

Технологический проект

Портальная система линейного перемещения «Геркулес»

Автор:

Назарова Полина Алексеевна,
учащаяся 10Г класса
Бауманской инженерной
школы №1580

Научные руководители:

Капитонов Даниил Дмитриевич
Романов Николай Александрович

Москва
2024 г.

Перечень сокращений и обозначений

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения

ШВП - Шарико-винтовая передача

ПЛК - Программируемый логический контроллер

НМИ - Человеко-машинный интерфейс

ЧПУ - Числовое программное управление

САПР - Система автоматизированного проектирования работ

ПО - Программное обеспечение

URL - это адрес ресурса в сети Интернет.

об - оборот

Термины и определения

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями

- 1) Коллаборативный робот(кобот) — это автоматическое устройство, которое может работать совместно с человеком для производства различных продуктов.[1]
- 2) Программируемый логический контроллер(ПЛК/PLC) – это электронное устройство, которое позволяет управлять и контролировать различные процессы в автоматическом режиме. [2]
- 3) Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) (англ. Human machine interface, НМИ) — широкое понятие, охватывающее инженерные решения, обеспечивающие взаимодействие человека-оператора с управляемыми им машинами.[3]

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ПОИСКОВО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЭТАП	6
1.1 Анализ возможных путей решения задачи	6
1.2 Техническое задание	9
2 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП	11
2.1 Основные компоненты портальной системы линейного перемещения	11
2.2 Описание компонентов, их стоимость и электроника	11
2.3 Выбор САПР	18
2.4 Расчетная 3D модель продукта	18
2.5 Основная 3D модель проекта	20
2.6 Процесс моделирования и промежуточные результаты	21
2.7 Изготовление	22
2.8 Настройка оборудования и программирование	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	28
СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	29
ПРИЛОЖЕНИЕ А	32
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	33
ПРИЛОЖЕНИЕ В	34
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	35
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	37
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	38

ВВЕДЕНИЕ

Тема проекта

Портальная система линейного перемещения для повышения базового функционала существующих манипуляторов.

Актуальность

Проект разрабатывается на базе компании ООО «Промэнерго Автоматика». Сегодня производственные компании испытывают острый дефицит кадров на всех этапах производства. Эффективно решить проблему нехватки квалифицированного персонала помогает внедрение коллаборативных роботов. Эти роботы отлично зарекомендовали себя на многих производственных участках: погрузка продукции в короба на паллеты, загрузка и выгрузка заготовок из станков и из прессов, работа с листогибами, нанесение клея или герметика, сварочных участках и др.

Сейчас существует большое количество задач, которые можно автоматизировать с помощью роботов, например, робот может осуществлять сварку больших деталей, размещение большого количества продукции на паллеты, если приспособить робота работать вертикально. К сожалению, их рабочей зоны не всегда хватает для выполнения таких масштабных задач. Увеличить ее можно путем добавления координатной степени, более того, по данным компании, в России пока нет готового решения.

Цель проекта

Разработать портальную систему линейного перемещения на базе компании ООО «Промэнерго Автоматика», используя предоставленные конструктивные элементы, для повышения базового функционала какого-либо исполнительного механизма или коллаборативных роботов, в частности российских Rozum, китайских Jaka, Prompower и датских Universal Robots грузоподъемностью до 12 кг, путём добавления возможности перемещения на 1.5 метра, с использованием координатной (глобальной) степени подвижности[4].

Задачи проекта

- 1) Провести предварительное исследование интернет-ресурсов, изучить существующие решения, проанализировать специфику данной задачи и проанализировать компоненты, предоставленные компанией.
- 2) Изучить средства, используемые в компании, для лучшей интеграции своего решения в их систему. Сформулировать техническое задание. Найти техническую документацию на предоставленные компоненты.
- 3) Разработать эскиз прототипа, подобрать требуемые компоненты из числа доступных

- 4) Разработать 3D модель для расчета напряжений в конструкции (опоры, направляющие, подшипники)
- 5) С учетом расчетов, внести изменения в конструкцию, при необходимости заменить компоненты
- 6) Разработать 3D модели компонентов: внутреннюю компоновку, составные части изделия, крепежи. Проработать внешний облик и эргономические решения с учетом специфики задачи и условий эксплуатации.
- 7) Изготовить детали и узлы изделия. Докупить нужные компоненты при необходимости. Собрать конструкцию.
- 8) Написать программное обеспечение для реализации базового функционала и тестирования опытного образца. Разработать человеко-машинный интерфейс. Разработать интерфейс взаимодействия коллаборативного робота (или другого исполнительного механизма) и программируемого логического контроллера. Разработать систему безопасности и отображать состояние с помощью светосигнальной колонны.
- 9) Провести испытания.
- 10) Выявить проблемы и внести изменения.

1 ПОИСКОВО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЭТАП

1.1 Анализ возможных путей решения задачи

В ходе изучения открытых источников и общения с компанией были разработаны различные пути решения проблемы, а также проведён их предварительный анализ на возможность внедрения.

Коллаборативный робот - высокоточное устройство, поэтому изучив виды передач, представленные в таблице 1, которые подходят для решения этой задачи, была выбрана шарико-винтовая передача, этот тип передачи сможет обеспечить максимальную точность перемещения.

Таблица 1 - Анализ существующих видов передач

Вид передачи	Описание	+	-
Плоскоременная передача [5]	Это передача крутящего момента между валами и механизмов и машин посредством гибкой связи – плоского ремня.	<ul style="list-style-type: none">- Плавность работы- Бесшумность- Возможность компенсации перегрузок (за счет проскальзывания)- Не нужно смазывать- Низкий уровень шума- Низкая стоимость деталей- При обрыве ремня прочие элементы привода не повреждаются, и шкивы вращаются свободно- Возможность передачи движения между валами, находящимися на значительном расстоянии друг от друга или под углом друг к	<ul style="list-style-type: none">- Малая несущая способность- Малая точность- Малый срок службы- Скольжение- Дополнительная нагрузка на валы из-за натяжения ремня- Нужен редуктор для мотора

Таблица 1 - Анализ существующих видов передач

Вид передачи	Описание	+	-
Зубчато-ременная передача [6]	В этих передачах бесконечный плоский ремень, имеющий на внутренней поверхности зубья трапецеидальной формы, входит в зацепление с зубчатым шкивом	<ul style="list-style-type: none"> - Небольшие нагрузки на валы и подшипники - Низкий уровень шума - Низкая стоимость деталей - При обрыве ремня прочие элементы привода не повреждаются, и шкивы вращаются свободно - Возможность передачи движения между валами, находящимися на значительном расстоянии друг от друга - Высокий КПД 	<ul style="list-style-type: none"> - Малая несущая способность - Малая точность - Малый срок службы - Нужен редуктор для мотора

Таблица 1 - Анализ существующих видов передач

Вид передачи	Описание	+	-
Зубчато-реечная передача [7]	Механическая зубчатая передача, преобразующая вращательное движение зубчатого колеса в поступательное движение рейки или наоборот.	<ul style="list-style-type: none"> - Устойчивость к нагрузкам - Высокая надежность - Простота эксплуатации - Возможность стыковки нескольких реек для построения привода широкоформатных станков 	<ul style="list-style-type: none"> - Сложность изготовления и ремонта - Относительно большие габариты - Требуется редуктор - Относительно высокий уровень шума - Большой люфт (т.е. низкая точность) - Высокая восприимчивость к уровню загрязнений - Большая погрешность при стыке реек

Таблица 1 - Анализ существующих видов передач

Вид передачи	Описание	+	-
Шарики-винтовая передача [7]	Л и н е й н ы й м е х а н и ч е с к и й п р и в о д , п р е д н а з н а ч е н н ы й д л я п р е о б р а з о в а н и я в р а щ а т е л ь н о г о д в и ж е н и я в л и н е й н о е с п о м о щ ь ю и с п о л ь з о в а н и я м е х а н и з м а ц и р к у л и р у ю щ е г о ш а р и к а м е ж д у х о д о в ы м в и н т о м и г а й к о й.	- Н е т р е б у е т с я р е д у к т о р - М а л ы е п о т е р и н а т р е н и е - В ы с о к а я н а г р у з о ч н а я с п о с о б н о с т ь п р и м а л ы х г а б а р и т а х - Р а з м е р н о е п о с т у п а т е л ь н о е п е р е м е щ е н и е с в ы с о к о й т о ч н о с т ь ю - В ы с о к о е б ы с т р о д е й с т в и е - В ы с о к и й К П Д	- С л о ж н о с т ь к о н с т р у к ц и и г а й к и - О г р а н и ч е н и е п о д л и н е в и н т а (п о я в л я ю т с я в и б р а ц и и) - В ы с о к а я с т о и м о с т ь - Т р е б у е т т щ а т е л ь н о г о у х о д а - О ч е н ь з а в и с и т о т с о о с н о с т и в с е х к о м п о н е н т о в

Уже существуют порталные системы перемещения, например от Kuka[10] и CRP[11], но все они разработаны только для роботов этих компаний и не поддерживают другие исполнительные механизмы, что для компании-интегратора создает сложность для использования в различных проектах.

