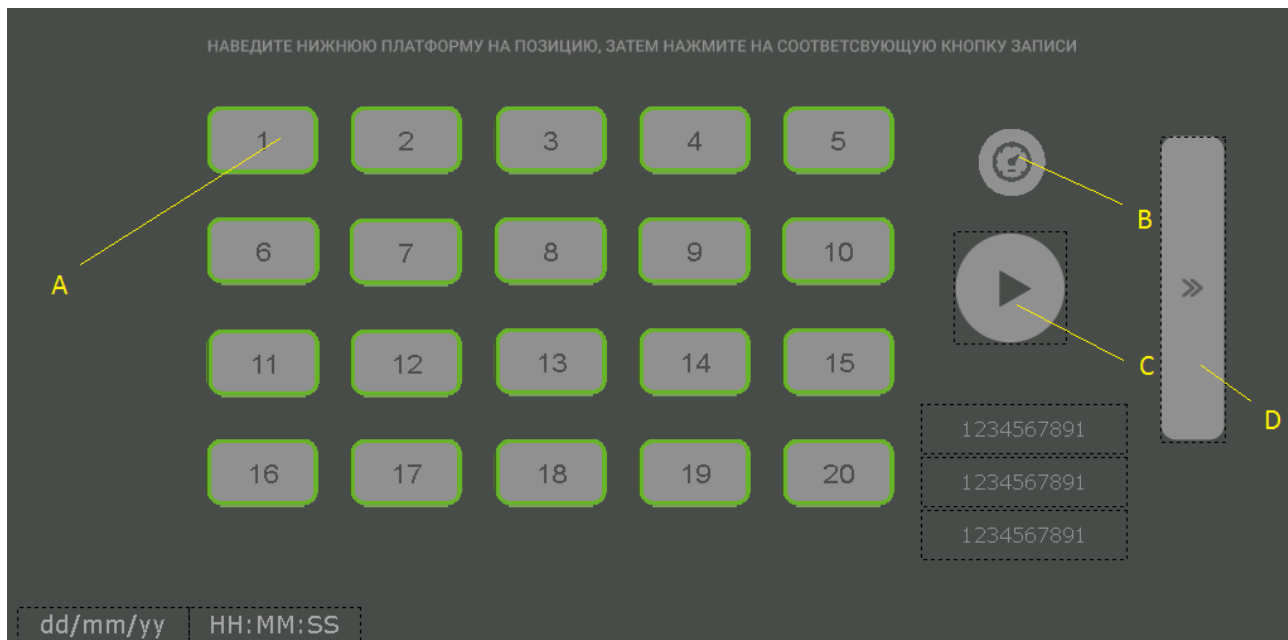
А – кнопка экстренного выключения, В – ячейки показывающие положение трёх приводов относительно откалиброванного нуля, С – кнопка калибровки и настройки робота на свой ноль, D – повторение калибровки, E – дата и время

Рисунок 71 – Главный экран



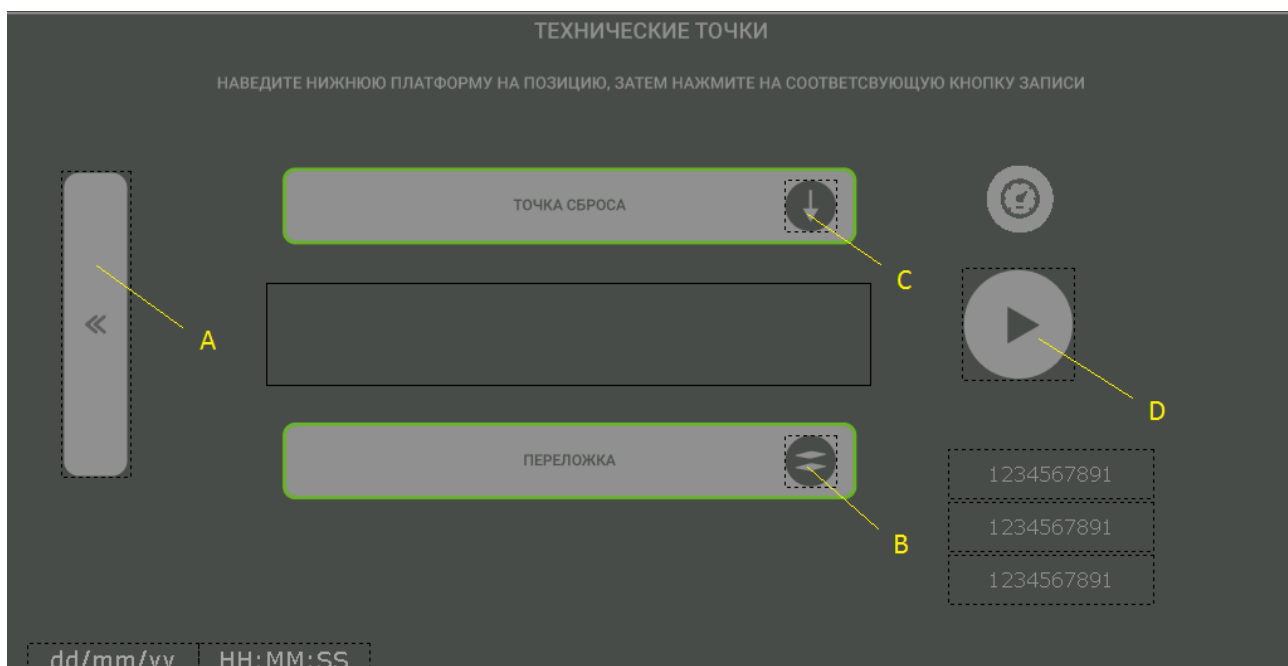
А – Запись кнопок, В – экран построения маршрута, С – настройки, D – переход на экран управления циклом

