

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт Механико-технологический факультет
Кафедра «Мехатроника и автоматизация»
Направление «Мехатроника и робототехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
В.Р. Гасияров

2018 г.

Усовершенствование мехатронной системы

клеямовочно-маркировочного комплекса

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА
ЮУрГУ _____ ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер
Преподаватель
Е.А. Маклакова

2018 г.

Руководитель работы
д.т.н., профессор
В.Р. Храмшин

Нормоконтролер
Ст. преподаватель
С.С. Воронин

2018 г.

Автор работы
студент группы
А.С. Мухамедьянов

2018 г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Мухамедьянов А.С. Усовершенствование мехатронной системы клеймовочно-маркировочного комплекса. – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 76 с., 19 ил. 11 табл., библиографический список – 13 наим., 3 прил.

Цель выпускной квалификационной – усовершенствование мехатронной системы клеймовочно-маркировочного комплекса.

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Замена двигателя, преобразователя частоты, программируемого логического контроллера и элементов автоматизации;
2. Построение диаграмм, тахограмм, электрических принципиальных схем;
3. Моделирование переходных процессов в программе Matlab Simulink;
4. Разработка программы в Tia Portal.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	10
1.1 Описание технологического процесса цеха ТПЦ №1	10
1.2 Описание технологического процесса КМК КСТ-1	12
1.3 Оборудования, входящие в состав комплекса, и принцип работы	12
2 ПОСТАНОВКА ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ ПРОЕКТА	16
3 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ	17
3.1 Технические данные клеймовочно-маркировочной машины.	17
3.3 Выбор электродвигателя	27
3.4 Выбор редуктора	29
3.5 Приведение статических моментов	30
4 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРЕВУ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	35
5 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	40
6 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	41
6.1 Расчет параметров двигателя	41
6.2 Предварительная настройка параметров регуляторов	42
6.3 Модель САР электропривода. Графики переходных процессов	47
7 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	51
7.1 Выбор оборудование автоматизации для измерителя ИДТ, ВТТ, КММ.	51
8 АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ..	61
8.1 Описание технологического процесса	61
8.2 Разработка функциональной схемы автоматизации.	62

8.3 Разработка программы в программной среде TIA Portal.....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	67
Приложение А БЛОК-СХЕМЫ АЛГАРИТМОВ ПОДПРОГРАММ 2-ГО И 3-ГО.....	69
Приложение Б ТЕГИ И ПОДПРОГРАММЫ	72
Приложение В ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА	77

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед каждым современным предприятием остро стоит проблема конкуренции. Для повышения конкурентоспособности продукции необходимо решить проблему повышения эффективности производства. Последнее обеспечивается не только за счет технической модернизации, но и за счет совершенствования механизмов управления предприятием посредством, например, организации оперативного и точного контроля над хранением, транспортировкой и реализацией товаров. Без получения достоверной информации о передвижении товара с конвейера до склада, о его продаже, невозможно обеспечить эффективную ежедневную работу предприятия (подготовку документов, повышение точности расчетов, управление движением товаров, управление производственными запасами и выпуском продукции и т.д.), невозможно высококачественное обслуживание партнеров по бизнесу.

Основным механизмом повышения достоверности информации о каждой единице продукции, находящейся в производственном цикле, является система промышленной маркировки продукта, включающая в себя оборудование, предназначенное для получения конечной информации о продукте (например, о весе изделия) и непосредственно оборудование для маркировки.

Достоверность и своевременное получение информации о продукте позволяет предприятию уверенно рассчитывать на успех в своей сфере деятельности, имея перспективы дальнейшего развития бизнеса.

В каждой отрасли промышленности существуют стандарты, устанавливающие требования, к маркировке продукции. Не исключение – трубопрокатное производство.

Одной из крупнейших отечественных компаний-производителей трубной продукции является промышленная группа ЧТПЗ.

Базовым предприятием трубного дивизиона группы «ЧТПЗ» является ОАО «Челябинский трубопрокатный завод», который производит продукцию для российских и мировых компаний топливно-энергетического комплекса: трубы, соединительные детали трубопроводов (СДТ), а также трубопроводную арматуру (ТПА).

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1 Описание технологического процесса цеха ТПЦ №1

Описание технологического процесса цеха на рисунке 1.1:

- 1) Пришедшие заготовки нарезают на слитки определённой длины.
- 2) Слитки сортируются в зависимости от размеров и марки стали.
- 3) Нужные слитки отправляются в методическую печь, где разогреваются при температуре 1300 °С.
- 4) Разогретый слиток подаётся на прошивочный стан при помощи рольганга, где прошивается под определённый диаметр.
- 5) Прошитая заготовка отправляется на пилигримовый стан, где при помощи форголлера пробивается через вращающиеся валки с переменным сечением. В итоге заготовка вытягивается и приобретает форму готовой трубы. Форма приобретает за счёт подобранных размеров дорна и валков.
- 6) Вытянутая заготовка нарезается на трубы определённой длины на дисковой пиле горячей резки. Предварительно обрезаются концы заготовки.
- 7) Далее трубы направляются либо в роликовую печь для разогрева перед калибровкой, либо сразу в холодильник. Калибровка трубы производится в разогретом состоянии при помощи калибровочных валков. После чего так же направляется в холодильник.
- 8) После охлаждения труба поступает на правильную машину, где при помощи косых роликов выправляется до идеально прямой формы.
- 9) Труба через передаточную решётку подаётся на инспекционный стол. Здесь производится первичный контроль труб: электромагнитный неразрушающий контроль, ультразвуковой неразрушающий контроль.
- 10) После первичного контроля труб они поступают на площадку наружного или внутреннего ремонта: термическая обработка труб, нанесение фасок, испытание гидропрессом и маркировка труб.

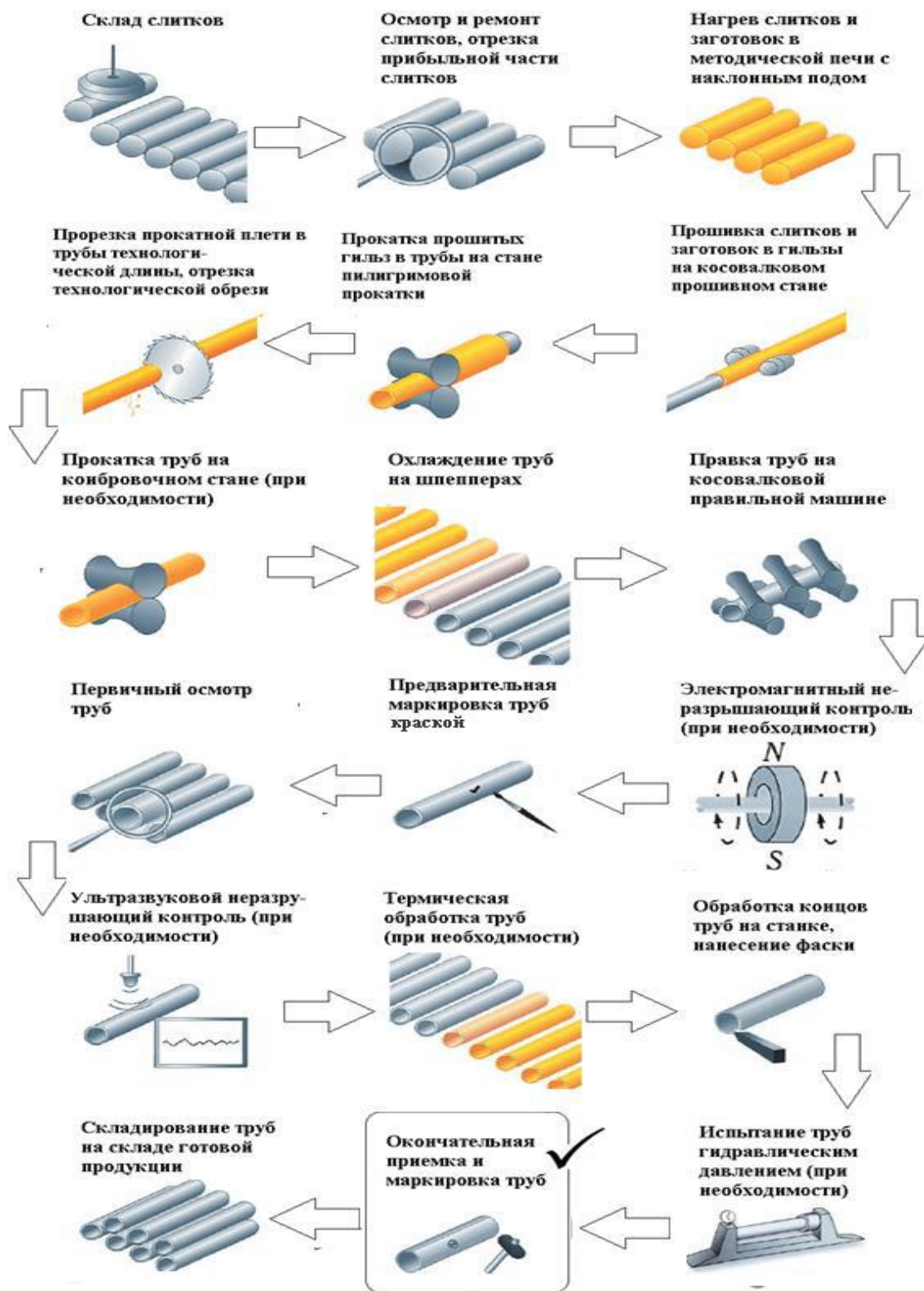


Рис.1.1 – Описание технологического процесса цеха

1.2 Описание технологического процесса КМК КСТ-1

Клеймовочно-маркировочный комплекс КСТ-1 предназначен для взвешивания и измерения длины трубы и нанесения надписей на наружной поверхности труб.

В состав КМК КСТ-1 входят: установка клеймения и маркировки УКМ337, измеритель длины труб ИДТ-4, весы тензометрические МК2-С3-2Т и гидростанция.

Технологический процесс комплекса:

- 1) при поступлении трубы на начальную позицию, осуществляется загрузка трубы гидроцилиндрами на позицию взвешивания и измерения длины;
- 2) выдаются команды на измерение длины и веса;
- 3) принимается информация о длине и массе трубы;
- 4) вычисляется вес погонного метра трубы и по результатам сравнения его с допуском труба либо бракуется, либо начинается ее маркировка;
- 5) УКМ337 наносит товарные надписи на трубу клеймением и краской (информация для надписей формируется по результатам взвешивания, измерения длины и информацией, введенной оператором в ручную в соответствии с технологической инструкцией);
- б) по завершении маркировки КМК выдает команду на удаление трубы с позиции маркировки и ожидает сигнал на обработку следующей трубы.

1.3 Оборудования, входящие в состав комплекса, и принцип работы

1) Измеритель длины труб ИДТ-4.

Предназначен для измерения длины труб и выдачи информации в систему управления КМК.

Измеритель длины состоит из двух частей: левой и правой. В составе каждой из них входит электромеханическая тележка, управляемая компьютером через усилители, расположенные в шкафах управления. На направляющих измерителя расположены конечные выключатели, ограничивающие ход тележек.

На самих тележка расположены щетки, фиксирующие торец трубы. Направляющие устанавливаются с двух сторон позиции измерения длины.

На левой тележке расположен лазерный дальномер, а на правой тележке расположен экран для приема луча лазера. Внутри корпуса тележки установлен двигатель постоянного тока. На валу двигателя имеется тормозное устройство.

Измеритель ИДТ-4 работает следующим образом: тележки находятся в исходном положении; труба укладывается транспортирующим устройством на позицию измерения длины. Дается команда на схождение тележек. В момент контакта упоров тележек с торцом трубы, дается команда остановки тележек и команда считывания показаний лазерного измерителя. После снятия показаний дается команда возвращения тележек в исходное положение и измеритель ИДТ-4 готов к следующему измерению.

2) Тензометрические весы МК2-СЗ-2Т.

Предназначены для взвешивание массы трубы и выдачи информации в систему КМК.

Принцип действия весов основан на преобразовании массы трубы в нормированный электрический сигнал, впоследствии сигнал обрабатывается вторичным преобразователем (весовой терминал) в цифровой код.

Весы состоят из грузоподъемной платформы, которая опирается на четырех тензодатчиках, закрепленных на раме. Рама вместе с грузоподъемной платформой поднимается гидроподъемниками, питаемых от гидростанции.