1.2 Техническое задание

Робот должен перемещать исполнительный механизм на расстояние 1.5 метра, выполнять калибровку по запросу оператора, определять и передавать свое положение в пространстве.

Геометрические размеры робота:

В ширину - 262 мм

В длину - 1610 мм

В высоту - 150 мм

Грузоподъемность робота должна быть 600Н, а погрешность позиционирования должна быть менее 1 мм на 500мм хода

Электронная часть устройства должна включать в себя ПЛК, панель оператора, исполнительный механизм, светосигнальную колонну

Должна быть возможность подключения исполнительного механизма к портальной системе линейного перемещения и возможность программирования всей систем, как единой.

У оператора должна быть возможность взаимодействовать и отслеживать состояние всей системы с помощью HMI.

Все детали конструкции должны быть изготовлены с точностью до десятых долей миллиметра

2 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП

2.1 Основные компоненты портальной системы линейного перемещения

- Электропривод [9]

Для решения поставленной задачи подходит сервопривод, так как обеспечивает точность перемещения, обладает обратной связью и может выдать хороший крутящий момент даже на низких оборотах, что критически важно в этой задаче по перемещению.

- Механизм передачи крутящего момента

В результате анализа была выбрана шарико-винтовая передача

- Линейные направляющие

Использованы алюминиевые линейные направляющие диаметром 20мм.

- Исполнительный механизм

В проекте было решено использовать коллаборативного робота Rozum PULSE 75 с

максимальной полезной нагрузкой 6 кг и весом 12.6кг, но разработка ведется для широкого ряда коботов. Универсальность обеспечивается всеми необходимыми креплениями на каретке и грузоподъемностью всей системы.

- Система управления

Был выбран ПЛК, используемый компанией и программируемый на язык е программирования Ladder.

НМИ-панель для взаимодействия с оператором

Сервоусилитель, для управления серводвигателем

- Датчики

Индуктивные для определения и калибровки каретки на направляющих

Энкодер, встроенный в мотор для точного перемещения

2.2 Описание компонентов, их стоимость и электроника

Сначала проходило изучение большого количества каталогов производителей с целью установки точного наименования каждого компонента, который компания «Промэнерго.Автоматика» предложила использовать. Это позволило получить чертежи и другую техническую документацию. Все это крайне необходимо при проведении расчетов и моделирования основной модели.

Компоненты, представленные в таблице 2, были выбраны из имеющихся таким образом, чтобы они подходили друг к другу по рабочим напряжениям(для управляющих элементов), мощностям и размерам (для механической части). Затем, консультируясь с компанией, были разработаны схемы подключения (**Приложение Г**) и принцип работы всей системы.

Изначально было принято решение использовать ШВП, соответственно необходим серводвигатель. Он был взят имеющийся и уже отталкиваясь от его характеристик подбиралась вся электронно-вычислительная часть устройства. Также при выборе учитывалось, что на производствах, особенно в сложных системах, применяют протокол Modbus RTU[12] для управления устройствами, в проекте он также будет применяться, а значит ключевые компоненты должны его поддерживать. Этот протокол позволяет управлять большим количеством устройств с помощью одного ПЛК и подключать внешние интерфейсы, чтобы оператор мог видеть состояние системы и управлять ею. В данном проекте будет использоваться интерфейс RS-485, который обеспечивают дальность сигнала до 1200 метров.

В выбранном протоколе Modbus RTU данные кодируются в двоичный формат, а разделителем пакетов служит временной интервал. Этот протокол чувствителен к задержкам и не может работать, например, на модемных линиях. Для борьбы с различными помехами используются подтягивающие резисторы и витая пара.

Таблица 2 - Описание и себестоимость выбранных компонентов без учета расходных

№	Компонент	Описание	Цена	Количество, шт.	Стоимость, руб.
1.	Серводвигатель переменного тока V7E-L08A-R7530-Q1 [15]	<ul style="list-style-type: none"> - Номинальный крутящий момент: 2.39 Нм - Мощность: 750 Вт - Скорость вращения: 3000 об/мин - Имеет степень защиты IP67 	21586 руб.	1	21586
2.	ВК17 - опора винта подшипниковая фиксирующая [16]	В этих фиксирующей опоре установлены 2 радиальных подшипника,	3352 руб.	1	3352

Таблица 2 - Описание и себестоимость выбранных компонентов без учета расходных

3.	ВФ17 - опора винта подшипниковая поддерживающая [17]	что позволяет жестко фиксировать винт в радиальном направлении и создавать натяг в осевом. В плавающей опоре установлен радиальный подшипник, фиксирующий винт в радиальном направлении и воспринимающий ограниченные осевые нагрузки.	1742 руб.	1	1742
4.	П р о ф и л ь к о н с т р у к ц и о н н ы й 80X80Н [18]	- Масса: 4,86 кг/м - Материал: AlMgSi 6060 T6 - Профиль изготовлен по стандартам ГОСТ 22233-2018	5335 руб./м	1.6x2	17072
5.	Направляющая на опоре SBR20 [19]	Материал: сталь Gcr15, закаленная	2 363 руб.	2	4726
6.	Гайка R25-10K4-FSC [20]	- Шаг: 10 мм - Д и н а м и ч е с к а я нагрузка: 1684 кгс - Статическая нагрузка: 3337 кгс - Диаметр шариков: 3,175 мм - Т и п р е з ь б ы : о д н о з а х о д н а я , правосторонняя - Н о м и н а л ь н ы й диаметр: 25мм	14855 руб.	1	14855

Таблица 2 - Описание и себестоимость выбранных компонентов без учета расходных

7.	Винт ШВП HIWIN R25-10-0.052 длиной 1.5 метра [21]	<ul style="list-style-type: none"> - Номинальный диаметр: 25мм - Шаг: 10 мм - Тип резьбы: односторонняя, правосторонняя - Погрешность перемещения: 0,05 мм на 300 мм хода - Диаметр шариков: 3,175 мм 	18107 руб.	1	18107
8.	Линейный подшипник в сборе с корпусом TBR20-UU TECHNIX [22]	<ul style="list-style-type: none"> - Динамическая нагрузка: 784 Н - Статическая нагрузка: 1176 Н - Масса: 0,3 кг 	611 руб.	4	2444

Таблица 2 - Описание и себестоимость выбранных компонентов без учета расходных

9.	Разрезная муфта ZTR-50D19-71L [23]	<ul style="list-style-type: none"> - Номинальный момент: 11 Нм - Максимальная скорость — 3000 об/мин - Диаметр отверстия с одной стороны - 12 мм (для винта ШВП), а с другой - 19 мм (для вала серводвигателя) - Главная особенности разрезной муфты в том, что ее изгибающее действие компенсирует параллельные, угловые смещения и люфт вала 	2839 руб.	1	2839
10	Индуктивный датчик [24]	Бесконтактный датчик, предназначенный для контроля положения объектов из металла (к другим материалам не чувствителен).	1823 руб.	2	3646
11	Спроектированный фланец	Фланец нужен для жесткого соединения серводвигателя с плитой крепления	30000 руб.	1	30000

Таблица 2 - Описание и себестоимость выбранных компонентов без учета расходных

12	Спроектированная каретка	Плита, к которой непосредственно прикреплён исполнительный механизм			
13	Спроектированная плита крепления передняя	Плиты, которые обеспечивают соосность			
14	Спроектированная плита крепления задняя	всех элементов, а также жесткость крепления всех элементов			
15	Спроектированная деталь для связи каретки и гайки ШВП	Деталь соединяет гайку ШВП и каретку, передавая поступательное			
16	Блок управления серводвигателем SD700-6R0D-PA- Veichi [25]	<ul style="list-style-type: none"> - Импульсное и аналоговое 16 битное управление скоростью - Энкодер - 17 бит - Режимы работы: по скорости, по моменту, 	50318 руб.	1	50318
17	Импульсный источник питания Prompower NDR-120-24 [26]	<ul style="list-style-type: none"> - Выходное напряжение: 24В - Выходная мощность: 120 Вт 	2990 руб.	1	2990

Таблица 2 - Описание и себестоимость выбранных компонентов без учета расходных

18	VC3-1616MAT - ПЛК Veichi [27]	Э т о высокопроизводительный модульный ПЛК для типовых применений. У него 16 входов и 16 транзисторных выходов NPN.	32516 руб.	1	32516
19	Коллаборативный робот Rozum PULSE 75 [28]	- Грузоподъемность: 6 кг - Степень защиты: IP54 - Диаметр основания: 150 мм - Вес: 12,6 кг - Н а л и ч и е силомоментного датчика: опционально - Рабочая зона: - 750 мм - Повторяемость позы: 0,1 мм - П о т р е б л я е м а я мощность: 350 Вт - Количество осей: 6	Неизвестно	1	
20	Панель оператора PROMPOWER PH1 [29]	- Диагональ 7" - Экран с разрешением 800*480 - Встроенный Ethernet	15926 руб.	1	15926
21	Светосигнальная колонна ZL-7-S322-RYG-K06 [30]	- Количество цветов — 3 - З в у к о в о й сигнализации нет	7306 руб.	1	7306

Таблица 2 - Описание и себестоимость выбранных компонентов без учета расходных

22	Коммутатор TP-LINK	- 5 Ethernet-портов	885 руб.	1	885
.	LS1005G [31]	- Неуправляемый			
Итого:					2 3 0 2 1 0 руб.