Рисунок 72 – Второй главный экран



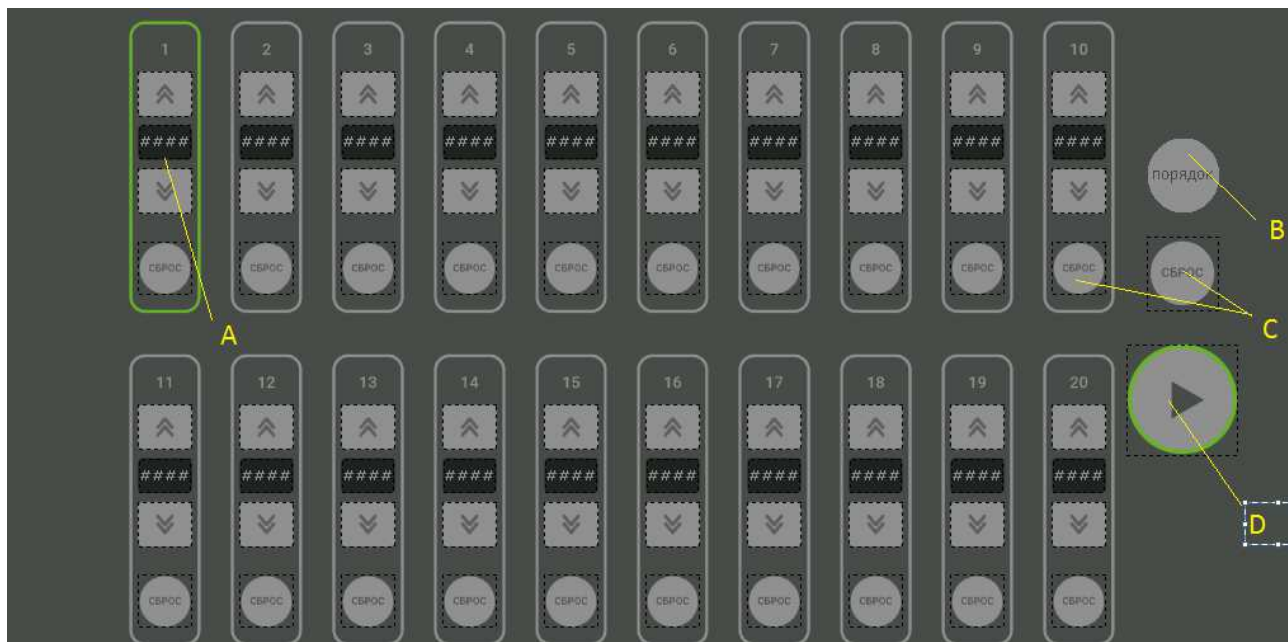
A – запись точки 1 - 20, B – включение/выключение вакуума, C – возврат на главный экран, D – переход на следующий экран

Рисунок 73 – Экран записи точек



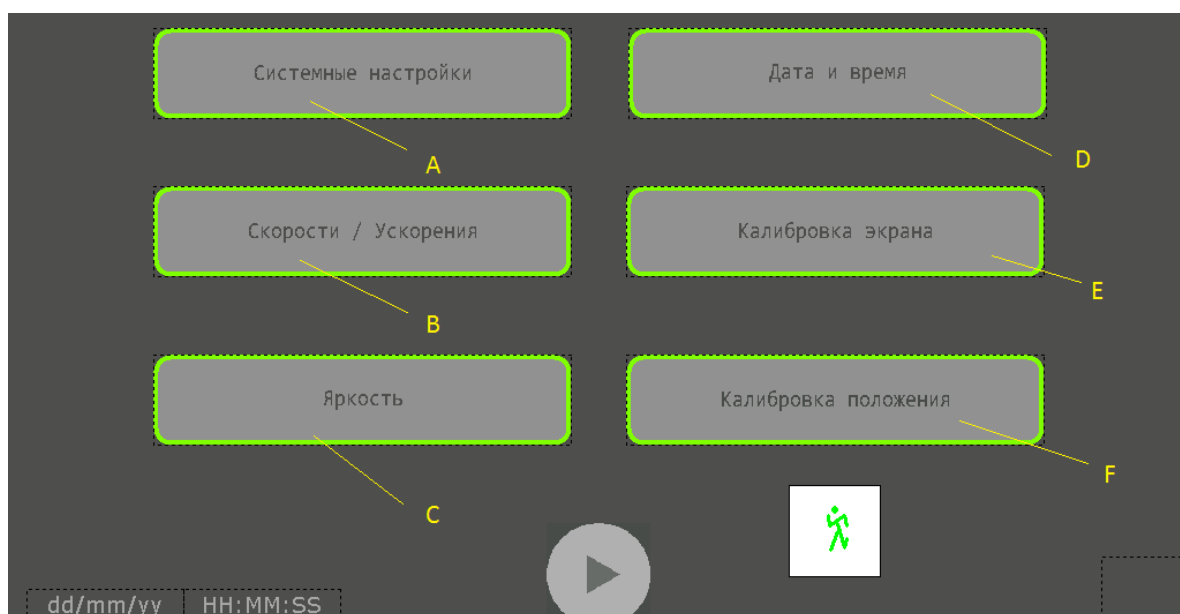
A – возврат на предыдущий экран, B – запись точки переложки, C – запись точки сброса, D – переход на следующий экран

Рисунок 74 – Дополнительная запись



А - Позиции устанавливаются кнопками ▲ и ▼ соответственно, либо нажатием на окно с позицией и последующим ручным вводом. Кнопка 0 аннулирует позиции, В - заполняет все позиции по порядку автоматически, С - сбрасывает установки на ноль, D - возврат на предыдущий экран.