Принцип работы весов: труба укладывается транспортирующим устройством на промежуточную платформу; по команде оператора гидроподъемники поднимают грузоподъемную платформу, труба снимается с промежуточной платформы и после завершения подъема измеряется массы трубы. По окончании измерения, гидроподъемники опускают грузоподъемную платформу в исходное состояние. Труба укладывается на промежуточные платформу и происходит выгрузка транспортирующим устройством.

3) Устройство клеймения, маркировки.

УКМ состоит из блока форсунок и блока ударников. Управляющий сигнал с ЭВМ подается на двигатель УКМ через преобразователь частоты ППЧ105.

ПЧ предназначен для пуска двигателя, реверса, остановки и задания скорости. Рабочая скорость – 1,5 м/с, скорость маркировки – 0,6 м/с, скорость клеймовки – 0,2 м/с.

На трубе помечены диаметр трубы, номер трубы, номер плавки, группа прочности, месяц и год. На рисунке 1.2 показан пример маркировки и клеймовки.

Стандарт	Пример нанесения надписей
ОБСАДНАЯ	
ГОСТ632-80 ОТТМ	Клеймовка – 426_123456_Д_11_#_04.05 Маркировка – 426_Д_11_1164_1340
ТУ14-3-1575-88 ТРЕУГОЛЬНАЯ	Клеймовка – 426_123456_Д_11_#_04.05_234567_1164_ОТК Маркировка – 426_x11_1164_#_234567_ТУ14-3-1575-88
ТУ14-158-121-2002 БАТРЕСС	Клеймовка – #_426_123456_234567_Д_11_04.05_ОТК Маркировка – #_426_Д_x11_1164_1340_ОТБТ_234567
НЕФТЯНАЯ	
	Клеймовка – 273_x11_СТ20_ТУ14-3_L-1164
	Маркировка – #_273_x11_СТ20_ТУ1473_L-1164_NTP123456

Рисунок 1.2 – Пример маркировки и клеймовки

Блока ударников БУ323 конструктивно состоит из 7 электропневматических ударных устройств, расположенных в сборном из 2-х частей металлическом корпусе. Каждое ударное устройство состоит из электропневматического клапана, рабочего цилиндра и ударника.

Принцип действия одного ударника: когда ток в катушке электромагнита отсутствует, ударник с помощью воздушной пружины (давления воздуха в нижней камере) поднят в верхнее положение. При подаче напряжения на катушку электромагнита, в верхнюю полость цилиндра поступает воздух, ударник перемещается вниз и производится удар по трубе.

Принцип работы блока форсунок БФ044.1. Форсунка состоит из двух сопел: по одному из них подается распыляемый лакокрасочный материал, по другому — воздух.

Краска, вытекающая с небольшой скоростью из сопла, подхватывается струей воздуха, движущегося со скоростью 300 м/с, и смешивается с ним за пределами форсунки. Большая скорость движения воздуха по отношению к скорости движения краски обеспечивает дробление ее на капельки очень мелких размеров.

Принцип нанесения точки – инъекционный. Сжатый воздух поступает на машину через баки отстойников (ресиверов). Необходимо вначале каждой смены и периодически вручную сбрасывать конденсат, открывая вентили внизу ресиверов. При наличии воды в воздухе начинает отказывать пневмооборудование. Для удаления эмульсии, оставшейся на трубе после гидропресса, предусмотрен обдув трубы сжатым воздухом. Капля краски при кратковременном включении электроклапана форсунки попадает в вихревой поток воздуха, распыляется на мелкие капельки, и этот «туман» из краски попадает на поверхность трубы. Время высыхания от 3 до 10 сек. Форсунки краски – съемные модули, так называемые «кубики». Это позволяет при необходимости быстро заменить их.

Предусмотрены режимы промывки форсунок краски растворителем. При включении комплекса перед маркировкой форсунки автоматически продуваются растворителем. Канал растворителя – это вспомогательный канал и в случае острой необходимости комплекс может работать и без него, необходимо лишь чаще следить за чистотой (отсутствием краски) в нижних колпачках форсунок. При появлении в колпачках краски нарушается геометрия точки. При плохой работе канала растворителя в колпачке снизу форсунки накапливаются и не смываются остатки краски, что может привести к неравномерности написания точек. Давление в бачке с растворителем достаточно – 0,5 атм.

2 ПОСТАНОВКА ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ ПРОЕКТА

Цель магистерской диссертации заключается в совершенствовании мехатронной системы клеймовочно-маркировочного комплекса для труб КСТ-1. Совершенствование системы должна повысить стабильность, производительность и точность работы КСТ-1, упростить и облегчить управление технологическим процессом для оператора, сохранив при этом структуру и функциональные возможности комплекса.

Для решение цели выполним ряд задач:

1. Полная замена системы управления на Siemens, так как предыдущая система управления устарела. Полное отсутствие наблюдения за пошаговой работой программы в режиме реального времени.
2. Замена двигателя для устройства маркировки и клеймения на серию АИР. Простота конструкции, отличная ремонтпригодность, невысокая цена.
3. Замена оборудования автоматизации на более современные, так как запасные части вышли из производства, что делает ремонт комплекса практически невозможным.
4. Подобрать преобразователь частоты.
5. Подготовить модель в программной среде Simulink Matlab.
6. Разработка программы в TIA PORTAL.

3 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

3.1 Технические данные клеймовочно-маркировочной машины.

Таблица 3.1 – Технические данные клеймовочно-маркировочной машины

Наименование показателей	Величина
Номинальная скорость движения	1,5
Номинальная скорость маркировки, м/с	0,6
Номинальная скорость клеймения, м/с	0,2
Масса устройства для нанесения меток на трубах, кг	320
Масса рамы, кг	350

Принять:

$a_{\text{доп}} = 1 \text{ м/с}^2$ – допустимое ускорение;

$d_{\text{ст}} = 0,25 \cdot D_{\text{к}}$ – диаметр ступицы шкива;

$\mu_{\text{п}} = 0,015 \dots 0,02$ – коэффициент трения скольжения;

$k_{\text{тр}} = 1,3$ – коэффициент, учитывающий трение подшипников при движении по направляющим.

3.2 Нагрузочные диаграммы

Дальнейший расчет выполняется в соответствии с [1].

Время пуска $t_{\text{п}}$ до установившейся скорости с допустимым ускорением, торможения $t_{\text{т}}$ от установившейся скорости до остановки:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{т}} = \frac{v_y}{a}, \quad (1)$$

где v_y – заданная скорость движения, м/с;

a – допустимое ускорение, м/с².

В соответствии с формулой (1) при движении к позиции начала маркировки:

$$t_{n1} = \frac{1,5}{1} = 1,5 \text{ с.}$$

При торможении к позиции начала маркировки:

$$t_{n1} = \frac{1,5}{1} = 1,5 \text{ с.}$$

При маркировки:

$$t_{n2} = \frac{0,6}{1} = 0,6 \text{ с,}$$

$$t_{n1} = \frac{0,6-0,2}{1} = 0,4 \text{ с.}$$

При клеймовки:

$$t_{n3} = \frac{0,2}{1} = 0,2 \text{ с.}$$

При реверсе к начальной позиции:

$$t_{n4} = t_{n1} = 1,5 \text{ с,}$$

$$t_{r4} = t_{r1} = 1,5 \text{ с.}$$

Путь КММ за время пуска и торможения:

$$L_{\pi} = L_{\tau} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}}, \quad (2)$$

По формуле (2) при движении к позиции начала маркировки:

$$L_{\pi1} = L_{\tau1} = \frac{1,5^2}{2 \cdot 1} = 1,125 \text{ м.}$$

При маркировке:

$$L_{\pi2} = \frac{0,6^2}{2 \cdot 1} = 0,18 \text{ м.}$$

Торможение до клеймовочной скорости:

$$L_{\tau2} = \frac{(0,6 - 0,2)^2}{2 \cdot 1} = 0,08 \text{ м.}$$

При клеймовки:

$$L_{\tau3} = \frac{0,2^2}{2 \cdot 1} = 0,02 \text{ м.}$$

При реверсе к начальной позиции:

$$L_{n4} = L_{r4} = \frac{1,5^2}{2 \cdot 1} = 1,125 \text{ м.}$$

Время установившегося режима движения:

$$t_y = \frac{L - (L_n + L_m)}{v_y}, \quad (3)$$

где L – пройденный путь, м.

В соответствии с формулой (3) для движения к позиции начала маркировки:

$$t_{y1} = \frac{12,7 - (1,125 + 1,125)}{1,5} = 6,9 \text{ с.}$$

Для маркировки:

$$t_{y2} = \frac{0,6 - (0,18 + 0,08)}{0,6} = 0,4 \text{ с.}$$

Для клеймовки:

$$t_{y3} = \frac{0,3 - 0,02}{0,2} = 1,3 \text{ с.}$$

Для реверса к начальной позиции:

$$t_{y4} = \frac{11,6 - (1,125 + 1,125)}{1,5} = 6,2 \text{ с.}$$

Найдём время паузы:

$$t_{\Pi} = 40 - (6,9 + 6,2 + 0,4 + 1,3 + 6 + 0,12 + 0,4) = 17,8 \text{ с.}$$

Расчёт статических моментов КММ.

Момент сил трения в подшипниках барабана:

$$M_{\text{тр}} = \frac{m_{\text{П}} \cdot d_{\text{СТ}} \cdot \mu \cdot g}{2}, \quad (4)$$

где $m_{\text{П}}$ – масса деталей и узлов, опирающихся на подшипники, кг;

$d_{\text{СТ}}$ – диаметр шейки вала или оси, м;

μ – коэффициент трения скольжения в подшипниках;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ускорение силы тяжести.

В соответствии с формулой (4) момент сил трения в подшипниках барабана:

При движении установка клейменения и маркировки(УКМ):

$$M_{\text{тр1}} = \frac{(m_y + m_p) \cdot d_{\text{ст}} \cdot \mu \cdot g}{2} = \frac{(320 + 350) \cdot 0,095 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 12,48 \text{ Нм.}$$

Момент силы тяжести:

$$M_{\text{ст}} = \frac{m \cdot g \cdot D}{2}, \quad (5)$$

где m – масса установки, кг;

D – диаметр шкива, м.

При движении УКМ:

$$M_{\text{ст}} = \frac{m_y \cdot g \cdot D}{2} = \frac{320 \cdot 9,81 \cdot 0,17}{2} = 266,6 \text{ Нм.}$$

Суммарный статический момент рабочего органа:

При движении УКМ:

$$M_{\text{рост}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{ин}} = 266,6 + 12,48 = 279,31 \text{ Нм.}$$

Расчёт динамических моментов рабочей машины:

Определим момент инерции шкива:

$$J_{\text{ш}} = m_{\text{ш}} \cdot \frac{D_6^2}{4}, \quad (6)$$

где $m_{\text{ш}}$ – масса шкива, кг;

D_6 – диаметр барабана, м.

Массу шкива определим по формуле:

$$m_{\text{ш}} = \rho \cdot l \cdot \frac{\pi \cdot D_6^2}{4}, \quad (7)$$

где $\rho = 7800 \text{ (кг/м}^3\text{)}$ – плотность железа;

$l = 0,1 \text{ (м)}$ – длина барабана.

$$m_{\text{ш}} = 7800 \cdot 0,1 \cdot \frac{\pi \cdot (0,17)^2}{4} = 17,7 \text{ кг.}$$

По формуле (6) найдем момент инерции шкива:

$$J_{\text{ш}} = 17,7 \cdot \frac{0,17^2}{4} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Определим момент инерции рабочего органа:

$$J_{PO} = J_{Ш} + m \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (8)$$

При движении:

$$J_{PO1} = J_{Ш} + (m_r + m_k) \cdot \frac{D^2}{4} = 0,12 + (350 + 320) \cdot \frac{0,17^2}{4} = 4,96 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При заданной величине допустимого ускорения определим динамические моменты при движении.