Структура Ethernet сети (**Приложение Д**) разрабатывалась таким образом, чтобы добавление в общую схему подключений коллаборативного робота или любого другого исполнительного механизма никак не изменило и не сломало работу системы.

2.3 Выбор САПР

Была выбрана программа Fusion360, потому что она помогает контролировать все аспекты дизайна изделия, независимо от того, создается ли вы проект или редактируются импортированные файлы, что крайне полезно при работе с готовыми 3D моделями компонентов. Также у меня был опыт работы в этой САПР и существует большое количество обучающих материалов по работе с ней.

2.4 Расчетная 3D модель продукта

Сначала планировалось просчитать все напряжения вручную, но после консультации с Морозовой И.Г., преподавателем университета науки и технологий МИСИС, было решено смоделировать упрощенную модель содержащую только те элементы, на которые пойдет большая часть нагрузки, с целью проведения расчета внутри программы.

Была разработана модель, представленная на рисунке 1, на основе первоначальных деталей. В ней создавались такие элементы, как балки, каретка, подшипники и линейные направляющие. Именно на эти элементы, согласно предварительному анализу, приходится большая часть

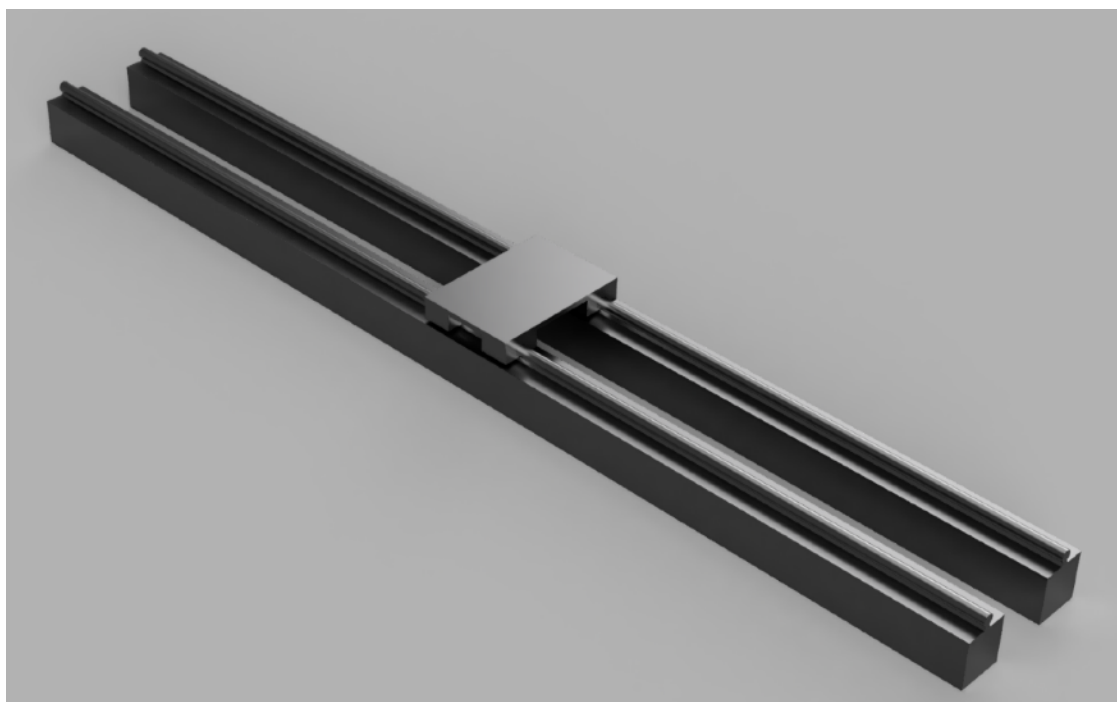


Рисунок 1 - Расчетная модель конструкции

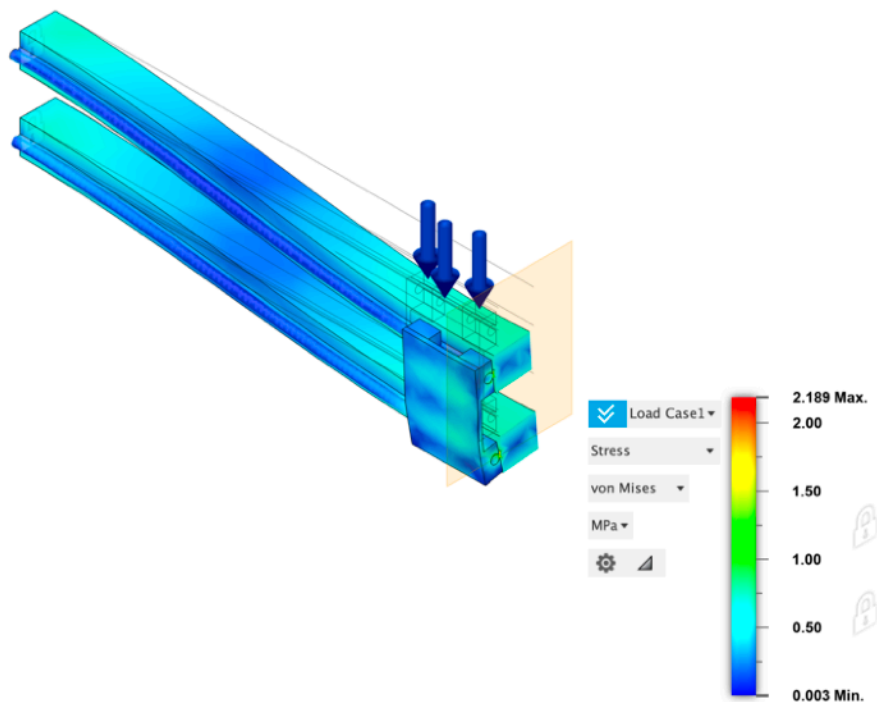


Рисунок 2 - Моделирование статической нагрузки в 600Н в программе Fusion360

нагрузки. С помощью расчетной модели были выполнены расчеты напряжения, представленные на рисунке 2, которые показали, что модель выдержит предполагаемую нагрузку.

Коллаборативные роботы, которых планируется крепить на представленный проект, весят не более 410Н, а их грузоподъемность не превышает 120Н. Расчеты выполнялись для 600Н, так как нужно добавлять вес груза и вес рабочего инструмента манипулятора (захват, присоски и т.д.)

Расчет производился в этом положении каретки, потому что именно в таком положении на направляющие идет самая большая нагрузка. Из этой симуляции видим, что слабые места конструкции - это подшипники и направляющие.

Каждый подшипник выдерживает 392Н динамической нагрузки, на каждой направляющей их 2, направляющих две. Большая часть нагрузки будет приходиться на нижнюю направляющую. Также нагрузка поровну делится на 2 подшипника, то есть на каждый подшипник максимум будет действовать по 300Н. Учитывая это, они должны выдержать груз весом 600Н.

Направляющие изготовлены из стали Gcr15[13], предел текучести которой 415 МПа, что кратно больше 2.2МПа в расчете, а предел текучести алюминия минимум 60 МПа[14], что также больше 2.2МПа, то есть, исходя из расчётов, конструкция выдержит необходимую нагрузку.

Отдельно проведён расчет напряжений на используемый конструкционный профиль, модель которого взята с сайта производителя, поскольку в черновой модели он показан слишком