Рисунок 75 – Экран настройки маршрута дельта – робота.



А - Настройки системы, В - настройки скоростей робота, С – настройки яркости экран, D – установка даты и времени, Е - калибровка экрана, F - настройки положения робота

Рисунок 76 – Экран настройки маршрута дельта – робота

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

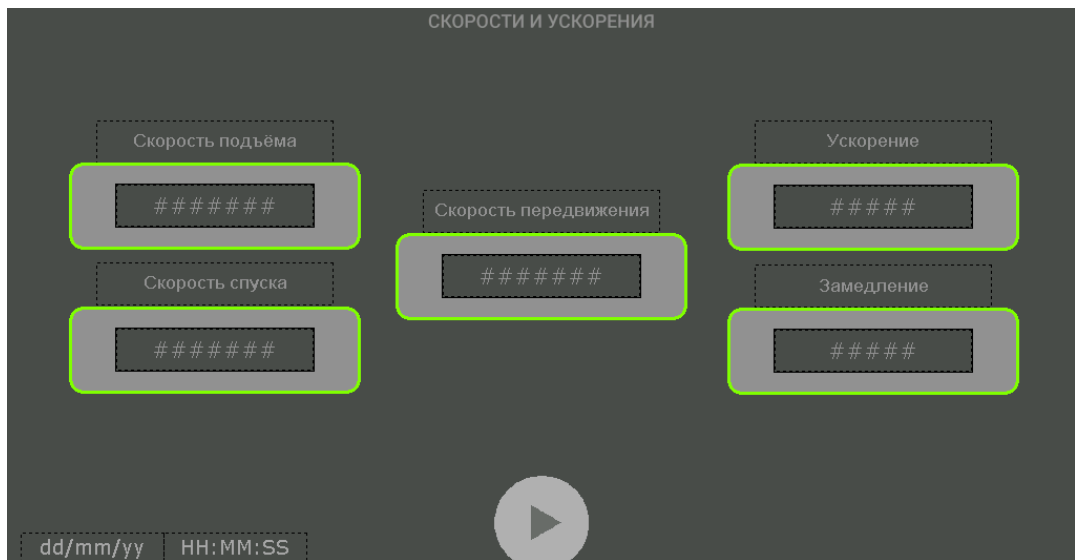
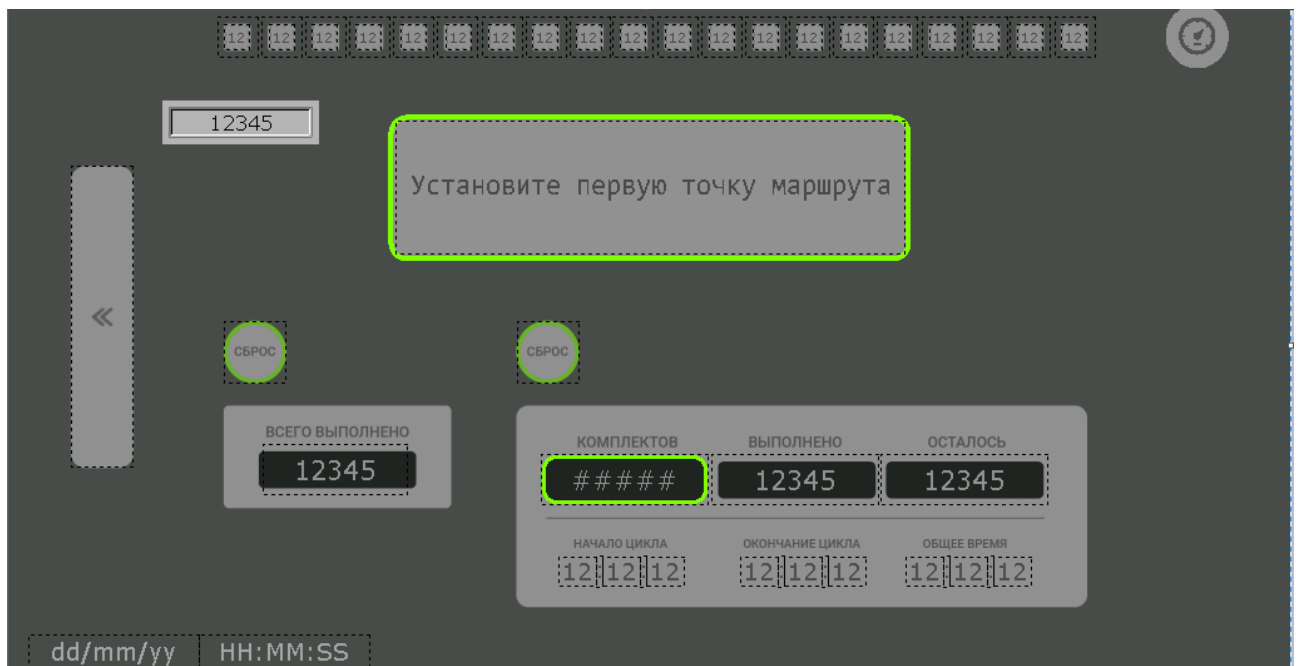


Рисунок 77 – Экран настройки скоростей робота



А - Кнопки пуска, остановки и паузы цикла при отсутствии первой точки маршрута или количества тиража отображают соответствующая ошибка (Рисунок 79), Б - установка числа комплектов на один цикл и его мониторинг, В - общее число сделанных комплектов, Г - (слева направо) время начала цикла, время окончания цикла, затраченное время, Д - отображение настоящего положения робота в цикле.