При движении с грузом:

$$M_{РОДИН} = J_{PO1} \cdot \frac{2 \cdot a}{D} = 4,96 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,17} = 58,35 \text{ Нм}.$$

Полный момент рабочей машины найдём по формуле (9):

$$M_{PO} = M_{РОСТ} + M_{РОДИН} \quad (9)$$

Первый участок – разгон УКМ:

$$M_{PO1} = M_{РОСТ} + M_{РОДИН} = 279,31 + 58,35 = 337,66 \text{ Нм};$$

Второй участок – равномерное движение УКМ:

$$M_{PO2} = M_{РОСТ} = 279,31 \text{ Нм};$$

Третий участок – торможение УКМ до полной остановки:

$$M_{PO3} = M_{POCT} - M_{POДИН} = 279,31 - 58,35 = 220,96 \text{ Нм};$$

Четвертый участок – разгон УКМ при маркировке:

$$M_{PO4} = M_{POCT} + M_{POДИН} = 279,31 + 58,35 = 337,66 \text{ Нм};$$

Пятый участок – равномерное движение при маркировке:

$$M_{PO5} = M_{POCT} = 279,31 \text{ Нм};$$

Шестой участок – торможение при маркировке до клеймовочной скорости:

$$M_{PO6} = M_{POCT} - M_{POДИН} = 279,31 - 58,35 = 220,96 \text{ Нм};$$

Седьмой участок – равномерное движение при клеймовки:

$$M_{PO7} = M_{POCT} = 279,31 \text{ Нм};$$

Восьмой участок – торможение при клеймовки:

$$M_{PO8} = M_{POCT} - M_{POДИН} = 279,31 - 58,35 = 220,96 \text{ Нм};$$

Девятый участок – разгон при движение на начальную позицию:

$$M_{PO9} = M_{POCT} + M_{POДИН} = 279,31 + 58,35 = 337,66 \text{ Нм};$$

Десятый участок – равномерное движение на начальную позицию:

$$M_{PO10} = M_{POCT} = 279,31 \text{ Нм};$$

Одиннадцатый участок – торможение до полной остановки:

$$M_{PO11} = M_{POCT} - M_{POДИН} = 279,31 - 58,35 = 220,96 \text{ Нм};$$

По рассчитанным значениям моментов на каждом участке можно найти среднеквадратичное значение момента:

$$M_{СРКВ} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^m M_K^2 \cdot t_K}{\sum_{K=1}^m t_K}}, \quad (10)$$

где M_K – момент на K -м участке, Нм;

t_K – длительность K -го участка, с.

Получаем значение момента по формуле (10):

$$M_{СРКВ} = \sqrt{\frac{337,66^2 \cdot 3,8 + 279,31^2 \cdot 14,8 + 220,96^2 \cdot 3,8}{22,2}} = 300,03 \text{ Нм}.$$

Тогда мощность двигателя определяется:

$$P_{ДВ} = k_1 \cdot M_{СРКВ} \cdot \frac{2 \cdot v_0 \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{ПВ_{кат}}}}{D}, \quad (11)$$

где $k_1 = 1.3 \dots 1.5$ – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электропривода, то есть двигателем, редуктором, а также потери в редукторе;

D – диаметр колеса тележки, м;

v_0 – основная скорость движения, м/с;

$PВ_{\phi}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого привода.

$$PВ_{\phi} = \frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{k=1}^m t_k \cdot 100\%. \quad (12)$$

В соответствии с формулой (10):

$$PВ_{\phi} = \frac{22,2}{40} \cdot 100\% = 55,5\%,$$

где $PВ_{кат}$ – ближайшее к $PВ_{\phi}$ каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателей выбранной серии.

Фактическое значение $PВ$ рассчитаем, зная длительность времени работы t_k на всех участках движения к заданному времени цикла:

$$t_{ц} = \frac{3600}{z}, \quad (13)$$

где $z = 40$ число циклов работы машины в час.

$$t_{ц} = \frac{3600}{90} = 40 \text{ с.}$$

Выбираем ближайшее $PВ$, то есть $PВ_{кат} = 60$.

Мощность двигателя по формуле (9):

$$P_{дв} = 1,5 \cdot 300,03 \cdot \frac{2 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{\frac{55,5}{60}}}{0,17} = 7485,42 \text{ Вт.}$$

Предварительные нагрузочные диаграммы приведены на рисунке 2.1

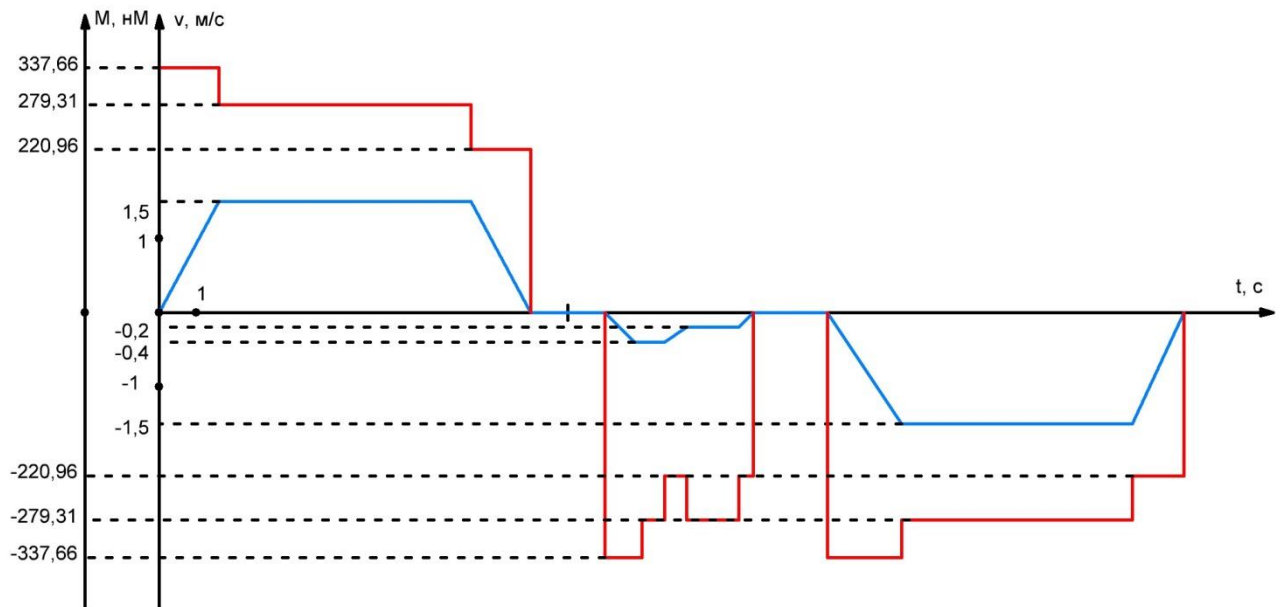


Рисунок 3.1 –Тахограмма и нагрузочная диаграмма

3.3 Выбор электродвигателя

Выбор рода тока и типа электропривода целесообразно производить на основе рассмотрения и сравнения технико-экономических показателей ряда вариантов, удовлетворяющих техническим требованиям данной рабочей машины. На основании исходных данных и требований, предъявляемых к электроприводу, необходимо выбрать вариант электропривода, способный полностью выполнить требования и быть одновременно максимально экономичным.

Выбор двигателя для проектируемого электропривода включает в себя:

- а) выбор по мощности;
- б) выбор двигателя по скорости приводного вала;
- в) выбор по режиму работы и по климатическим условиям .

Выбираем двигатель так, чтобы значение его мощности при $P_{В,кат}$ было бы равно или больше мощности $P_{дв}$.

Выбираем двигатель крановый электродвигатель с короткозамкнутым ротором АИР 132 S4, режим ПВ = 40%.

Каталожные данные двигателя представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Каталожные данные двигателя АИР 132 S4

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
P_H	Мощность на валу номинальная при ПВ=40%	кВт	7,5
n_H	Частота вращения номинальная	об/мин	1500
I_H	Номинальный ток статора	А	12,5
U_H	Номинальное напряжение статора	В	380
M_{MAX}	Максимальный момент	Нм	98,5
$M_{П}$	Пусковой момент	Нм	78,8
$J_{дв}$	Момент инерции	кг·м ²	2500
η	КПД	%	87,5
$\cos(\phi)$	Коэффициент мощности		0,86

3.4 Выбор редуктора

Передаточное число редуктора определим по известной номинальной скорости вращения выбранного электродвигателя и по основной скорости рабочего органа:

$$j_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_0}, \quad (14)$$

где ω_n – номинальная скорость вращения двигателя;

D – диаметр шкива, преобразующего вращательное движение вала в поступательное;

v_0 – основная скорость рабочего органа.

Передаточное число рассчитывается по формуле (12):

$$j_p = \frac{1500 \cdot 0,17}{2 \cdot 1,5 \cdot 9,55} = 8,9$$

Выбираем редуктор, исходя из того, что передаточное число должно быть равным или меньшим рассчитанного, при этом должны быть учтены условия работы механизма, номинальная мощность и скорость двигателя.

Выбрали редуктор одноступенчатый червячный 1Ч-63А. Каталожные данные редуктора представлены в таблице 2.3;

Таблица 3.3 – Каталожные данные редуктора 1Ч-63А

Наименование технических характеристик	Значение
Передаточное число, j_p	8
КПД, η_p	0,89

3.5 Приведение статических моментов

После выбора электродвигателя и редуктора, а также после расчета моментов сопротивления можно привести статические моменты системы к валу двигателя, воспользовавшись формулой (13):

$$M_{PC} = \frac{M_{POCT}}{j_p}, \quad (15)$$

где M_{POCT} – статический момент рабочей машины, Нм;

j_p – передаточное отношение выбранного редуктора.

При движении УКМ:

$$M_{PC} = \frac{M_{POCT}}{j_p} = \frac{337,66}{8} = 42,2 \text{ Нм.}$$

Тогда статический момент на валу двигателя в двигательном режиме:

$$M_{двс} = \frac{M_{PC}}{\eta_p} = \frac{42,2}{0,89} = 47,4 \text{ Нм.} \quad (16)$$

где η_p – коэффициент полезного действия выбранного редуктора.

В тормозных режимах момент рассчитывается по формуле:

$$M_{ТВС} = M_{PC} \cdot \eta_p = 42,2 \cdot 0,89 = 37,5 \text{ Нм.} \quad (17)$$

Это связано с тем, что энергия поступает с вала двигателя и за вычетом потерь в передаче поступает на двигатель.

Приведенные статические моменты системы электропривод – рабочая машина рассчитывают для каждого участка с учетом режима работы привода:

$$M_C = M_{BC} + M_{XX}, \quad (18)$$

где M_{XX} – момент потерь холостого хода двигателя, Нм.

Принимаем M_{XX} равным 5% от номинального:

$$M_{XX} = \frac{P_H}{n_H} \cdot 9,55 \cdot 0,55 = \frac{7500 \cdot 9,55 \cdot 0,05}{1500} = 2,39 \text{ Нм}. \quad (19)$$

Двигательный режим:

$$M_{ДС} = M_{ДВС} + M_{XX} = 47,4 + 2,39 = 49,79 \text{ Нм}.$$

Тормозной режим:

$$M_{ТС} = M_{ТВС} - M_{XX} = 37,5 - 2,39 = 35,11 \text{ Нм}.$$

Необходимо привести моменты инерции всей системы к валу двигателя для того, чтобы заменить систему на эквивалентную.

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_{ДВ} + J_{ПР}, \quad (20)$$

где $J_{ПР}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно и вращательно движущихся частей системы, кг·м²;

$J_{ДВ}$ – момент инерции ротора выбранного двигателя, кг·м²;

δ – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных моментов электропривода: тормозного шкива, муфт, редуктора, и т.д. ($\delta=1,3\dots 1,5$).

Приведенный момент инерции рабочей машины к валу двигателя:

$$J_{\text{пр}} = \frac{J_{\text{рО}}}{j_{\text{р}}^2} \quad (21)$$

Суммарный приведенный момент инерции при движении с грузом согласно формуле (20):

При движении:

$$J = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{рО}}}{j_{\text{р}}^2} = 1,5 \cdot 0,028 + \frac{4,96}{8^2} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Рассчитаем пусковые и тормозные моменты двигателя, которые требуются для разгона и торможения привода.

Пусковой момент:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{с}} + M_{\text{дин}}, \quad (22)$$

где $M_{\text{с}}$ – статический момент сопротивления движению, Нм;

$M_{\text{дин}}$ – динамический момент, Нм.

Динамический момент рассчитываем по формуле:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_{\text{р}}}{D}, \quad (23)$$

где a – допустимое ускорение при пуске и торможении, $\text{м}/\text{с}^2$;

D – диаметр шкива, преобразующей вращение в поступательное движение, м;

J – приведенный момент инерции привода, кг·м².