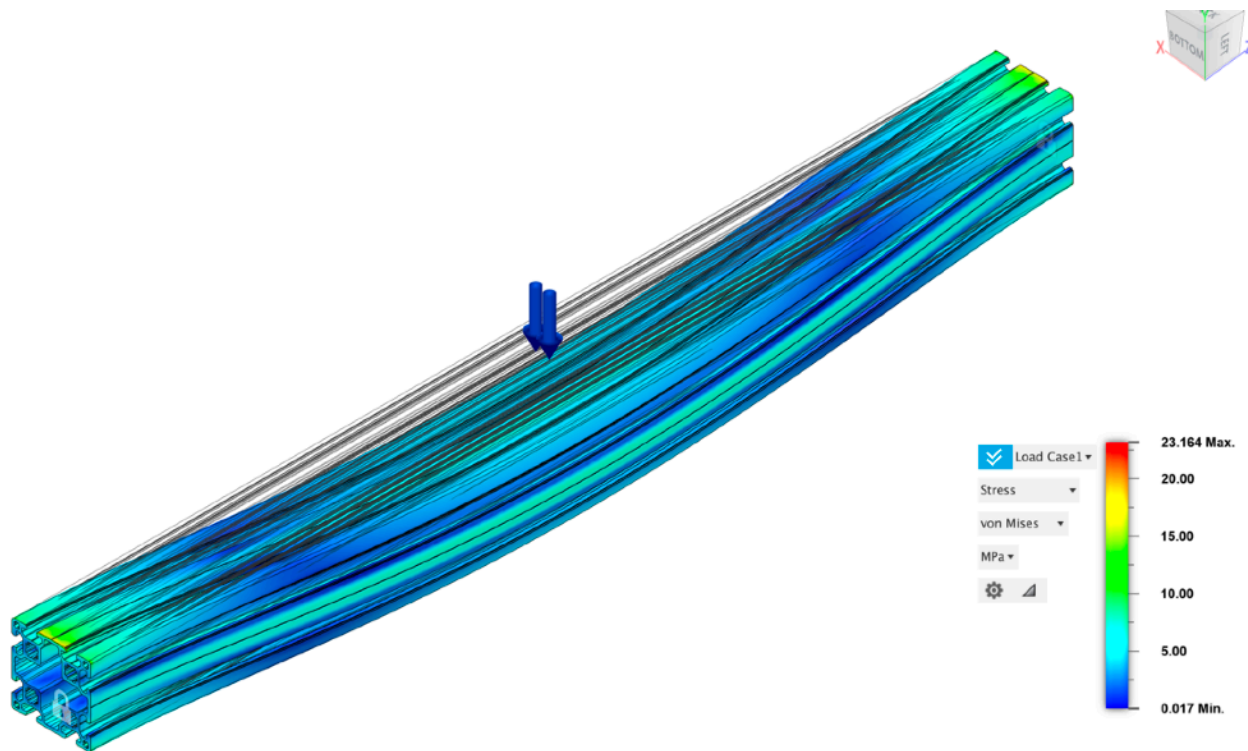


Рисунок 3 - Расчет напряжения на конструкционный профиль

упрощенно. В результате проведенных испытаний с весом в 1500Н, оказывающим воздействие на точку в середине профиля (рисунок 3), всё находится в пределах текучести(для данного сплава - 140 МПа), то есть деформация при использовании будет незначительная.

2.5 Основная 3D модель проекта

После выполнения расчетов началась разработка основной модели. Сначала было необходимо найти на официальных сайтах 3D модели предоставленных компанией компонентов, а если таковые не находились, смоделировать их самостоятельно по чертежам.

В данной системе крайне важна соосность всех элементов, которые связаны с ШВП, так как иначе даже при малейшей несоосности один из элементов конструкции может сломаться сильно раньше ожидаемого или вся конструкция не соберется. Было решено разработать 2 плиты, к которым будут крепиться все остальные компоненты: электродвигатель, конструкционные профили, опоры винта. Так мы сможем достигнуть соосности, поскольку элементы будут жестко закреплены относительно друг друга на металлических плитах. Профиль 80мм на 80мм нужен для достижения прочности и жесткости конструкции, так как вся конструкция, собранная только на направляющих, будет недостаточно жесткой.

Компанией было решено подвесить мой тестовый прототип, представленный на рисунке 5, на конструкционный профиль 100мм x100мм, представленный на рисунке 4, который уже

установлен в офисе. Таким образом, был выбран следующий способ крепежа: к крепежным плитам, на которых будет собрана конструкция, с задней стороны будет крепиться данная балка 100мм x100мм, соответственно, на ней будет закреплена вся конструкция.

Также было принято решение сделать неглубокие отверстия в плитах для ответных важных для соосности элементов, в частности фланец двигателя и компонент для связи гайки ШВП и каретки на 3 мм «утоплены» в переднюю плиту крепления и каретку соответственно. Такое решение позволит более жестко и надежно закрепить эти компоненты друг относительно друга.

Задача подразумевает, что нужно изготовить каретку. На ней предусмотрены отверстия для российских коллаборативных роботов Rozum, датских Universal Robots, китайских Jaka и Prompower, также было предусмотрено две пары отверстий для крепления кабель-канала. Еще одно конструктивное решение: развернуть гайку ШВП, а деталь для связи гайки ШВП и каретки сместить в заднюю часть. Таким образом, рабочая зона получается больше, чем при другой компоновке этих элементов.

2.6 Процесс моделирования и промежуточные результаты

У модели было много промежуточных версий, но выделить можно четыре основных:

1) Расчетная модель

2) Вторая версия модели(**Приложение А**)

Во второй версии модели пока что отсутствуют плиты крепления, поскольку это была первая попытка скомпоновать 3д модели имеющихся деталей в единую конструкцию.

Проблемы второй версии:

- Неграмотно спроектированный фланец двигателя, который было слишком сложно изготовить из металла
- Слишком крупная деталь для связи гайки ШВП и каретки
- Отверстия для крепления коллаборативных роботов были смещены на пол миллиметра в сторону от центра

3) Третья версия модели(**Приложение Б**)

В третьей версии модели впервые воссоздана финальная конструкция полностью. Тут есть небольшие проблемы с соосностью, отсутствие четких зависимостей внутри программы.

Изменения и проблемы третьей версии:

- Исправленные проблемы второй версии

- Неграмотно спроектированный фланец двигателя, который было слишком сложно изготовить из металла, есть лишние углубления
- Деталь для связи гайки ШВП и каретки слишком изогнута, ее дорого изготавливать. На ней впервые применена идея с углублением в одной детали для более четкого закрепления другой
- Изготовлены передняя и задняя плиты крепления, но с рядом ошибок (лишние отверстия, слишком большой размер плит)
- Плиты крепления немного «выглядывают» за основные два конструктивных профиля, из-за чего длина всей конструкции увеличивается. При повторном замере места, где эта конструкция должна крепиться, оказалось, что эти плиты не должны выходить за пределы профилей, иначе вся конструкция не поместится.
- Неправильные размеры отверстий

4) Четвертая версия модели (Приложение В)

Четвертая версия модели проектировалась с нуля. Полностью была переработана модель, что позволило исправить основополагающие ошибки прошлых моделей: не совсем верное расстояние между профилями, отсутствие соосности

Изменения финальной версии:

- Исправленные проблемы третьей версии
- Заданы зависимости компонентов внутри программы
- Исправлены размеры отверстий
- Фланец двигателя и деталь для связи гайки ШВП и каретки спроектированы таким образом, что их можно изготовить из алюминиевой плиты 20 мм, и «утоплены» в ответные детали на 3мм
- В каретке добавлены 4 отверстия для кабель-канала
- Развернута деталь для связи гайки ШВП и каретки вместе с гайкой ШВП для увеличения рабочей области изделия

2.7 Изготовление

Совместно с компанией было принято решение изготавливать детали с точностью до десятых долей миллиметра. Были созданы визуальные изображения деталей [32], которые затем были отправлены в металлообработку. Всего изготавливалось 5 деталей:

- 1) Каретка
- 2) Плита крепления передняя
- 3) Плита крепления задняя

4) Фланец



Рисунок 4 - Балка в офисе компании

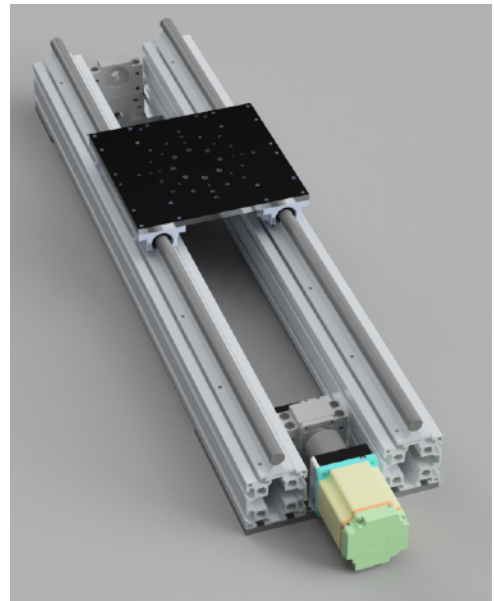


Рисунок 5 - Финальная версия 3D модели

5) Деталь для связи каретки и гайки ШВП

Первые 3 детали было решено изготовить из плиты из сплава алюминия толщиной 10мм, остальные две - из двадцатимиллиметровой плиты. Использовались станок с ЧПУ и фрезерный станок. Выбор материала обусловлен спецификой отрасли и выбранной точностью изготовления, например изготовленные из пластика детали обладают гораздо меньшей прочностью. Собиралась конструкция самостоятельно, но потребовалась посторонняя помощь при ее установке на балку.

2.8 Настройка оборудования и программирование

До начала программирования нужно настроить оборудование, в частности настроить серводвигатель и сервоусилитель. Используя «VSDsoft Ver1.1» от производителя этого оборудования был изменен ряд параметров, представленные в таблице 3.