Рисунок 78 - Интерфейс перемещения робота



Рисунок 79 – Ошибки при отсутствии первой точки маршрута или кол-ва тиража

6.7.2 Внешний вид работа



Рисунок 80 – Внешний вид работа

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-15.03.06 ПЗ

Лист

79

В данном разделе демонстрируется механизм работа, его составляющие части и детали в сборе (рисунок 77).

6.7.3 Выявленные недостатки

Постепенно, в ходе испытания работа были выявлены следующие недостатки:

1) погрешность позиционирования вала сервоприводов , что приводит к отклонению от центра рабочей зоны схвата работа. На первом сервоприводе погрешность отклонения от 90 градусов составляет 1 градус, на втором сервоприводе 3 градуса и на третьем сервоприводе 5 градусов. Для устранения недостатка было решено прибавить в программном коде эти погрешности к посчитанному значению углов.

6.7.3 Техничко-экономические затраты

Целью технико-экономического расчета является определение сметы затрат на разработку стенда.

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

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

Далее представлен расчет всех составляющих сметы затрат на разработку системы.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

6.7.4 Расчет затрат на основное оборудование

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

$$S_3 = S_{об} + S_{прог} + S_{дет}, \quad (31)$$

где $S_{об}$ – стоимость затрат на приобретение основного оборудования, представлена в таблице 3;

$S_{прог}$ – затраты на приобретение программного обеспечения, представлены в таблице 4;

$S_{дет}$ – затраты на приобретение деталей учебно-лабораторного стенда, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Стоимость основного оборудования

Наименование	Количество, шт.	Стоимость, руб.
Портативный компьютер HP HQ-3,71025	1	15000
AS324MT-A Процессорный модуль AS300	1	25500
AS-PS02 Блок питания AS300	1	3600
ASD-A2-0421-M Блок управления	3	120000
ЕСМА-С10604RS Двигатели	3	85000
ASD-ABEN0003 кабель энкодера 3 м.	3	6500
ASD-ABPW0003 силовой кабель 3 м.	3	5160
DOP-B10E615 Операторская панель	1	85950

Продолжение таблицы 5 – Стоимость основного оборудования

DVS-005100 коммутатор	Неупр.	1	4170
ASD-ВМ-50А набор кабель 0.5 м+клемный блок		1	8062
AS-FCOMP Плата расширения CANopen, длина 1 м		1	5395
TAP-CB10 кабель связи по CANopen		1	470
TAP-CB05 кабель связи по CANopen 1 м.		1	760
TAP-CB10 кабель связи по CANopen		2	342
TAP-TR Терминальный резистор		2	342
Общая стоимость		366251	

Таблица 6 – Стоимость программного обеспечения

Наименование	Стоимость, руб.
Microsoft Windows 7	7000
Microsoft Office 2013	4000
Общая стоимость	11000

Таблица 7 – Стоимость деталей учебно-лабораторного стенда

Наименование	Количество, шт.	Стоимость, руб.
Качалка алюминиевая	3	1050
Трубка карбоновая	4	990
Шаровый шарнир	12	340
Наконечник под шарнир	16	180
Изготовление нестандартных деталей робота	6	7000
Изготовление кронштейна крепления робота	1	10000
Изготовление основания учебно-лабораторного стенда	1	3000
Общая стоимость		22560

Общая стоимость затрат на приобретение оборудования и программного обеспечения равна:

$$S_3 = 366251 + 11000 + 22560 = 399811 \text{ руб.} \quad (32)$$

6.7.5 Затраты на заработную плату

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

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

В период разработки учебно-лабораторного стенда оклад ведущего инженера составил 25455 рублей в месяц.

$$S_{\text{окл}} = 25455 \text{ руб} \quad (33)$$

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

$$S_{\text{ОСН}}^{\text{ИТР}} = S_{3/\Pi}^{\text{МЕС}} \times n = 25455 \times 12 = 305460 \text{ руб.} \quad (34)$$

где $n = 12$ – количество месяцев работы по 21 рабочему дню в каждом.

Выплата районного коэффициента 30% рассчитывается по формуле

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

$$S_{РАЙ.К.}^{ИТР} = S_{ОСН}^{ИТР} \cdot k_{Р.К.}, \quad (35)$$

$$S_{РАЙ.К.}^{ИТР} = 305460 \times 0.3 = 91638 \text{ руб.} \quad (36)$$

Выплата северного коэффициента 30% рассчитывается по формуле

$$S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = S_{ОСН}^{ИТР} \cdot k_{С.К.}, \quad (37)$$

$$S_{СЕВ.К.}^{ИТР} = 305460 \times 0.3 = 91638 \quad (38)$$

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

$$S_{ОБЩ}^{ИТР} = S_{ОСН}^{МЕС} + S_{РАЙ.К}^{ИТР} + S_{СЕВ.К}^{ИТР} = 305460 + 91638 + 91638 = 488736 \quad (39)$$

6.7.6 Затраты на электроэнергию

Исходные данные для расчета стоимости электроэнергии:

- мощность, потребляемая ПК с монитором – 450 Вт;
- мощность, потребляемая генератором – 150 Вт;
- мощность, потребляемая лампой дневного света – 40 Вт;
- количество ламп в помещении – 10 шт.