Динамический момент при движении с грузом по формуле (23):

$$M_{\text{дин}} = 0,12 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 8}{0,17} = 11,3 \text{ Нм.}$$

Пусковой момент:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{дс}} + M_{\text{дин}} = 49,79 + 11,3 = 61,09 \text{ Нм.}$$

Тормозной момент:

$$|M_{\text{т}}| = |M_{\text{дин}}| - M_{\text{с}}, \quad (24)$$

При движении с грузом по формуле (22):

$$|M_{\text{т}}| = 11,3 - 35,11 = 23,81 \text{ Нм.}$$

Ни на одном участке момент при торможении или разгоне не оказался выше максимального момента двигателя.

Рассчитаем средний момент двигателя в системе ПЧ-АД при пуске:

$$M_{\text{дср}} = M_{\text{п}} = 61,09 \text{ Нм.} \quad (25)$$

При динамическом торможении:

$$M_{\text{тср}} = M_{\text{т}} = -23,81 \text{ Нм.} \quad (26)$$

Установившуюся скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot j_p = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 8}{0,17} = 141,17 \text{ рад/с.} \quad (27)$$

Установившуюся маркировочную скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_m = \frac{2 \cdot v_m}{D} \cdot j_p = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 8}{0,17} = 56,5 \text{ рад/с.}$$

Установившуюся клеймовочную скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_k = \frac{2 \cdot v_k}{D} \cdot j_p = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 8}{0,17} = 18,8 \text{ рад/с.}$$

4 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРЕВУ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Рассчитаем времена переходных процессов для каждого участка по формуле:

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{\text{ср}} - M_c}, \quad (28)$$

где J – приведенный момент инерции системы к валу двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

ω_c – установившаяся скорость двигателя, $1/\text{с}$;

$M_{\text{ср}}$ – средний момент двигателя, Нм ;

M_c – приведенный статический момент, Нм .

Первый участок – разгон по формуле (28):

$$t_1 = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{\text{дср}} - M_{\text{дс}}} = 0,12 \cdot \frac{141,17}{61,09 - 49,79} = 1,5 \text{ с};$$

Третий участок – торможение:

$$t_3 = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{\text{тср}} + M_{\text{тс}}} = 0,12 \cdot \frac{141,17}{-23,81 + 35,11} = 1,5 \text{ с};$$

Четвертый участок – разгон при маркировке:

$$t_4 = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{\text{дср}} - M_{\text{дс}}} = 0,12 \cdot \frac{56,5}{61,09 - 49,79} = 0,6 \text{ с};$$

Шестой участок – торможение при маркировке до клеймовочной скорости:

$$t_6 = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{TCP} + M_{TC}} = 0,12 \cdot \frac{56,5}{-23,81 + 35,11} = 0,6 \text{ с};$$

Восьмой участок – торможение при клеймовки:

$$t_8 = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{TCP} + M_{TC}} = 0,12 \cdot \frac{18,8}{-23,81 + 35,11} = 0,2 \text{ с};$$

Девятые и одиннадцатые участки – разгон и торможение при возвращение в начальное положение. Они равны первому и третьему участку соответственно.

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

$$\alpha_i = \frac{\omega \cdot t_i}{2}, \quad (27)$$

Угол поворота вала по формуле (27):

За 1-й, 3-й участки:

$$\alpha_{1,3} = \frac{\omega_c \cdot (t_1 + t_3)}{2} = \frac{141,17 \cdot (1,5 + 1,5)}{2} = 211,75 \text{ рад};$$

За 4-й, 6-й участки:

$$\alpha_{4,6} = \frac{\omega_m \cdot (t_4 + t_6)}{2} = \frac{56,5 \cdot (0,6 + 0,6)}{2} = 33,9 \text{ рад};$$

За 8-й участок:

$$\alpha_8 = \frac{\omega_k \cdot t_8}{2} = \frac{18,8 \cdot 0,2}{2} = 3,76 \text{ рад};$$

За 9-й, 11-й участки:

$$\alpha_{9,11} = \frac{\omega_c \cdot (t_9 + t_{11})}{2} = \frac{141,17 \cdot (1,5 + 1,5)}{2} = 211,75 \text{ рад};$$

Время работы с установившейся скоростью:

$$t_y = \frac{\alpha_\Sigma - (\alpha_{\text{П}} + \alpha_{\text{Т}})}{\omega_c}, \quad (28)$$

где α_Σ – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, рад;

$\alpha_{\text{П}}, \alpha_{\text{Т}}$ – угол поворота вала за время пуска и торможения, рад.

Угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме:

$$\alpha_{\Sigma 1} = \frac{2 \cdot L \cdot j_p}{D} = \frac{2 \cdot 12,7 \cdot 8}{0,17} = 1200 \text{ рад},$$

$$\alpha_{\Sigma 2} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 8}{0,17} = 56,5 \text{ рад},$$

$$\alpha_{\Sigma 3} = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 8}{0,17} = 28,2 \text{ рад},$$

$$\alpha_{\Sigma 4} = \frac{2 \cdot 11,8 \cdot 8}{0,17} = 1110 \text{ рад}.$$

В соответствии с формулой (28):

$$t_{y1} = \frac{\alpha_{\Sigma 1} - \alpha_{1,3}}{\omega_c} = \frac{1200 - 211,75}{141,17} = 7 \text{ с,}$$

$$t_{y2} = \frac{\alpha_{\Sigma 2} - \alpha_{4,6}}{\omega_M} = \frac{56,5 - 33,9}{56,5} = 0,4 \text{ с,}$$

$$t_{y3} = \frac{\alpha_{\Sigma 3} - \alpha_8}{\omega_k} = \frac{28,2 - 3,76}{18,8} = 1,3 \text{ с,}$$

$$t_{y4} = \frac{\alpha_{\Sigma 4} - \alpha_{9,11}}{\omega_c} = \frac{1100 - 211,75}{141,17} = 6,3 \text{ с.}$$

Суммарное фактическое время работы привода:

$$t_{\phi} = 1,5 \cdot 4 + 0,6 \cdot 2 + 0,2 \cdot 2 + 7 + 0,4 + 1,3 + 6,3 = 22,2 < t_p = 40 \text{ с.}$$

Полученное время не превышает заданного времени работы привода, то есть требование по производительности выполнено. Предварительная проверка двигателя по нагреву производится по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \sum M_{\text{доп}} \quad (29)$$

По формуле (29):

$$M_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{61,09^2 \cdot 3,8 + 49,79^2 \cdot 14,7 + (-23,81)^2 \cdot 3,8}{22,2}} = 48,64 \text{ Нм.}$$

Допускаемый момент:

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\text{ф}}}} = 47,75 \cdot \sqrt{\frac{60}{56,5}} = 49,2 \text{ Нм.} \quad (30)$$

где фактическое значение $ПВ_{\text{ф}}$ по формуле (12):

$$ПВ_{\text{ф}} = \frac{22,2}{40} \cdot 100\% = 56,5\%$$

Момент двигателя при $ПВ_{\text{кат}}$, ближайшем к $ПВ_{\text{ф}}$:

$$M_{\text{кат}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 9,55}{n_{\text{н}}} = \frac{7500 \cdot 9,55}{1500} = 47,75 \text{ Нм.} \quad (31)$$

Среднеквадратичный момент меньше допустимого ($48,64 \text{ Нм} < 49,2 \text{ Нм}$), следовательно, двигатель проходит по нагреву.

5 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Для регулирования скорости двигателя выберем преобразователь частоты.

Условия выбора: выбор номинальной мощности преобразователя $P_{пр н} = P_{дв н}$ – недостаточен, необходимо $I_{пр н} > I_{дв н}$

С учетом условий выбираем преобразователь частоты фирмы Siemens G120C 6SL3210-1KE21-7AB1, применяемого в самых разнообразных машинах и механизмах. Приводы идеально подходят для использования в пищевой промышленности, для обработки материалов, в текстильной, полиграфической, резиновой, деревообрабатывающей промышленности и в производстве пластмасса.

Технические данные преобразователя частоты в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические данные преобразователя частоты Siemens G120C 6SL3210-1KE21-7AB1

Наименование технических характеристик	Размерность	Значение
Номинальный ток нагрузки, $I_{пр н}$	А	16,5
Номинальная мощность преобразователя, $P_{пр н}$	Вт	7500
Диапазон регулирования выходной частоты преобразователя	Гц	0-500
Номинальное напряжение питающей сети частотой 50 Гц	В	3x380
Коэффициент мощности		0,98

6 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРО-ПРИВОДА

6.1 Расчет параметров двигателя

Паспортные данные двигателя:

Ток намагничивания $I_{mn} = 3,6$;

Индуктивное сопротивление контура намагничивания $X_{mn} = 102,7$;

Индуктивное сопротивления рассеяния статора $x_1 = 2,86$;

Индуктивное сопротивления ротора $x_2 = 2,86$;

Активное сопротивление фазной обмотки статора $r_1 = 0,2716$;

Приведенное активное сопротивление ротора $r_{2P} = 0,0017$.

Рассчитаем параметры двигателя в соответствии с паспортными данными.

Безразмерные коэффициенты k_1 и k_2 :

$$k_1 = \frac{x_{mn}}{x_1} = \frac{102,7}{2,86} = 36,3, \quad (32)$$

$$k_2 = \frac{x_{mn}}{x_2} = \frac{102,7}{2,86} = 36,3$$

Постоянные времени обмотки статора и ротора T_1 и T_2 :

$$T_1 = \frac{x_1}{r_1} = 0,001, \quad (33)$$

$$T_2 = \frac{x_2}{r_{2P}} = 1,8$$

После нахождения всех нужных параметров можно перейти к исследованию модели асинхронного двигателя.

6.2 Предварительная настройка параметров регуляторов

1) Построение контура регулирования скорости.

Контур скорости является вторым контуром. Передаточная функция регулятора скорости должна обеспечивать настройку замкнутого контура на модульный оптимум.

Исходя из данных соображений, выберем ПИ регулятор скорости.

$$W_{pc}(p) = \frac{0,0264p+1}{0,00326p},$$

Таким образом, нами были рассчитаны параметры второго контура регулирования – контура регулирования скорости. В качестве регулятора скорости применен ПИ-РС, настройка которого обеспечивает настройку контура регулирования на симметричный оптимум.

Во всех системах управления электроприводами, включая позиционные, задание на скорость формируется задатчиком интенсивности скорости (ЗИС), который формирует заданное ускорение и замедление электропривода (в большинстве случаев одинаковое по модулю).

При заданном ускорении электропривода и выбранном уровне ограничения релейного элемента постоянная времени интегратора ЗИС определяется соотношением:

$$T_{зис} = \frac{U_0}{\varepsilon \cdot K_{oc}} = \frac{10}{265,84 \cdot 0,17} = 0,222 \text{ с}, \quad (34)$$

где U_0 – напряжение ограничения выхода релейного элемента ($U_0 \pm 10\text{В}$);

ε – угловое ускорение (замедление) электропривода,

K_{oc} – коэффициент обратной связи по скорости двигателя.

Таким образом, были определены основные параметры ЗИС, который формирует заданное ускорение и замедление электропривода. Следующим шагом является разработка контура регулирования положения.

2) Построение контура регулирования положения.

Система регулирования положения является трехконтурной, с контурами регулирования тока, скорости и положения (перемещения).

Так как ошибка регулирования положения превышает допустимую, то контур регулирования скорости настраивается на симметричный оптимум.

Настройка же контура регулирования положения должна обеспечить выполнение следующих требований, предъявляемых к позиционным САР:

- a. обеспечение максимального быстродействия;
- b. обеспечение необходимой точности регулирования;
- c. отсутствие перерегулирования при отработке заданного перемещения.

При отработке заданного перемещения возможны три варианта работы системы:

1. отработка малых перемещений, когда система является линейной, т.е. ни одна регулируемая координата не достигает установившегося значения; в этом режиме ЗИС работает в режиме слежения;
2. отработка средних перемещений, когда установившегося значения достигает ток, т.е. система работает с заданным ускорением, формируемым ЗИС, при этом электропривод работает по треугольной тахограмме;
3. отработка больших перемещений, когда установившегося значения достигают ток и скорость вращения электропривода (регулятор перемещения находится в ограничении), электропривод работает по трапецеидальной тахограмме.