Таблица 3 - Выставляемые параметры на сервоусилитель

Параметр	Устанавливаемое значение	Что оно значит?
Pn000	0	Был установлен режим управления положением, также на данном оборудовании возможно управлять моментом и скоростью, но это не подходит
Pn002	0	Было установлено положительное направление вращения против часовой стрелке, так как резьба правосторонняя, а 0 положением будет положение каретки у мотора
Pn080	0x00002	Был установлен локальный адрес связи (см. Приложение Д) для того, чтобы затем все связать в единую сеть
Pn081 - Pn083	Были установлены такие же, как и на ПЛК	Это параметры коммуникации, они должны быть одинаковы
Pn204	131072	В документации к данному сервоусилитель указаны значения для данного параметра. В используемом серводвигателе энкодер однооборотный(17 бит), и, по документации, 131072 сигналов энкодера приходится на 1 оборот двигателя

Таблица 3 - Выставляемые параметры на сервоусилитель

Параметр	Устанавливаемое значение	Что оно значит?
Pn206	10000	Это то, сколько за 1 поворот двигателя проедет гайка ШВП в микрометрах
Pn208	1	Тут указывается источник задания позиции, было указано задание положение внутренним регистром
Pn899	17	Тут указывается стратегия выхода на исходную позицию. Изучив документацию, было принято решение использовать стратегию, когда мы едем с высокой скоростью до концевика(в данном случае индуктивного датчика), а затем с низкой скоростью немного отъезжаем от него
Pn89A	100	«Высокая скорость» для параметра Pn899
Pn89B	10	«Низкая скорость» для параметра Pn899
Pn802	5000	Смещение нулевой позиции, то есть столько мкм, на сколько после калибровки нужно отъехать от датчика
Pn898	Для теста можно задать 0 и откалибровать	Это параметр, изменяя который, задается положение, в которое серводвигателю нужно встать

Таблица 3 - Выставляемые параметры на сервоусилитель

Параметр	Устанавливаемое значение	Что оно значит?
Pn806	10000	С Pn806 до Pn87E задаются положения в мкм, где Pn806- первое положение (нулевое положение - положение после калибровки)
Un021	Ничего не нужно записывать	Параметр меняется в режиме реального времени и показывает положение серводвигателя сейчас, что очень полезно при отладке

Выбор программного обеспечения в данном проекте в большей степени обусловлен выбором компонентов, так как чаще всего каждый производитель разрабатывает ПО для своей продукции. Был разработан алгоритм взаимодействия, использованные места в памяти ПЛК описаны в таблице 4.

Таблица 4 - Описание предназначения используемых мест в памяти ПЛК

Место в памяти ПЛК	За что отвечает?
D0	Положение серводвигателя, в нашей задаче может быть равно нулю(калибровку), одному(крайняя позиция со стороны мотора) или двум(крайняя позиция в полутора метрах от мотора)
D1	Положение серводвигателя сейчас, обратная связь, возвращается значение в следующем формате: <ul style="list-style-type: none"> • 2000х - серводвигатель находится в положении х • 1000х - серводвигатель движется в положение х

Таблица 4 - Описание предназначения используемых мест в памяти ПЛК

Место в памяти ПЛК	За что отвечает?
M0	Показывает, откалиброван ли сервопривод 0 - нет 1 - да
M100	Триггер для передачи пакета данных на сервоусилитель

Для разработки HMI использовалась программа «VI20Studio», разработанная для программирования выбранной панели оператора. Там был разработан HMI(Приложение Д). Передача пакета с положением серводвигателя осуществляется с помощью триггера, чтобы постоянно не обновлять место в памяти сервоусилителя Pn898, то есть не заставляя постоянно двигаться в то положение, в котором он уже стоит или бесконечно калиброваться.

ПЛК был запрограммирован с помощью программы «AutoStudio» на языке LD (Ladder Diagram) – это графический язык программирования, который используется для программирования ПЛК. Он основан на представлении логических операций в виде контактов и катушек, а также их соединений в сетки, то есть это язык релейной логики. ПЛК в данном проекте выступает «мастером», то есть главным устройством в сети ethernet, а его задача - передавать пакеты данных по триггеру и обрабатывать обратную связь от серводвигателя.

К этой системе достаточно легко будет подключить исполнительное устройство, добавив обработку обратной связи и от него. Управлением может заняться HMI, используя, например, переключатель (работает или нет). Программа Ladder выполняется в бесконечном цикле с очень маленьким временем одного прохода, поэтому он отлично проходит для написания программ для однотипных действий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Плюсы проекта

- Сервопривод обеспечивает точность перемещения и достаточный момент силы даже при малых оборотах
- Устройство каретки позволяет устанавливать все необходимые типы коллаборативных роботов
- Предусмотрено крепление для кабель-каналов
- Индуктивные датчики работают дольше и более износостойко, чем прочие, тк не происходит контакта с поверхностью
- Конструкция универсальна в рамках своей задачи и может быть использована с различными исполнительными механизмами
- Из-за того, что проект разрабатывается для компании, которая занимается промышленными проектами, он соответствует требованиям для промышленного производства

Минусы проекта

- ШВП шумная
- Дороговизна проекта
- Масштабируется максимум до 2м, так как при большей длине винта ШВП начинаются слишком сильные вибрации из-за провисания одного
- Необходимо обслуживание обученным техническим специалистом, чтобы избежать быстрого износа

Перспективы развития

В будущем планируется доработать связь портальной системы линейного перемещения с коллаборативным роботом и соединить их в единую, программируемую систему, что позволит полностью внедрить мой проект в систему управления роботом. Также планируется доработать дизайн HMI, оптимизировать код и запрограммировать всю систему для выполнения какой-либо задачи в целях демонстрации.

Полученный результат и выводы

На данный момент работа над проектом активно продолжается, но уже собрана и работает вся конструкция, разработан HMI, из поставленных задач осталось только соединить коллаборативного робота с системой и разработать более удобный HMI, были записаны видеоролики с демонстрацией и разработаны чертежи. [32]

Работа над проектом позволила расширить представления о робототехнике, электротехнике, программировании, 3D моделировании. В результате работы над технологическим проектом «Портальная система линейного перемещения», было получено много новых знаний о специфике

этого направления, изучила различные классификации и нормы, научилась разрабатывать 3D модель прототипа, подобрала требуемые компоненты, изготовила корпус, детали и узлы, научилась настраивать промышленное оборудование и программировать его и интерфейсы для взаимодействия с ним. Также потребовались проявления аккуратности, любознательности, терпения, усидчивости и внимательности.

Также в результате работы была получена рецензия от компании ООО «Промэнерго Автоматика». (Приложение Е)

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Ключевые факторы безопасности при сварке с применением коботов - URL: <https://www.stankoff.ru/blog/post/739?ysclid=lsbud4llg6516217431>
- 2) Программируемый логический контроллер (ПЛК) - URL: https://xn--90aefk0afdbjdc7m.xn--plai/catalog/programmiruemyy_logicheskiiy_kontroller_plk/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=poisk_PLC&type=search&source=none&block=premium&position=1&utm_term=---autotargeting&yclid=2029325219004415999
- 3) Реферат по теме «Человеко-машинный интерфейс» - URL: <https://studfile.net/preview/9443651/>
- 4) Степени подвижности манипуляторов - <http://roboticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000021/st012.shtml>
- 5) Плоскоременная передача - URL: <https://infopedia.su/1x27e4.html>
- 6) Зубчато-ременные передачи - https://studref.com/553550/tehnika/zubchato_remennye_peredachi?ysclid=ls8tls3j1583264139
- 7) Зубчато-реечные передачи - URL: <https://purelogic.ru/news/zubchato-reechnye-peredachi/>
- 8) Шарико-винтовые передачи - URL: <https://kalashnikovgroup.ru/catalog/neoruzheynoe-proizvodstvo/produksiya-promyshlennogo-naznacheniya/stankostroenie/shariko-vintovye-peredachi/shariko-vintovye-peredachi?ysclid=ls8uay912z233403004>
- 9) Классификация электроприводов - URL: <https://studfile.net/preview/2687787/page:3/>
- 10) Позиционер Kuka - URL: <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/robot-periphery/positionierer?ysclid=ls8ul03p37885552871>
- 11) Позиционер CRP - URL: <https://crp-robot.ru/positioners>
- 12) Описание протокола Modbus RTU - URL: <https://habr.com/ru/companies/advantech/articles/450234/>
- 13) Описание стали Gcr15 и ее свойств - URL: <https://ru.dintoolsteel.com/carbon-steel/gcr15-material-properties.html>

- 14) Описание алюминия и его сплавов - URL: https://prof-il.ru/aluminum_alloy.html?ysclid=ls8zeu3vgt790212339
- 15) Серводвигатель переменного тока V7E-L08A-R7530-Q1 - URL: <https://kiplex.ru/v7e-l08a-r7530-q1/>
- 16) BK17 - опора винта подшипниковая фиксирующая - URL: https://darxton.ru/catalog_item/opora-vinta-shvp-fiksiruyushchaya-bk17/
- 17) BF17 - опора винта подшипниковая поддерживающая - URL: https://darxton.ru/catalog_item/opora-vinta-shvp-bf17-plavayushchaya-s-radialnym-podshipnikom/?ysclid=ls6s3wriij217519266
- 18) Профиль конструкционный 80X80H - URL: https://www.soberizavod.ru/catalog/seriya_40_anodirovannyj/profil_konstruktsionnyy_80kh80h_an_srebro/
- 19) Направляющая на опоре SBR20 - URL: https://www.zetek.ru/catalog/lineynye_napravlyayushchie_1/tsilindricheskie_napravlyayushchie_1/23193/
- 20) Гайка R25-10K4-FSC - URL: https://www.zetek.ru/catalog/lineynye_peredachi_1/shvp_hiwin/17170/#props
- 21) Винт ШВП HIWIN R25-10-0.052 длиной 1.5 метра - URL: <https://equaline.ru/product/vint-shvp-hiwin-r25-10-4500-4500-0052>
- 22) Линейный подшипник в сборе с корпусом TBR20-UU TECHNIX - URL: https://technix-rus.ru/catalog/sistemy_lineynogo_peremeshcheniya/lineynye_podshipniki/lineynye_podshipniki_v_sборе_s_kорпусом/lineynyj_podshipnik_v_sборе_s_kорпусом_tbr20_uu_technix/?ysclid=ls6s91l75r252377206
- 23) Разрезная муфта ZTR-50D19-71L - URL: <https://equaline.ru/product/zhestkaya-mufta-ztr-50d?ysclid=ls6slixy96198493970>
- 24) Индуктивный датчик - URL: <https://prompower.ru/catalog/sensors/inductive-sensors/kj112d04pad350ly>
- 25) Блок управления серводвигателем SD700-6R0D-PA- Veichi - URL: <https://www.saa.su/veichisd7006r0dpa/>
- 26) Импульсный источник питания Prompower NDR-120-24 - URL: https://prompower.ru/catalog/power-supply/power-ndr/ndr12024?utm_term={trkpp}&yclid=10500803234054537215
- 27) VC3-1616MAT - ПЛК Veichi - URL: <https://www.proenergo.ru/veichi/plk-veichi/vc31616mat/?ysclid=ls8xjxu2r6795619584>
- 28) Коллаборативный робот Rozum PULSE 75 - URL: <https://xn--90armbu8c.xn--p1ai/kollaborativnye-roboty/koboty-pulse-serii/kobot-pulse-75?ysclid=lsa4z6dy44991116055>