Расходы на электроэнергию в день:

$$S_{эл.д.} = (P_{ПК} + P_{ГЕН} + P_{л} \cdot n) \cdot N_{ч.} \cdot T_{эл.}, \quad (40)$$

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

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

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

$P_{л}$ – мощность, потребляемая лампой дневного света;

n – количество ламп дневного света;

$T_{эл.}$ - тариф на электроэнергию.

$Nч$ - часов рабочий день

$$S_{эл.д.} = (0.45+0.15+0.04 \cdot 10) \cdot 8 \cdot 1.83 = 14,64 \text{руб.} \quad (41)$$

Расходы на электроэнергию, затраченную на разработку:

$$S_{эл.} = S_{эл.д} \cdot N, \quad (42)$$

где N – количество дней:

$$S_{эл.} = 14,64 \cdot 100 = 1464 \text{руб.} \quad (43)$$

6.7.7 Затраты на амортизацию оборудования

При разработке программ использовался персональный компьютер и контроллер, следовательно, затраты на амортизацию найдем по следующей формуле:

$$Z_A = Z_{AK} \quad (44)$$

где Z_{AK} - затраты на амортизацию компьютера и контроллера.

Определим затраты на амортизацию компьютера по формуле:

$$Z_A = \frac{C_K \cdot n_m}{n_l \cdot 12}, \quad (58)$$

где C_K - первоначальная стоимость оборудования, руб.;

n_m - время использования, мес.;

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

n_i - срок службы, лет.

$$Z_{AK} = \frac{24000 \cdot 4}{5 \cdot 12} = 1600 \text{ руб.} \quad (45)$$

6.7.8 Расходы на аренду помещения

Расходы на аренду помещения за время разработки системы составили:

$$Z_{AP} = Z_A \cdot P \cdot T_p, \quad (46)$$

где Z_A – стоимость аренды 1 m^2 площади, руб.;

P – площадь помещения, m^2 ;

T_p – продолжительность этапа разработки, мес.

$$Z_{AP} = 150 \cdot 10 \cdot 4 = 6000 \text{ руб.} \quad (47)$$

6.7.9 Расчет сметы затрат на разработку лабораторного стенда

Все затраты, связанные с расходами на проектирование и изготовление учебно-лабораторного стенда приведены в таблице 8

Таблица 8 – Затраты на проектирование

Наименование затрат	Сумма затрат, руб
Затраты на основное оборудование, программное обеспечение и изготовление УЛС	390811
Основная заработная плата ведущего инженера	540000
Дополнительная заработная плата ведущего инженера	51352
Отчисления на социальные нужды	13406.08
Затраты на электроэнергию	14564
Затраты на амортизацию оборудования	14564
Расходы на аренду помещения	6043
Итого	1004721

Выводы:

- был произведен расчет экономических параметров и составлена смета затрат, так же произведено экономическое обоснование проекта;

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

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

7 Безопасность и экологичность проекта

В данной главе проведено соответствие безопасности и экологичности проекта.

7.1 Безопасность дельта-параллельного робота

В данном пункте проведено соответствие безопасности дельта-параллельного робота.

7.2 Безопасность производственного оборудования

Производственное оборудование должно обеспечивать требования безопасности при монтажных работах, эксплуатации и ремонте, транспортировании и хранении.

Большая часть мер безопасности реализована на проектном этапе. На этом уровне проектирования в конструкцию оборудования закладываются более пяти десятков различных требований безопасности в соответствии с положениями более двух десятков стандартов системы стандартов безопасности труда (ССБТ) и других нормативных документов.

Безопасность производственного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.001, ГОСТ12.2.003, ГОСТ12.2.026 и ГОСТ12.0.003, ГОСТ 12.2.102 обеспечивают:

- выбором принципов действия, конструктивных схем, безопасных элементов конструкции и т.п;
- применением в конструкции безопасных материалов и веществ;
- применением в конструкции средств механизации, автоматизации и дистанционного управления;
- выполнением эргономических и эстетических требований;
- выбором безопасных органов управления;
- применением в конструкции средств защиты;

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

- соблюдением требований безопасности при эксплуатации, монтажных работах, транспортировании и хранении;
- размещением оборудования на площадке;
- профессиональным отбором и обучением работающих;
- выбором электрооборудования и конструкции оборудования с учетом пожарной безопасности;
- включением требований безопасности в техническую документацию по монтажу, эксплуатации, ремонту, транспортированию и хранению;
- контролем над соблюдением требований безопасности, правил эксплуатации и трудового законодательства по охране труда работающими.

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

Производственное оборудование, при эксплуатации, в условиях установленных эксплуатационной и ремонтной документацией, по ГОСТ 2.601 и ГОСТ 2.602, не должно создавать опасности в чрезвычайных ситуациях.

В результате воздействия влажности, высокой температуры, солнечной радиации, механических колебаний, высоких и низких давлений, агрессивных веществ, ветровых нагрузок, обледенения и других негативных факторов, которые имеют место при чрезвычайных ситуациях.