А) При обработке малых перемещений

В этом случае коэффициент передачи РП, обеспечивающий работу контура без перерегулирования при обработке малых перемещений, при ПИ-РС можно считать по формуле:

$$K_{\text{рпм}} = \frac{K_{\text{ос}} \cdot i}{24 \cdot T_{\mu} \cdot K_{\text{оп}}} = \frac{0,1691 \cdot 8}{24 \cdot 0,0033 \cdot 10} = 4,321, \quad (35)$$

где $K_{\text{ос}}$ – коэффициент обратной связи по скорости двигателя;

i – передаточное отношение измерительного редуктора;

T_{μ} – некомпенсируемая постоянная времени;

$K_{\text{оп}}$ – коэффициент обратной связи по перемещению.

Отклонение от расчетного значения приводит или к перерегулированию или к режиму «дотягивания», что увеличивает время отработки заданного перемещения. Коррекцию рассчитанного коэффициента регулятора проводят при моделировании САР в режиме малых перемещений, добиваясь работы без перерегулирования за минимально возможное время.

Б) При обработке малых перемещений

При отработке средних перемещений электропривод работает по треугольной тахограмме. При этом стремятся обеспечить одинаковое ускорение и замедление электропривода. Выбор момента начала торможения и обеспечение заданного темпа торможения есть два взаимосвязанных условия. Их выполнение обеспечивает решение основной задачи позиционирования – остановку механизма в заданной позиции.

При торможении со скоростью меньшей номинальной ($\omega \leq \omega_n$) мгновенные значения скорости и текущего позиционного рассогласования Δu_n при выполнении условия $\varepsilon = \text{const}$, связаны следующей нелинейной функциональной зависимостью:

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot i \cdot \Delta u_{\text{п}}}{K_{\text{оп}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 265,843 \cdot 8 \cdot \Delta u_{\text{п}}}{10}} = 32,804 \cdot \sqrt{\Delta u_{\text{п}}}$$

где $\Delta u_{\text{п}} = \Delta \varphi \cdot K_{\text{оп}}$ – ошибка (рассогласование) перемещения.

Практически это означает, что обеспечивая средствами системы регулирования данную функциональную связь скорости движения с позиционным рассогласованием, можно реализовать требуемый равнозамедленный процесс, приводящий механизм в заданную позицию. При этом коэффициент передачи РП будет определяться зависимостью:

$$K_{\text{рпс}} = K_{\text{ос}} \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot i}{K_{\text{оп}} \cdot \Delta u_{\text{п}}}} = 0,1691 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 265,843 \cdot 8}{10 \cdot \Delta u_{\text{п}}}} = 5,547 \cdot \sqrt{\frac{1}{\Delta u_{\text{п}}}}$$

Как видно из приведенной выше формулы, коэффициент передачи РП при отработке средних перемещений должен изменяться в соответствии с изменением позиционного рассогласования.

Из этой зависимости видно, что при $\Delta u_{\text{п}}$, стремящейся к нулю (отработка заданного перемещения), коэффициент передачи РП стремится к бесконечности. Однако, при отработке малых перемещений величина коэффициента передачи РП должна быть ограничена величиной $K_{\text{рпм}}$ для обеспечения оптимального переходного процесса. При отработке больших перемещений РП должен обладать коэффициентом передачи $K_{\text{рпб}}$. Поэтому для оптимальной работы САР при отработке всех перемещений необходим нелинейный регулятор перемещения, у которого в зависимости от величины позиционного рассогласования соответственно изменяется коэффициент передачи.

Характеристика регулятора перемещения (зависимость $U_{\text{вых рп}} = f(\Delta u_{\text{п}})$) имеет следующее аналитическое выражение:

$$U_{\text{выхрп}} = K_{\text{ос}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot \Delta u_{\text{п}}}{K_{\text{оп}}}} = 0,1691 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 265,843 \cdot 20,24 \cdot \Delta u_{\text{п}}}{10}} = 5,547 \cdot \sqrt{\Delta u_{\text{п}}} \quad (36)$$

Из формулы (36) видно, что характеристика регулятора имеет параболический характер, но исходя из обязательных условий ограничения коэффициента передачи РП при отработке малых и больших перемещений, в этой характеристике следует выделить три участка:

1) участок малых перемещений – линейная зависимость $U_{\text{вых рпм}} = K_{\text{рпм}} \cdot \Delta u_{\text{п}} = 3,241 \cdot \Delta u_{\text{п}}$. Строится указанная зависимость и определяется точка сопряжения параболы и этой линейной характеристики, соответствующая разделению отработки малых и средних перемещений. Разделение режимов работы будет происходить при позиционном рассогласовании, равном:

$$\Delta u_{\text{по}} = \left(\frac{K_{\text{ос}}}{K_{\text{рпм}}} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot \varepsilon \cdot i}{K_{\text{оп}}} = \left(\frac{0,1691}{4,321} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot 265,843 \cdot 20,24}{10} = 1,648 \text{ В.} \quad (37)$$

2) участок отработки средних перемещений – параболический характер;

3) участок отработки больших перемещений – участок ограничения выходного напряжения РП на уровне задания максимальной скорости вращения, т.е. $U_{\text{вых рпб}} = K_{\text{ос}} \cdot \omega_{\text{н}} = 10 \text{ В.}$

Исходя из вышеуказанных условий, можно построить окончательный вид характеристики нелинейного регулятора перемещения. Полученный результат приведен рисунок 6.1.

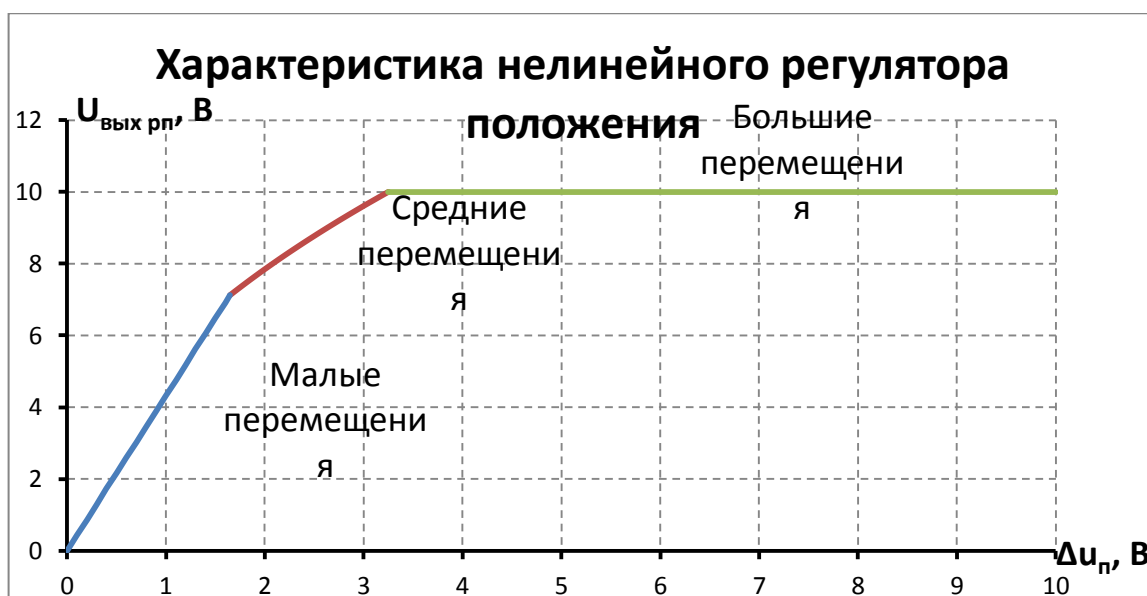


Рисунок 6.1 – Характеристика нелинейного регулятора перемещения

Таким образом, были рассчитаны параметры последнего контура регулирования – контура регулирования перемещения. Были определены коэффициента передачи РП при отработке малых.

Коэффициент передачи РП при отработке средних перемещений определяется величиной ошибки регулирования перемещения (позиционным рассогласованием). Таким образом, было выяснено, что РП должен иметь особый вариант настройки, а именно – его характеристика представляет собой кусочно-заданную функцию. После проведения всех необходимых расчетов была построена искомая характеристика. Следующим шагом курсового проектирования является реализация САР.

6.3 Модель САР электропривода. Графики переходных процессов

Для анализа динамических режимов спроектированного электропривода воспользуемся средствами пакета структурного моделирования Simulink, входящего в состав программы MATLAB. Для этого на рабочем поле собираем приведенную ниже структурную схему, после проводится анализ переходных процессов при отработке следующих режимов:

- 1) Обработка малых перемещений под номинальной нагрузкой;
- 2) Обработка средних перемещений под номинальной нагрузкой;

При этом снимаются в масштабе обратных связей графики скорости, тока и перемещения во времени. Момент сопротивлений на валу двигателя носит реактивный характер.

Структурная схема спроектированного электропривода приведена на рисунке ниже.