- 29) Панель оператора PROMPOWER PH1 - URL: <https://xn--80aaagdlzqlegkecgqe4bd2s.xn--plai/catalog/sistemy-avtomatizatsii/programmiruemye-logicheskie-kontrollery-plk/graficheskaya-panel/vi20-070s-fe/>
- 30) Светосигнальная колонна ZL-7-S322-RYG-K06 - URL: https://www.zetek.ru/catalog/elektrotekhnicheskoe_oborudovanie/svetosignalnye_kolonny/22844/
- 31) Коммутатор TP-LINK LS1005G - URL: <https://market.yandex.ru/product--ls1005g/1779595538?sku=646831064&do-waremd5=YViDM0HAYZV6gLSfbSfAEA&uniqueId=1353549>
- 32) Видеоролики с демонстрацией и чертежи - URL: <https://disk.yandex.ru/d/RSCmLk-OVwrVuQ>

Благодарности

Хотелось бы выразить благодарность преподавателям, которые потратили свое время, давая советы и консультируя по этому проекту:

- Гулина Наталия Ивановна, старший преподаватель кафедры СУНЦ-1, учитель черчения в школе #1580
- Смирнов Илья Анатольевич, инженер-электроник, учитель информатики в школе #1580, педагог дополнительного образования
- Карфидов Алексей Олегович, заведующий кафедрой инжиниринга технологического оборудования в университете науки и технологий МИСИС
- Морозова Ирина Георгиевна, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования университета науки и технологий МИСИС
- Скобелев Николай Андреевич, методист ГАОУ ДПО ЦПМ