7.3 Безопасность деталей дельта-параллельного робота

Элементы конструкции лабораторного стенда соответствуют требованиям безопасности ГОСТ 12.2.003-81.

Безопасность всех элементов, входящих в состав лабораторного стенда, обеспечивается за счет выполнения следующих требований:

- расчётом и конструкцией механизмов дельта-параллельного робота;
- расчётом на прочность;
- определением рабочей зоны робота;
- определением устойчивости платформы;

- определением опасной зоны при работе ГПМ;
- дистанционное управление роботом;
- отсутствие острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих;
- надежное крепление;
- надежная изоляция токоведущих частей.
-

7.4 Безопасность исходных материалов

Безопасность дельта-параллельного робота достигается за счёт использования в конструкции безопасных материалов. Согласно требованиям ГОСТ 12.3.002-75:

- материалы конструкции дельта-параллельного робота не оказывают вредного влияния на работающих. Материалы приведены в таблице 6. При использовании материалов, оказывающих вредное влияние, предусмотрено использование соответствующих средств защиты работающих;

- при использовании в технологическом процессе новых исходных материалов, заготовок, полуфабрикатов, а также при образовании промежуточных веществ, обладающих опасными и вредными производственными факторами, работающие должны быть заранее информированы о правилах безопасного поведения, обучены работе с этими веществами и обеспечены соответствующими средствами защиты;

- использование новых веществ и материалов разрешается только после утверждения в установленном порядке соответствующих гигиенических нормативов.

Таблица 9 - Материалы, входящие в состав конструкции установки

Наименование материалов и веществ	Класс опасности
Каркас установки (железо, сталь)	3
Кабели (электрические силовые)	4
Качалка алюминиевая	4
Трубка карбоновая	4

Все вещества и материалы прошли гигиеническую проверку и проверку на пожароопасность. Материалы конструкции не оказывают опасного, а также вредного воздействия на организм человека при всех возможных режимах работы установки, а также при ее ремонте и монтаже (демонтаже), а также не создают пожаровзрывоопасные ситуации.

7.5 Безопасность органов управления работа

Конструкция органов управления роботизированной-платформы выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.064, ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.007, ГОСТ 12.2.061:

- органы управления размещены на рабочем месте с учетом рабочей позы, функционального назначения, функциональной связи с соответствующими средствами отображения информации;
- органы управления обеспечивают эффективное управление производственным оборудованием, как в обычных условиях эксплуатации, так и в аварийных ситуациях;
- органы управления и функционально связанные с ними средства отображения информации расположены вблизи друг друга функциональными группами таким образом, чтобы орган управления или рука работающего при манипуляции с ним не закрывали индикаторы;

- органы управления, связанные с определенной последовательностью их применения, сгруппированы таким образом, чтобы действия работающего осуществлялись слева направо и сверху вниз;

- органы управления в необходимых случаях (например при возможности воздействия на них смежного органа управления, случайного прикосновения, сотрясения и т.п.) защищены от произвольного или самопроизвольного изменения их положения путём крепления к полу или поверхности, на которой находятся;

- направление движения органа управления соответствует направлению движения указателя соответствующего средства отображения информации и (или) перемещающейся части производственного оборудования;

- поверхности приводных элементов органов выполнены из нетоксичных, нетеплопроводных, электроизоляционных материалов.

Температура нагретых поверхностей приводных элементов органов управления, используемых без применения средств индивидуальной защиты, не превышает 310 К;

- органы управления кодируются формой и цветом;

- цвет органов управления сохраняется на протяжении всего срока их эксплуатации.

7.6 Безопасность средств защиты

Средства защиты, входящие в состав дельта-параллельного робота, представлены в таблице 8 и соответствуют следующим требованиям ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.049, ГОСТ 12.2.061:

- конструкция средств защиты обеспечивает возможность контроля выполнения ими своего назначения до начала и (или) в процессе функционирования производственного оборудования;

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

- средства защиты выполняют свое назначение непрерывно в процессе функционирования производственного оборудования или при возникновении опасной ситуации;

- действие средств защиты не прекращается раньше, чем заканчивается действие соответствующего опасного или вредного производственного фактора;

- отказ одного средства защиты не прекращается раньше, чем заканчивается действие соответствующего опасного или вредного производственного фактора;

- конструкция и расположение средств защиты не ограничивает технологические возможности производственного оборудования, и обеспечивают удобство эксплуатации и технического обслуживания.

- форма, размеры, прочность и жесткость защитного ограждения, его расположение относительно ограждаемых частей производственного оборудования полностью исключает воздействие ограждаемых частей и возможных выбросов (например, инструмента, обрабатываемых деталей) на работающего;

- конструкция защитного ограждения полностью исключает возможность самопроизвольного перемещения из положения, обеспечивающего защиту работающего, а также обеспечивает возможность выполнения работающим предусмотренных действий, включая наблюдение за работой ограждаемых частей производственного оборудования, если это необходимо;

- сигнальные устройства, предупреждающие об опасности, выполнены и расположены так, что их сигналы хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым угрожает опасность;

- части производственного оборудования, представляющие опасность, окрашены в сигнальные цвета и обозначены соответствующим знаком безопасности в соответствии с действующими стандартами.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

Таблица 10 - Средства защиты, входящих в конструкцию оборудования

Наименования средства защиты	Назначение	Место крепления
Защитные ограждения	Защита рабочих от падения	Вокруг лабораторного стенда
Экстренное отключение	Моментальное отключение мобильного робота	Панель управления роботизированной платформой
Тревожная сигнализация	Оповещение о неисправности	Установлена на панели управления платформой
Предупредительные надписи	Информирование рабочих	Вешаются

7.7 Безопасность при монтажных и ремонтных работах

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

Средства защиты, инструменты и приспособления подвергаются осмотру и испытаниям.