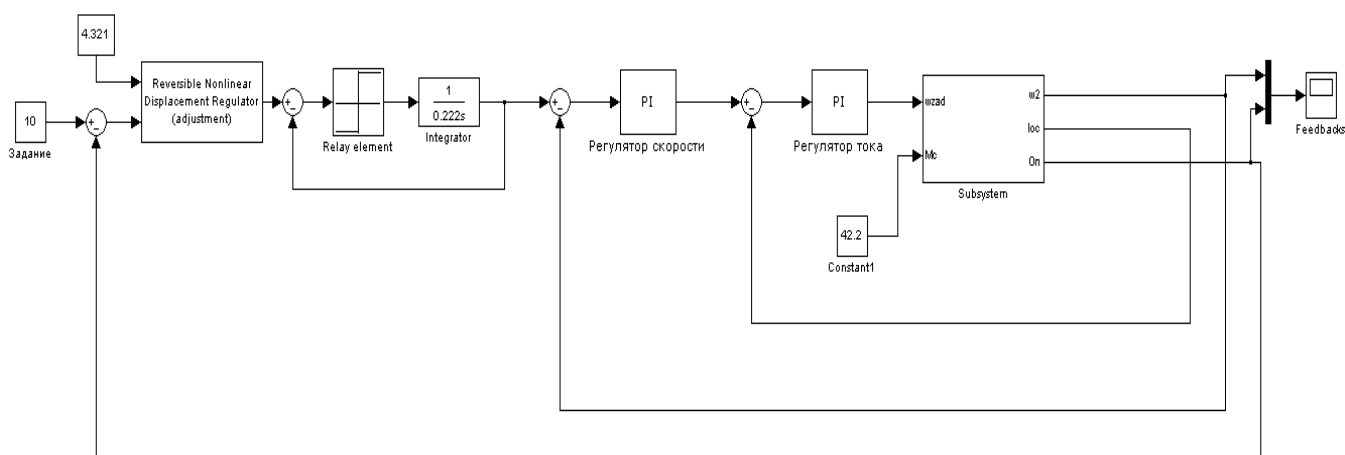


Рисунок 6.2 – Структурная схема электропривода

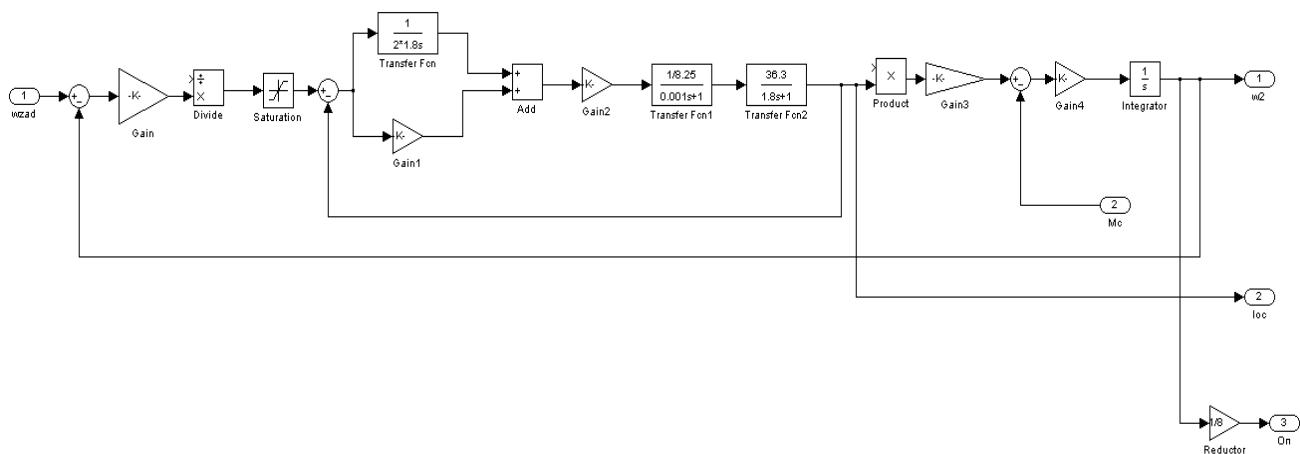


Рисунок 6.3 – Структурная схема асинхронного двигателя

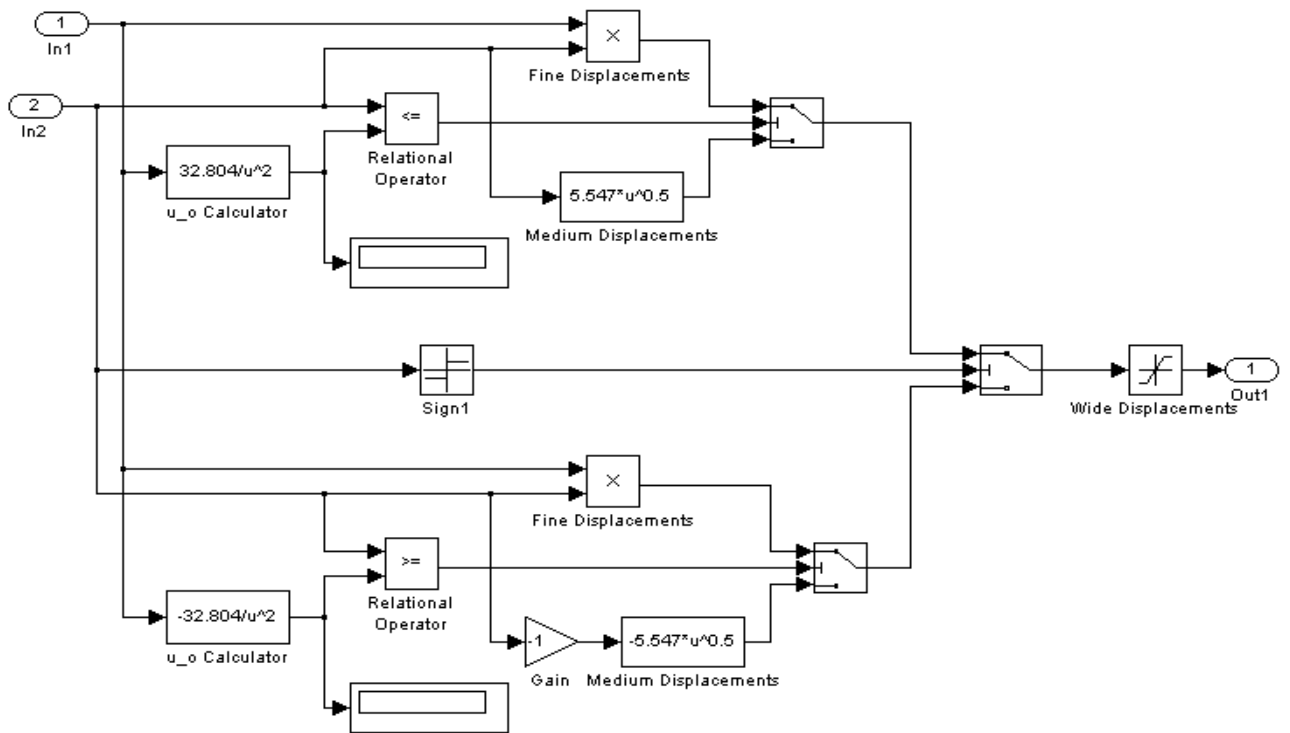


Рисунок 6.4 – Структурная схема нелинейного регулятора положения

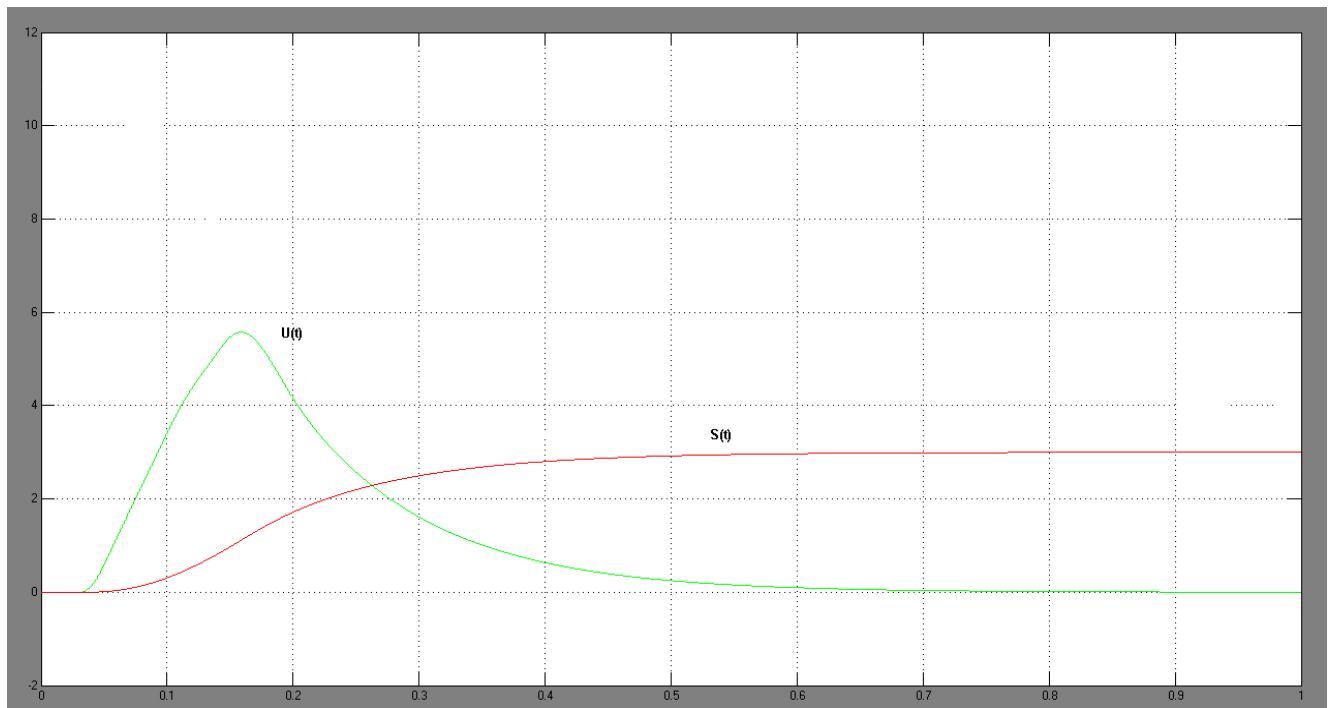


Рисунок 6.5 – Графики переходных процессов при обработке малых перемещений под номинальной нагрузкой

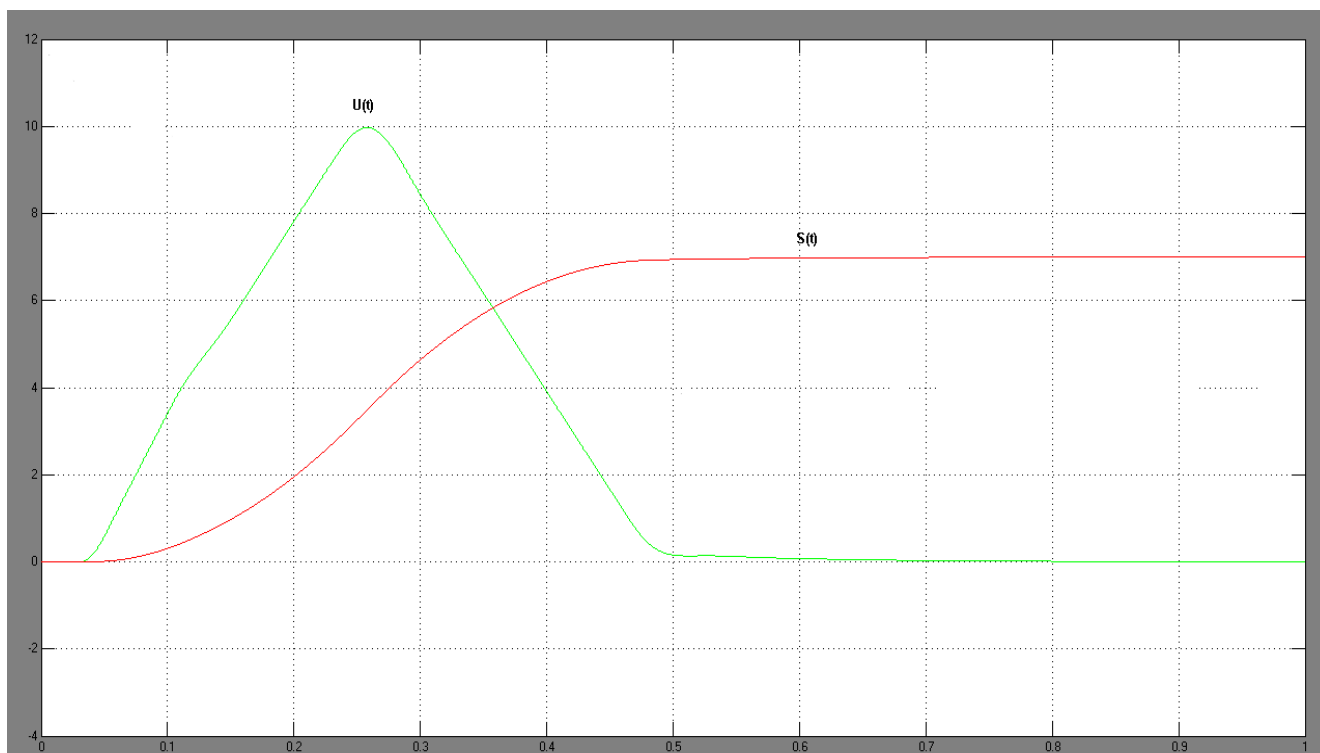


Рисунок 6.6 – Графики переходных процессов при обработке средних перемещений под номинальной нагрузкой

При малых перемещениях скорость не достигает установившихся значений, что хорошо видно из графика переходных процессов.

При средних перемещениях скорость не достигает установившегося значения, и двигатель работает по треугольной тахограмме.

7 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

7.1 Выбор оборудования автоматизации для измерителя ИДТ, ВТТ, КММ

Модули ввода-вывода выбраны на постоянное напряжение питания 24В. Это повысит безопасность работы с элементами системы, исключит необходимость применения нескольких блоков питания на разное напряжение.

1) Лазерный измеритель DMT5-1211 работает на расстояние до 55 метров. DMT5-1211 измеряет скорость прохождения луча от отражающей поверхности для расчета расстояния. Результат измерения передается через интерфейс Profibus, а так же можно передавать через интерфейс RS-232. Технические характеристики указаны в таблице 7.1

Таблица 7.1 – Технические характеристики DMT5-1211

Характеристики	Значения
Источник излучения	Лазерный ИК светодиод
Напряжение питания, В	18-30 DC
Потребляемая мощность, Вт	Менее 6
Точность, мм	±10
Диапазон рабочих температур, °С	0-40
Диапазон измерений, м	0,5-55
Вес, кг	1,2

2) Четыре индуктивных датчика: два датчик положения для тележек и два датчик для фиксации торца трубы. Индуктивные датчики реагируют только на металл. Датчики положения находятся на исходных позициях тележек. А датчики для фиксации реагирует на трубу, подают сигнал на остановки тележек

Датчики выбрали ISB CC0B-31P-3-LS402 от компании «ТЕКО». Как только датчик реагирует на трубу, подается сигнал на остановки тележек. Технические характеристики указаны в таблице 7.2. Схема подключения на рисунке 7.1.