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Вторая версия модели

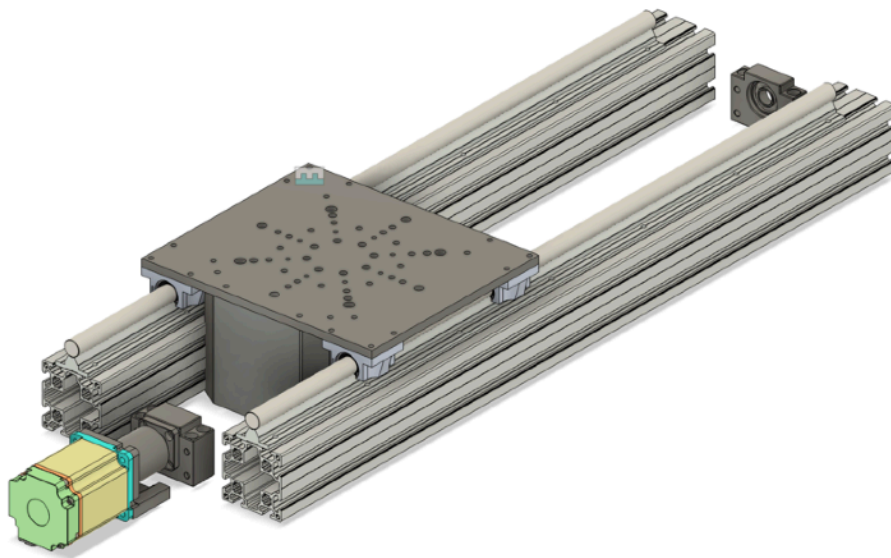


Рисунок А.1 - Общий вид модели

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Третья версия модели

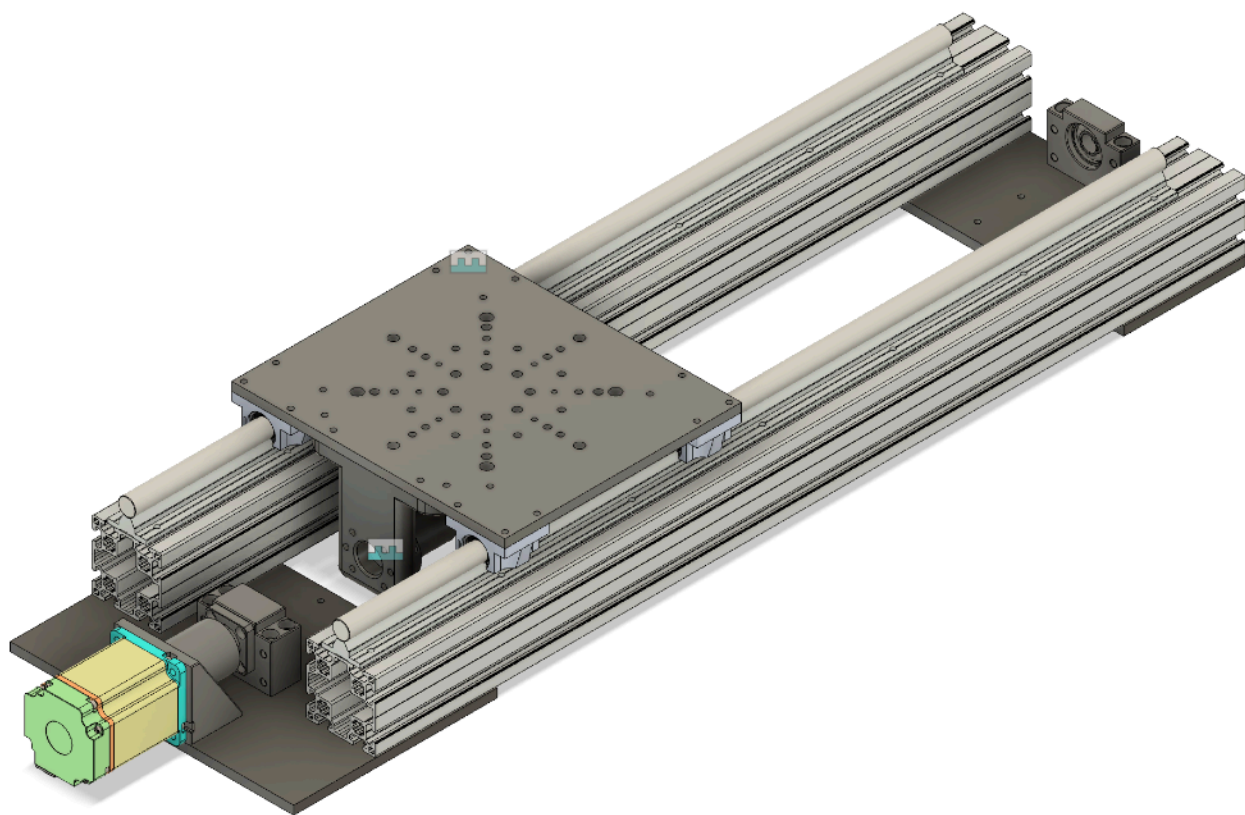


Рисунок Б.1 - Общий вид модели

ПРИЛОЖЕНИЕ В
Четвертая версия модели

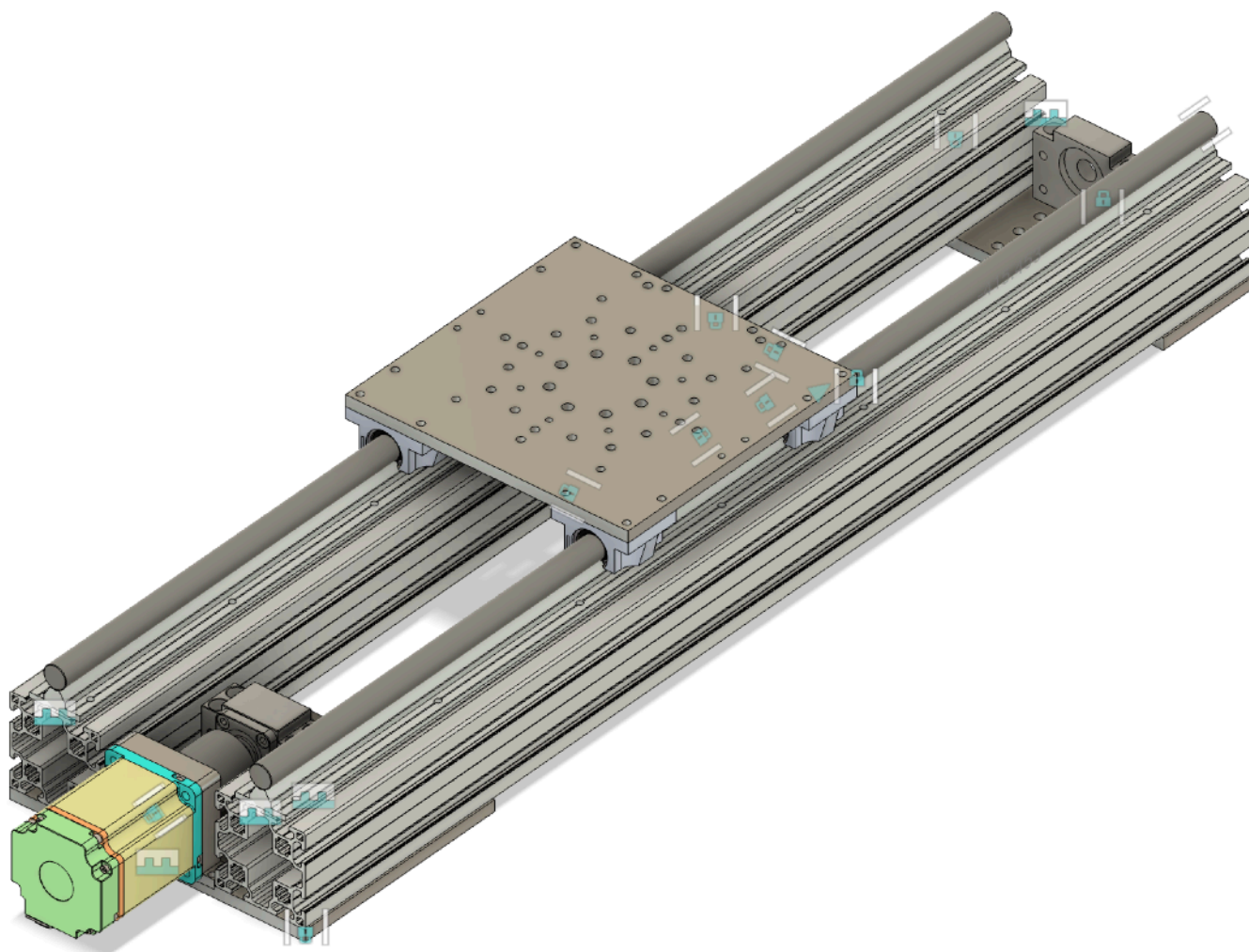


Рисунок В.1 - Общий вид модели

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Схемы электроники

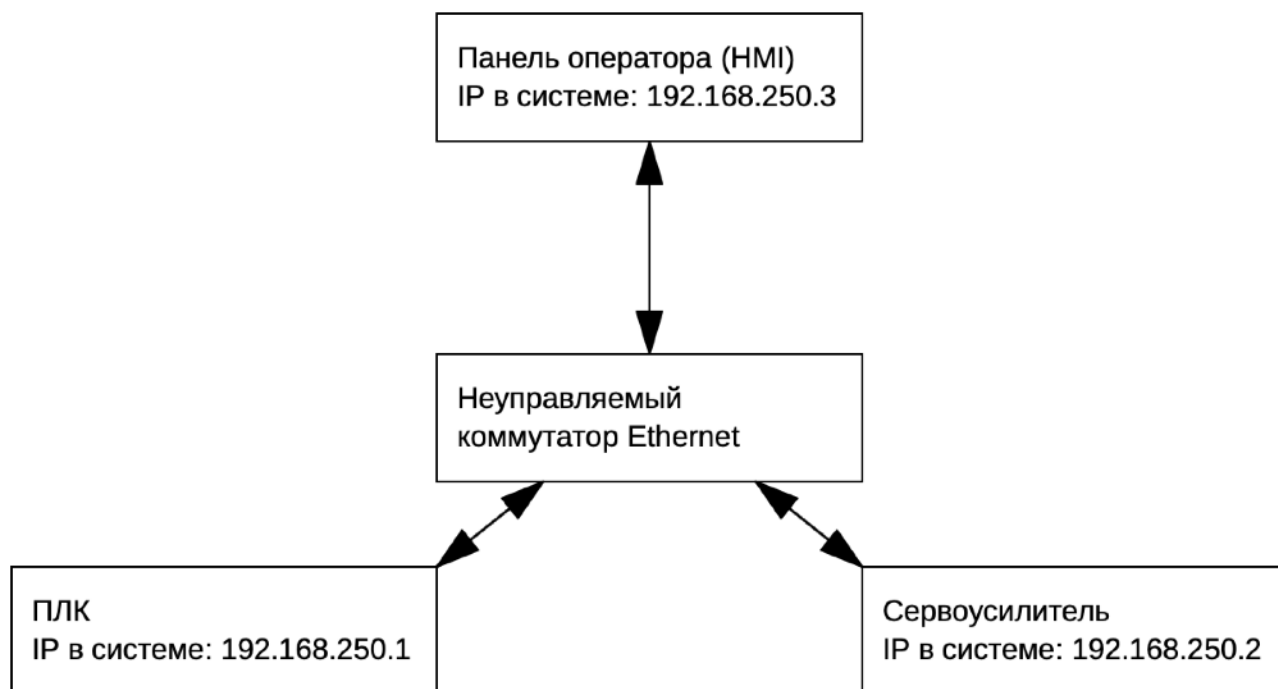


Рисунок Г.1 - Структура Ethernet сети в настоящее время

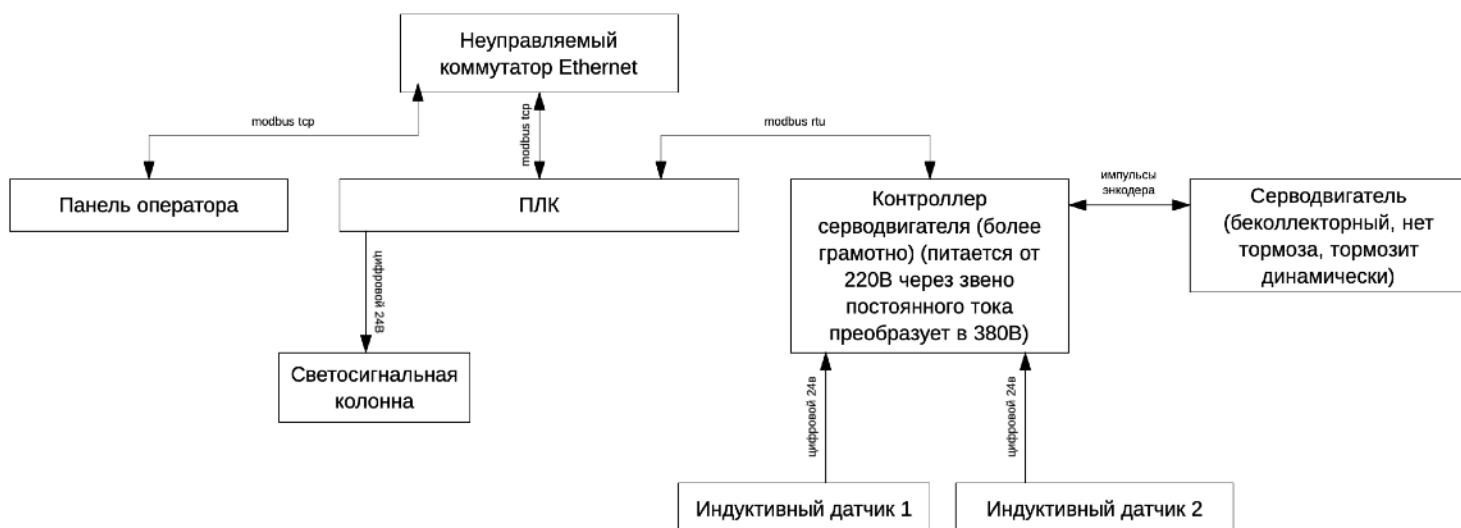


Рисунок Г.2 - Структурная схема

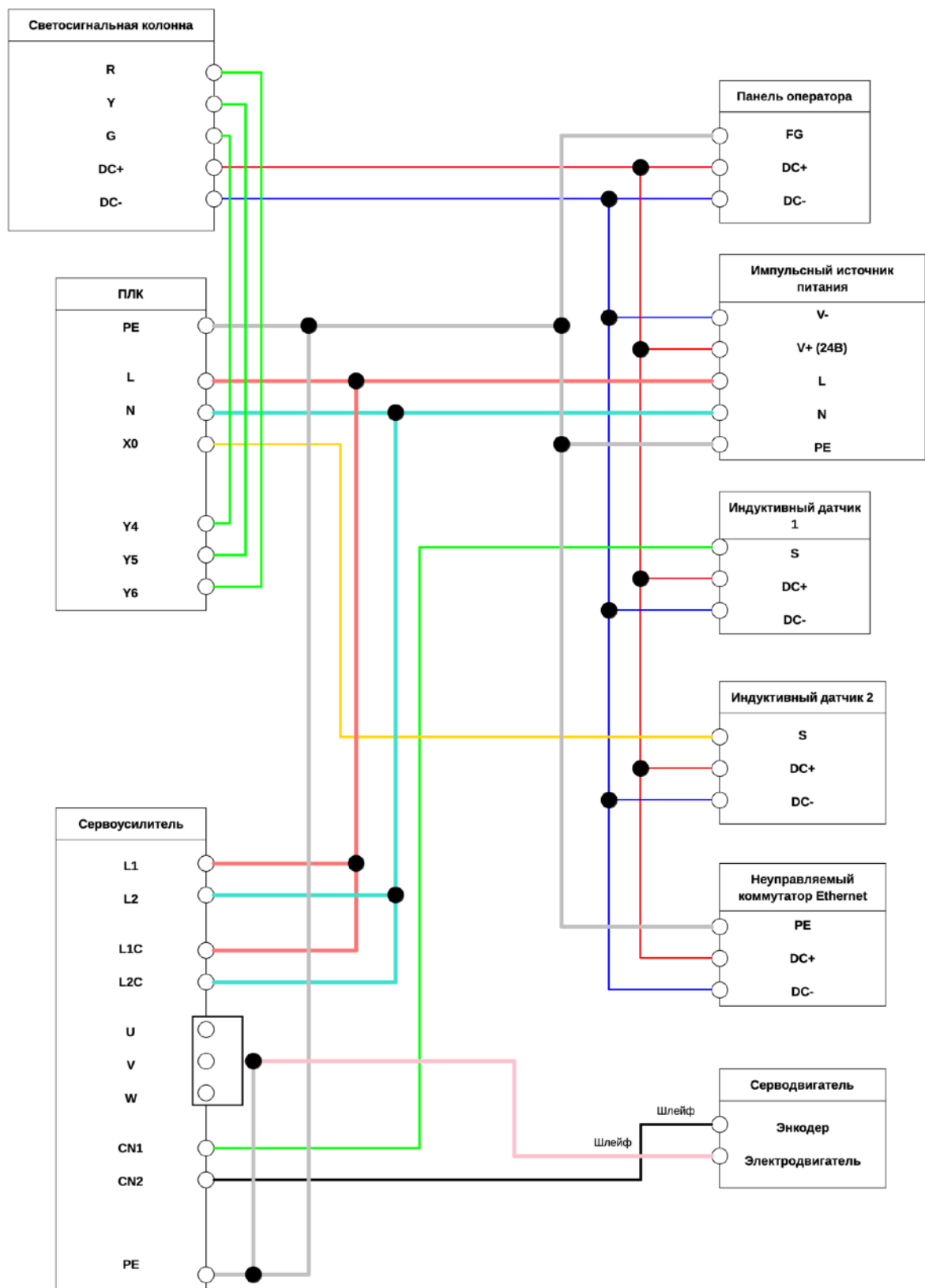


Рисунок Г.3 - Схема подключений проводов (без указания подключений ethernet)

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Настройка оборудования и программирование



Рисунок Д.1 - Пример кода на Ladder

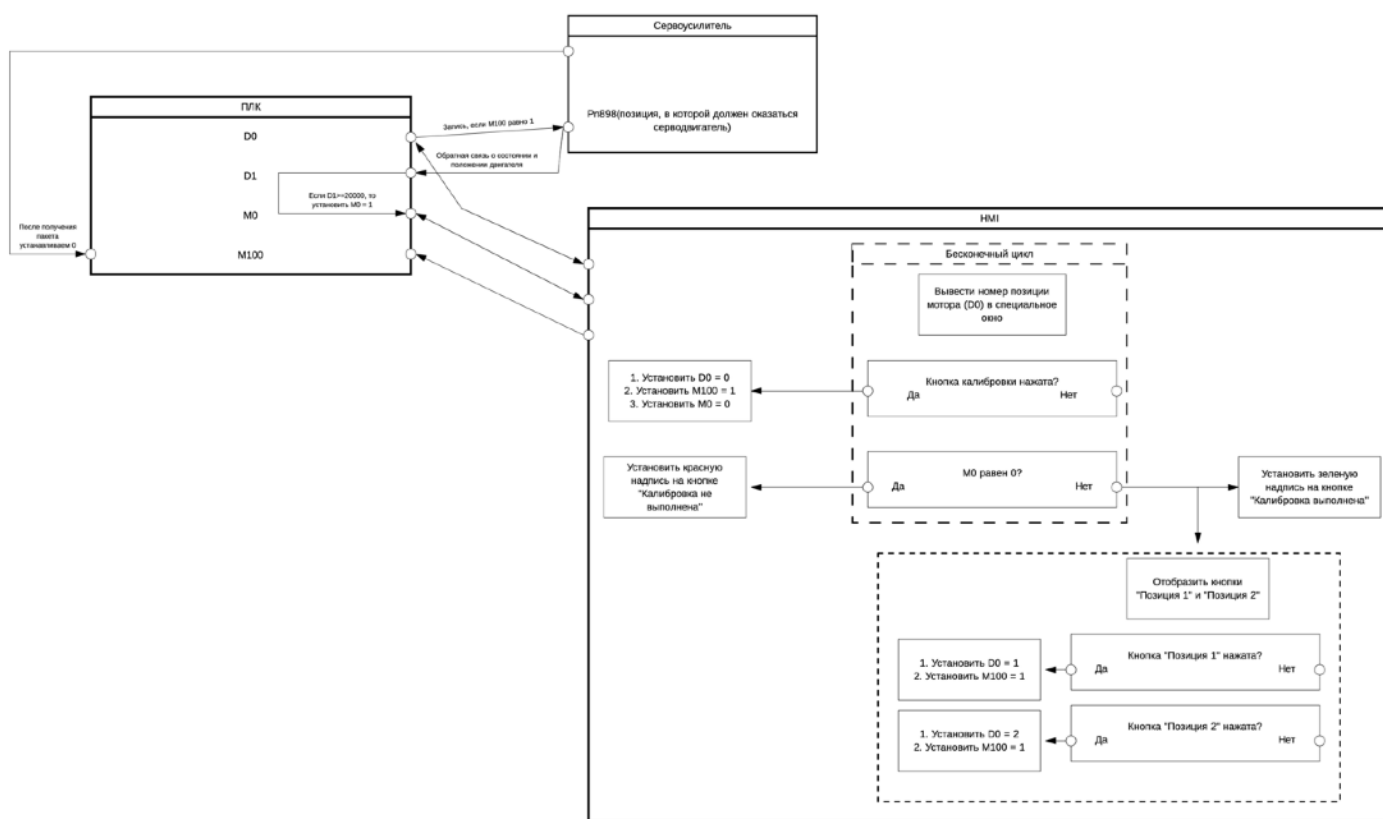


Рисунок Д.2 - Схема алгоритма

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Рецензия

PROMENERGO
АВТОМАТИКА

109029, г. Москва, ул. Скотопрогонная, д.27/26, стр. 1
тел/факс (495) 739-36-05, e-mail: mail@proenergo.ru
ИНН 7721756614

Рецензия

В период с 1 сентября 2023г. по 20 февраля 2024г. Полина Назарова проходила практику в отделе робототехники компании ООО «Промэнерго Автоматика» под моим руководством.

В начале практики Полина получила задание – разработать универсальную систему линейного перемещения для коллаборативного робота. Данная задача является актуальной во многих проектах по роботизации и автоматизации производства из нашей практики. В частности, данная система линейного перемещения позволяет расширить рабочую зону робота в операциях сварки крупногабаритных изделий, обслуживания нескольких станков с ЧПУ, укладки продукта на паллету большой высоты. В виду отсутствия на рынке готовых решений, особенно в условиях санкций, задача разработки подобной системы является крайне актуальной.