К обслуживанию изделия допускаются лица прошедшие специальный инструктаж и изучившие данное техническое описание и инструкцию по эксплуатации.

Безопасность при проведении ремонта дельта-параллельного робота обеспечивается за счёт соблюдения следующих требований:

- после остановки дельта-параллельного робота, операторы , работающие на нем, докладывают мастеру смены о готовности оборудования к ремонту;

- мастер смены оформляет наряд-допуск на проведение текущего ремонта и передаёт его лицу, ответственному за проведение ремонта с записью в «Журнале регистрации нарядов-допусков»;

- при необходимости по заявке дежурный электрик отключает силовой рубильник в пункте силовых устройств установки, разбирает электросхему, вывешивает знак «Не включать! Работают люди!»;
- работу производят в исправной спецодежде, спецобуви и средствах индивидуальной защиты;
- при проведении ремонта использовать только исправные инструменты, оснастку и приспособления.

7.8 Безопасность при транспортировке, хранении и установке робота

Для обеспечения безопасности при транспортировке и хранении мобильного робота необходимо соответствие следующим требованиям:

- перед транспортировкой установку разобрать на составные части;
- транспортировку составных частей осуществлять транспортным средством, оснащённым амортизационной платформой;
- установка и её запасные части хранить в сухом закрытом помещении.
- конструкция дельта-параллельного робота обеспечивает возможность закрепления её составных частей на транспортном средстве в упаковочной таре, и имеют устройства для их фиксации в определенном положении.

7.9 Безопасность при установке дельта-параллельного робота

Согласно требованиям ГОСТ 12.3.002-75, ГОСТ 12.3.003-91, ГОСТ 12.3.061-81, СНиП 31-01-03:

- производственные (рабочие) площадки, на которых выполняются работы вне производственных помещений, соответствуют требованиям действующих строительных норм и правил, а так же правил, утверждённых органами государственного надзора;
- размещение дельта-параллельного робота соответствует нормам технологического проектирования.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
						95
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- организация рабочих мест отвечает требованиям безопасности с учетом эргономических требований, устанавливаемых в государственных стандартах на конкретные производственные процессы, производственное оборудование и рабочие места.

7.9.1 Требования безопасности к профессиональному отбору

Персонал, принимаемый на работу на мобильного робота, должен быть отобран с выполнением следующих требований:

- наличие высшего или среднетехнического образования по специальности, соответствующей обслуживанию установки;
- прохождение инструктажа, обучение и сдача экзаменов по охране труда;
- отсутствие медицинских противопоказаний;
- в качестве персонала могут быть приняты лица, достигшие 18 лет.

7.9.2 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность оборудования должна быть обеспечена в соответствии с требованиями настоящих стандартов, ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.018, ГОСТ 12.2.007.0, ПУЭ, ПТЭ, и ПТБ, СНиП 3.05.06, СНиП 3.05.07. С учётом этих показателей выбран тип исполнения, вид взрывозащиты электрооборудования и степень его защиты от пыли и влаги.

Для обеспечения пожарной безопасности объекта, где предполагается установка дельта-параллельного робота, необходимо использовать мероприятия пожарной профилактики:

- организационные (инструктаж персонала, разработка плана эвакуации и т.д.);
- технические (устройство не горючих перегородок);
- режимные (курение в специальных местах);

- эксплуатационные (профилактические осмотры).

7.9.3 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

При возникновении чрезвычайных ситуаций следует выполнять следующие действия:

- прекратить подачу электроэнергии к дельта-параллельному роботу;
- выполнить предписание должностных инструкций;
- покинуть помещение и поступить в распоряжение начальника ГО и ЧС.

7.9.4 Экологическая безопасность дельта-параллельного робота

Разработанная система позиционирования и регулирования мощности солнечных батарей мобильного робота при работе не потребляет и не производит никаких веществ. Соответственно экологичность в таком случае, будет определяться только экологичностью исходных материалов.

7.9.5 Экологическая безопасность исходных материалов

Одним из экологических показателей является экологическая безопасность исходных материалов и веществ, входящих в конструкцию оборудования. При изготовлении и эксплуатации системы управления солнечной батареи выполнены все нормативные природоохранные требования. В конструкции установки применены безопасные и экологичные в соответствии со стандартами ССБТ и охраны окружающей среды, сертифицированные материалы и вещества, прошедшие гигиеническую проверку и проверку на пожароопасность.

Сведения о применяемых материалах и веществах сведены в таблицу 6.

					БР-15.03.06 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		97

7.9.6 Экологическая безопасность материалов

Разработанный дельта-параллельный робот при функционировании не потребляет и не производит никаких веществ. Соответственно экологичность, с этой точки зрения, определяется только экологичностью исходных материалов.

Дельта-параллельный робот предполагает расположение его оборудования в помещении с естественным освещением. Приоритетным расположением является помещение с окнами и рабочим местом оператора, оснащенного компьютером для связи с системой позиционирования.