Таблица 7.2 – Технические характеристики ISB CC0B-31P-3-LS402

Характеристики	Значения
Диапазон рабочих напряжений, В	10-30 DC
Рабочий зазор, мм	0-2,4
Максимальный рабочий ток, мА	150
Падение напряжения при	1,2

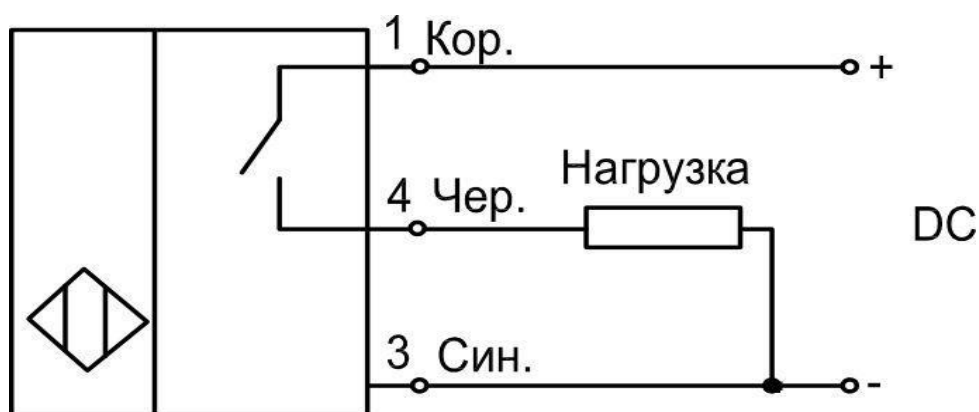


Рисунок 7.1 – Схема подключения датчика ISB CC0B-31P-3-LS402

3) Электродвигатель постоянного тока для перемещения тележек выбираем EC070.24E на постоянных магнитах. Технические характеристики указаны в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Технические характеристики EC070.24E

Характеристики	Значения
Питание, В	24
Мощность, Вт	100
Ток, А	5,9

4) Для обеспечения питания лазерного измерителя, датчиков, электродвигателя необходимо выбрать блок питания.

Требуемая мощность блока питания определяется суммой мощностей потребителей, нагруженных на него, причем для оптимального использования необходимо учитывать то, что все потребители включены одновременно. Для упрощения выбора, а также для обеспечения запаса, блока питания выбирается по суммарной мощности всех потребителей. Выбираем блок питания NES-150-24. Технические характеристики указаны в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Технические характеристики NES-150-24

Характеристики	Значения
Выходное напряжение, В	24
Выходной ток, А	До 6,5
Выходная мощность, Вт	156
Входное напряжение, В	90...264 АС
Тип стабилизации	По напряжению
Пульсации и шум, мВ	120

5) Для измерения веса трубы выбираем цилиндрический датчик К-С-18М. Схема подключения на рисунке 7.5

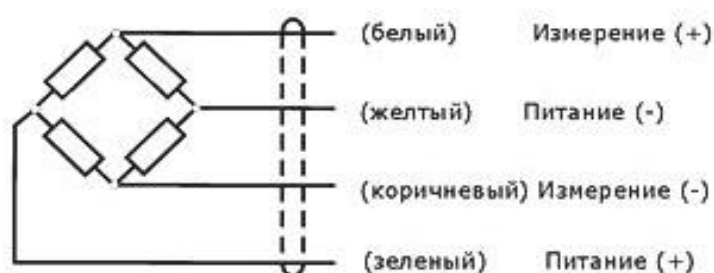


Рисунок 7.5 – Схема подключения датчик К-С-18М

Датчик устанавливаются на весовой платформе, где на него передается сила, пропорциональная массе взвешиваемого груза. Техническая характеристика указана в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Технические характеристики датчик К-С-18М

Характеристика	Значения
Наибольший предел измерений, т	До 3
Напряжение питания, В	24 DC
Класс точности	C3
Рабочий коэффициент передачи, мВ/В	2

Вес трубы воспринимается датчиком, преобразуется в электрический сигнал и передаётся в модуль MB110-224.1ТД. Модуль измеряет входные сигналы и рассчитывает вес в килограммах. Схема подключения модуля показана на рисунке 7.6.

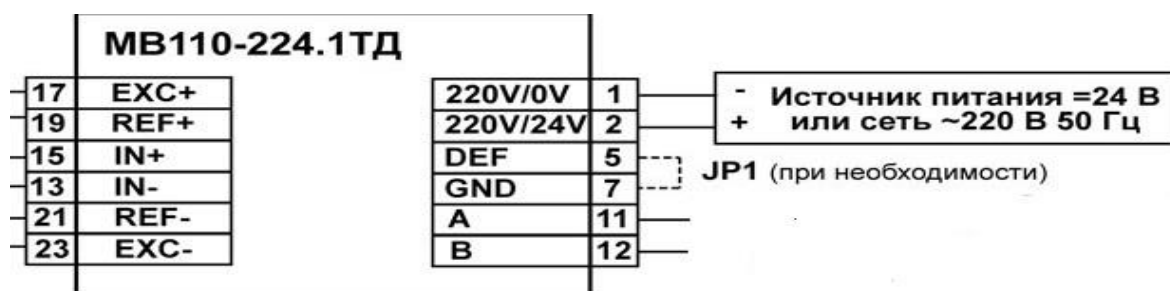


Рисунок 7.6 – Схема подключения модуля MB110-224.1ТД

7.2 Выбор программируемого логического контроллера.

1) В качестве возьмем программируемый логический контроллер семейства SIMATIC S7-300 фирмы Siemens AG из семейства устройств автоматизации Simatic S7. Основные особенности данного контроллера:

- модульная конструкция;
- применение локального и распределенного ввода-вывода;
- возможности коммуникаций по сетям MPI, Profibus Industrial Ethernet/PROFINet, AS-i, BACnet, MODBUS TCP;

– поддержка на уровне операционной системы функций, обеспечивающих работу в реальном времени;

Для усовершенствования КМК целесообразно выбрать контроллер серии S7-300, так как он:

- соответствует требованиям технического задания;
- является самым выгодным по цене вариантом;
- на предприятии очень распространена данная серия контроллеров.

Поскольку конструкция контроллера модульная, то выберем все необходимые для реализации проектируемой системы автоматизации модули. Необходимо указывать заказной номер каждого модуля, который пригодится при программировании контроллера при его конфигурировании.

2) Выбор процессорного модуля.

Выбираем компактный процессорный модуль CPU 314C-2 PN/DP (заказной номер 6ES7314-6EH04-0AB0), который имеет память ОЗУ 192 Кбайт и загрузочную вставную MMC максимум на 8 Мбайт. Большое ОЗУ позволяет процессору решать задачи средней степени сложности.

Поддержка интерфейсов PROFIBUS DP и PROFINET IO можно использовать процессор в режиме ведущего или ведомого устройства системы распределенного ввода-вывода. Языки программирования в английской аббревиатуре: LAD/FBD/STL. Возможность подключения 32 модулей на контроллер.

Максимальное количество дискретных сигналов ввода/вывода 32, аналоговых сигналов 7, таймеров 256 с диапазоном времени от 10 мс до 9990 с, счетчиков 256 с диапазоном счета от 0 до 999, промежуточные переменные (маркеры) – 256 байт.

Процессорный модуль обладает портом MPI – многоточечным интерфейсом, служащим для подключения программатора. Кроме того, обладает портом Profibus DP и Profinet. Пусковой ток модуля равен 5 А.

Система команд центральных процессоров включает в свой состав более 350 инструкций и позволяет выполнять:

- логические операции, операции сдвига, вращения, дополнения, операции сравнение, преобразования типов данных, операции с таймерами и счетчиками;
- арифметические операции с фиксированной и плавающей точкой, извлечение квадратного корня, логарифмические операции, тригонометрические функции, операции со скобками;
- операции загрузки, сохранения и перемещения данных, операции переходов, вызова блоков, и другие операции.

3) Выбор модуля ввода дискретных сигналов.

Выбираем модуль ввода дискретных (цифровых) сигналов SM321 DI32xDC24V (заказной номер 6ES7 321-1BL00-0AA0). Он рассчитан на 32 канала ввода сигналов постоянного тока напряжением 24 В. Модуль имеет индикацию состояния зелеными светодиодами на каждом канале на лицевой панели модуля. Входной ток канала ввода при сигнале 1 и напряжении 24 В не превышает 7 мА.

Максимальный ток, потребляемый из задней шины, равен 15 мА. Схема подключения и принципиальная схема модуля представлены на рисунке 7.2.

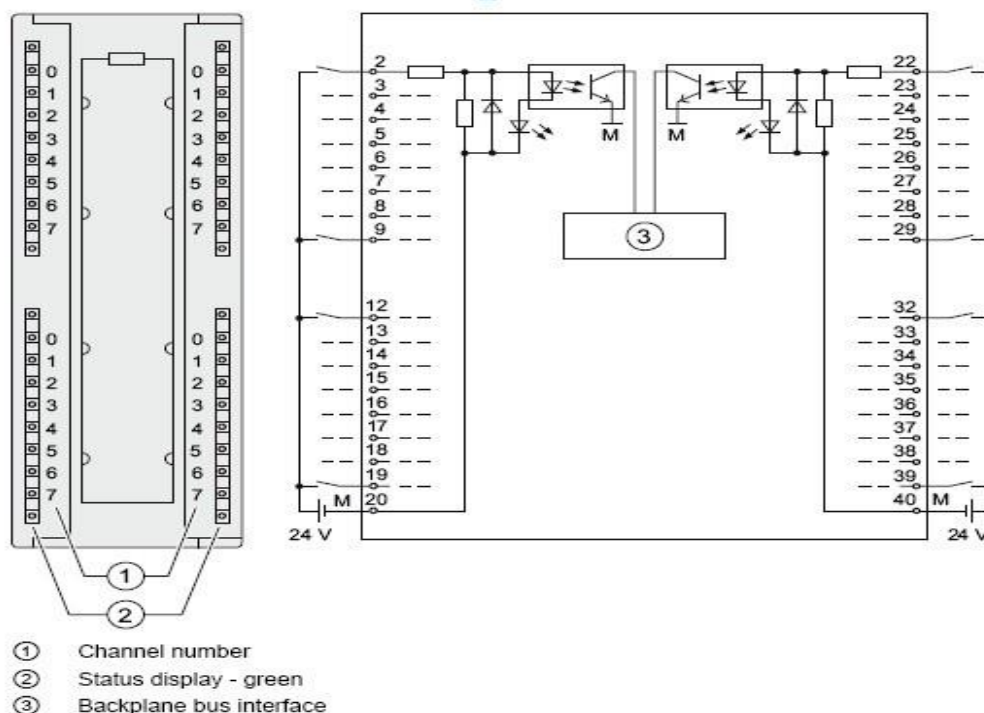


Рисунок 7.2 – Схема подключения модуля ввода дискретных сигналов SM321 DI16xDC24V

4) Выбор модуля вывода дискретных сигналов.

Исходя из того, что используется 4 выходных сигнала, подаваемых на объект, и требуемый уровень сигнала управления, подаваемого на тиристорный пускатель, лежит в диапазоне (15...50) В, выбираем модуль вывода дискретных сигналов SM322 DO32xDC24V/0,5A (заказной номер 6ES7 322-1BL00-0AA0) на 32 каналов вывода (два выходных байта с адресами Q4 и Q5).

Максимальный ток из источника напряжения (без нагрузки) равен 160 мА. Схема подключения и принципиальная схема модуля представлены на рисунке 7.3.