В ходе работы над проектом Полина внимательно изучила существующие решения, а также необходимую теоретическую базу. После этого был разработан концепт системы, а также правильно подобрано оборудование для решения задачи. Нестандартные изделия Полина спроектировала самостоятельно и разработала на них полный комплект чертежей, показав отличные знания CAD-систем и ЕСКД.

После изготовления деталей по чертежам Полина собрала действующий прототип системы и приступила к созданию системы управления. Для этого были разработаны программы ПЛК и HMI, а также настроен сервопривод в соответствии с параметрами собранной системы. Разработанная система управления позволяет осуществлять перемещение робота в заданную позицию, выполнять автоматическую калибровку, поддерживает функции ручного управления, а также осуществляет связь робота с системой перемещения с помощью стандартного промышленного протокола Modbus TCP. Применение стандартного протокола связи позволяет легко интегрировать полученную систему линейного перемещения с любым роботом или другим оборудованием без привязки к конкретному производителю.

В ходе работы над данным проектом Полина показала высокий уровень знаний в проектировании, электротехнике и программировании, а также способность самостоятельно изучать новые области знаний и предлагать интересные технические решения. Разработанная система линейного перемещения будет использоваться в качестве прототипа для проработки реальных проектов отдела робототехники ООО «Промэнерго Автоматика».


Руководитель отдела робототехники
ООО «Промэнерго Автоматика»



13.02.2024