Таблица 11 – Вещества и материалы, обращающиеся в технологических операциях

Наименование материалов и веществ	Класс опасности
Органическая и неорганическая пыль	3
Оксид углерода	4
Аммиак	4
Ацетон	4
Формальдегид	4

Вещества указанные в таблице 9 не оказывают вредного воздействия на экологическую обстановку и вредного влияния на здоровье людей при условии концентрации этих веществ находящейся в пределах ПДК в соответствии ГОСТ 12.1.007.

Выводы:

- в ходе проектирования изложены требования безопасности, направленные на обеспечение безопасности рабочих, производственного оборудования, составных частей дельта-параллельного робота;

- при разработке дельта-параллельного учтены требования основных нормативных документов;

- при внедрении их в производство с соблюдением требований всех нормативных документов, проект будет считаться безопасным и экологичны.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате моего дипломного проекта был спроектирована листоподборочная система на базе дельта-параллельного робота, а также написана программа управления на двух языках программирования LD и ST. С помощью данного робота могут собираться огромные тиражи разной продукции типографии и не только. Модель робота является актуальной на сегодняшний день для внедрения в производство из-за своих конструктивных и скоростных преимуществ. Так как в дипломном проекте был проделан большой объем работ, но в результате, были рассмотрены не все аспекты проектирования, проект раскрывает новые возможности для исследований и модернизации. В целом, его можно использовать для дальнейших улучшений (оптимизирование работы, внедрение СТЗ и т.д.).

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: «Высшая школа», 1986. - 260 с.
- 2 Шахинпур М. Курс робототехники. – М.: «Мир», 1990. - 520 с.
- 3 Пуссен В. Лекции по теоретической механике Т.1. – М.: ИЛ, 1948. - 339 с.
- 4 Сочнев А.Н. Моделирование и исследование роботов и робототехнических систем. – М., 2013. - 56 с.
- 5 Ecorchard, G., Maurine, P. Self-Calibration of Delta Parallel Robots with Elastic Deformation Compensation. Intelligent Robots and Systems, 2005., 462-467 с.
- 6 О программировании платы arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arduino.ru>.
- 7 Centre for Intelligent Machines (CIM) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cim.mcgill.ca>
- 8 Advanced Institute of Convergence Information Technology (AICIT) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aicit.org/>
- 9 Кун С., Госселин К. Структурный синтез параллельных механизмов. – М.: Физматлит, 2012. - 274 с.
- 10 ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. – Введ. впервые; дата введ. 01.07.1991. – М.: Стандартиформ, 1991. – 15 с.
- 11 ГОСТ 2.601-95 ССБТ. Единая система конструкторской документации. – Введ. впервые; дата введ. 12.10.1995. – М.: Стандартиформ, 1995. – 15 с.
- 12 ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ. Процессы производственные. Введ. впервые; дата введ. 01.08.1975. – М.: Стандартиформ, 1976. – 21 с.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		145

13 ГОСТ 12.2.064-81 ССБТ. Органы управления производственным оборудованием. Общие требования безопасности. Введ. впервые; дата введ. 01.02.1981. – М.: Стандартиформ, 1981. – 8 с.

14 ГОСТ 12.2.007-78 ССБТ. Изделия электрические. Введ. впервые; дата введ. 10.09.1975. – М.: Стандартиформ, 1978. – 18 с.

15 ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования к рабочим местам. Введ. впервые; дата введ. 01.10.1981. – М.: Стандартиформ, 1981. – 11 с.

16 ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. \ Введ. впервые; дата введ. 01.07.1980. – М.: Стандартиформ, 1980. – 22 с.

17 СНиП 31-01-03. Строительные нормы и правила. – Введ. впервые; дата введ. 01.10.2003. – М.: Стандартиформ, 2003. – 240 с.

18 ГОСТ 12.4.018-84 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. – Введ. впервые; дата введ. 01.01.1984. – М.: Стандартиформ, 1984. – 15 с.

19 СНиП 3.05.07. Системы автоматизации. – Введ. впервые; дата введ. 06.02.1985. – М.: Стандартиформ, 1988. – 32 с.

20 СНиП 3.05.06. Электротехнические устройства. – Введ. впервые; дата введ. 31.01.1985. – М.: Стандартиформ, 1988. – 32 с.

21 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Общие требования безопасности. – Введ. впервые; дата введ. 01.01.1989. – М.: Стандартиформ, 1989. – 21 с.

22 Технический регламент о требованиях пожарной безопасности № 123 –ФЗ-М.:2009. – 144 с.

23 Правила противопожарного режима РФ:2012. – 63 с.

24 Кузнецова С.В. ,Кабаева О.Н. ,Пантелеев Е.Ю. «Анализ рабочего пространства работа с замкнутой кинематической цепью».


25 Гапоненко Е.В. диссертация на тему «Динамика управляемого движения робота-трипода с шестью степенями подвижности» - 34 с.

Завацкий М.Г. Кинематика дельта-робота.

					БР-15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		146

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

Политехнический институт
«Робототехника и техническая кибернетика»

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

«Проектирование опытно-промышленного образца
листоподробочного роботизированного комплекса на базе дельта-
параллельного робота»

Руководитель


подпись, дата

доц. К. Т. Н
должность, учёная степень


В.М. Соловьёв

Выпускник


подпись, дата

Н.Е. Кустов

Нормоконтролёр


подпись, дата 08.07.19г.

В. Н. Куликова

Красноярск 2019