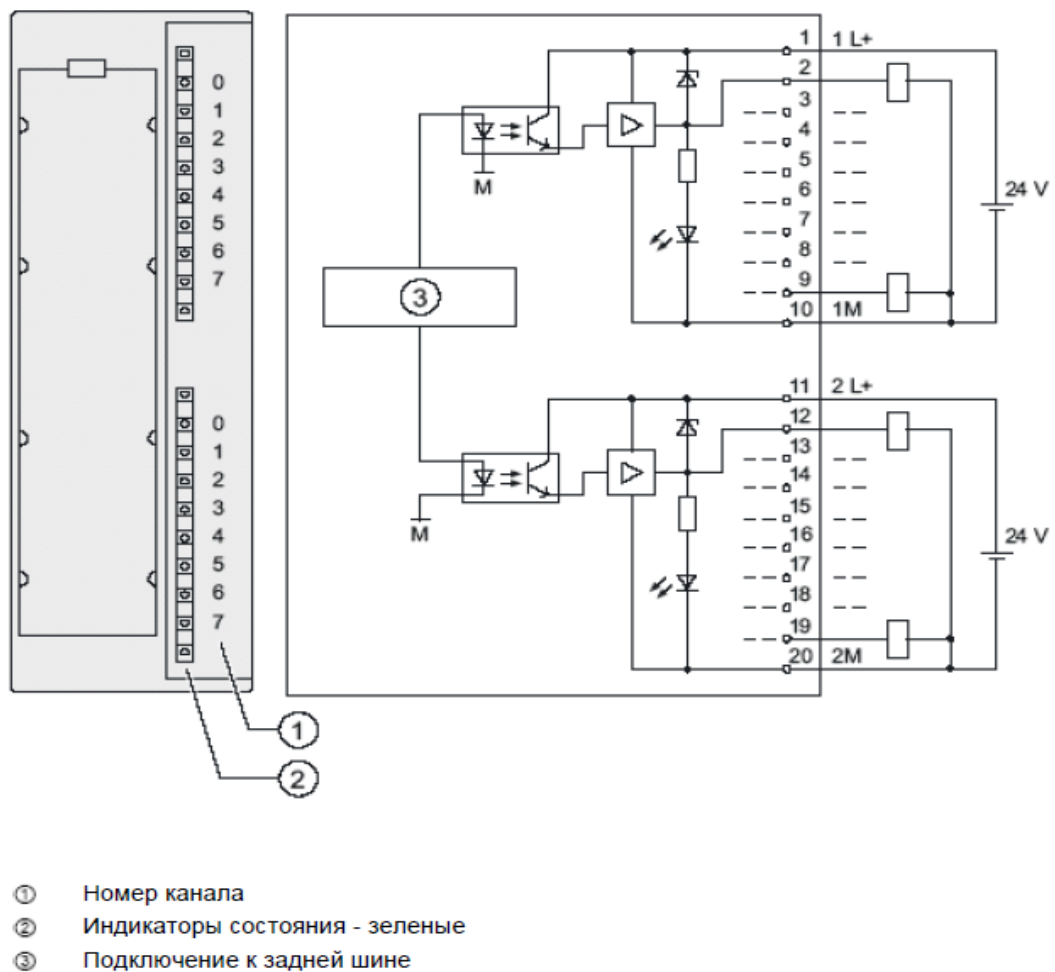
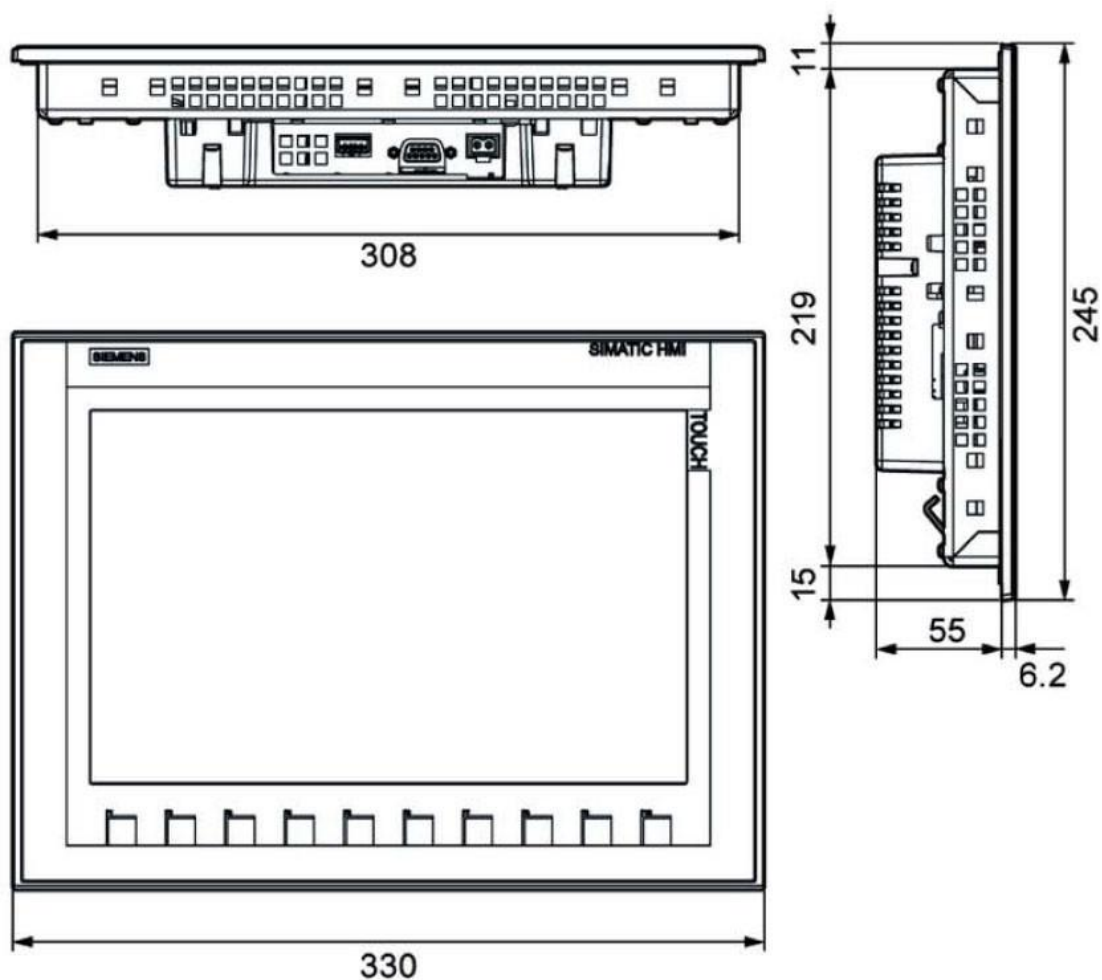


Рисунок 7.3 – Схема подключения модуля вывода дискретных сигналов SM322 DO16xDC24V/0,5A

5) Для управления технологическим процессом и его диспетчеризации выберем цветной широкоформатный сенсорный монитор фирмы SIMATIC HMI KTP1200 Basic DP. Технические характеристики показаны в таблице 7.5. Размеры монитора представлены на рисунке 7.4.

Таблица 7.5 – Технические характеристики SIMATIC HMI KTP1200 Basic DP

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение питания, В	24 DC
Потребляемая мощность, Вт	13,2
Потребляемый ток, mA	550
Тип процессора	ARM
Разрешение точек	1200x800
Flash-EEPROM пользователя, кБ	512
Количество программируемых клавиш	10
Загрузка конфигурации	MPI / PROFIBUS-DP



Установочные размеры SIMATIC HMI KTP1200 Basic DP

Рисунок 7.4 – Установочные размеры SIMATIC HMI KTP1200 Basic DP

б) Выбор блока питания.

Выбираем однофазный блок питания PSU100M серии SITOP modular с заказным номером 6ES7 336-3BA10. Основные технические характеристики блока приведены в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Технические характеристики блока питания PSU100M

Наименование параметра	Значение
Номинальное входное напряжение	120...230 V AC
Номинальный входной ток, А	4,6 – 2,5
Номинальное выходное напряжение, В	24
Номинальный выходной ток, А	20

Продолжение таблицы 7.6

Уровень защиты	IP20
Рабочая температура, °C	0...70
Масса, кг	1,5

8 АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

8.1 Описание технологического процесса

Начало технологического процесса начинается с загрузки трубы на промежуточные грузоподъемные стойки. По команде оператора на разрешение работы переключателя труба загружается на промежуточные стойки и весовая платформа поднимается вверх. И через 5 секунд производит измерения веса.

Измерительные тележки в исходном положении. Как только труба оказывается на весовой платформе. Подается сигнал на схождение тележек. В момент контакта датчика с торцом трубы, тележки останавливаются и происходит считывание показаний лазерного измерителя. В случае успеха тележки возвращаются в исходное положение. После взвешивания и измерения длины весовая платформа возвращается вниз.

По результатам измерений оператор на панели выбирает перечень предлагаемых фиксированных надписей. После выбора сигнал подается на двигатель через контроллер и преобразователь частоты. КММ с исходного положения движется к месту начала маркировки, отпускается на трубу и начинает процесс маркировки с маркировочной скоростью. После энкодер обнуляется и начинает клеймовку с клеймовочной скоростью. После выполнения КММ поднимается и возвращается в исходное положение.

Труба снимается переключателем с КМК на транспортирующую ленту.

Алгоритм функционирования клеймовочно-маркировочного комплекса можно представить в следующем виде на рисунке 8.1. Блок-схемы алгоритмов подпрограмм 2-го и 3-го блоков приведены в приложении А.



Рисунок 8.1 – Алгоритм функционирования КМК

8.2 Разработка функциональной схемы автоматизации.

На основе описания технологического процесса, алгоритма работы автоматизируемого объекта была составлена функциональная схема на рисунке 8.2.

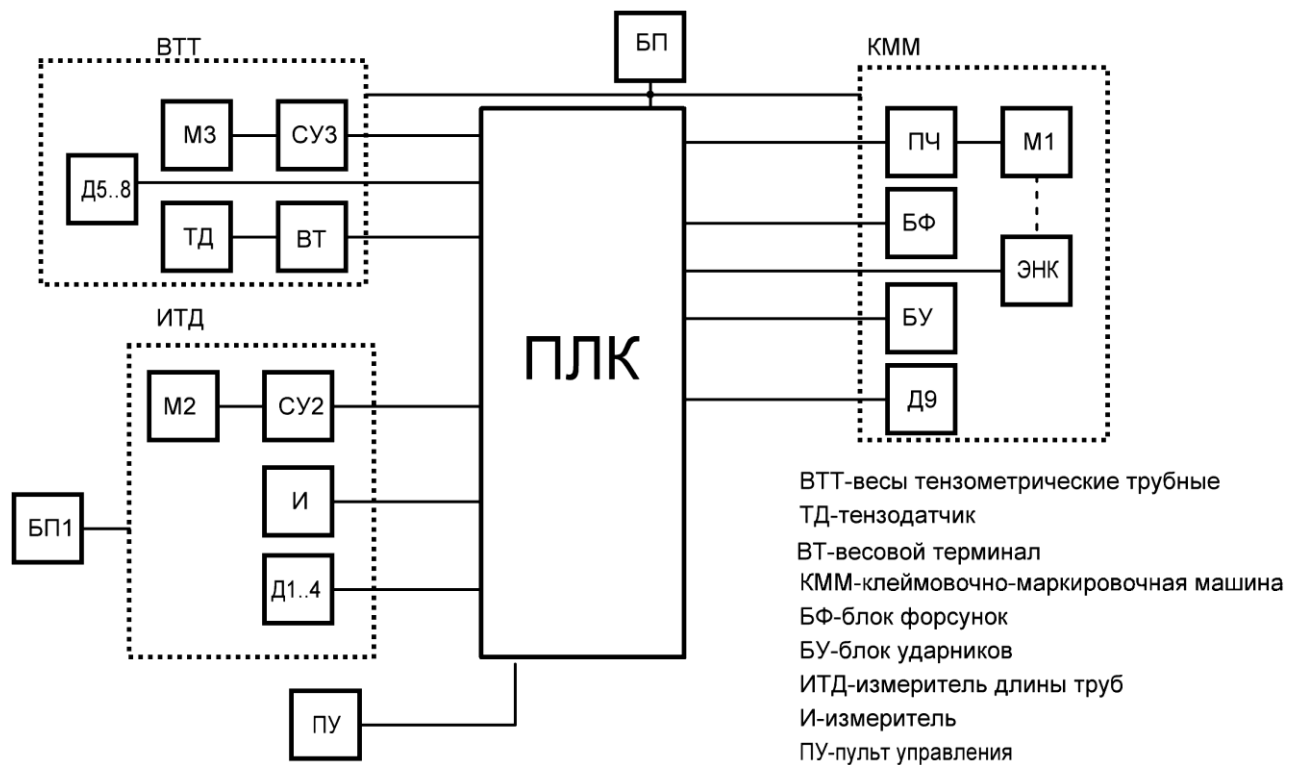


Рисунок 8.2 – Функциональная схема

8.3 Разработка программы в программной среде TIA Portal.

Разработка программы для ПЛК фирмы Siemens SIMATIC S7-300 производится на языке Lad, в программной среде TIA Portal. Основной цикл программы показан на рисунке 8.3.



Network 2: Запуск операции измерения



Network 3: Запуск операции маркировки и клеймовки



Network 4: Выгрузка трубы с КМК

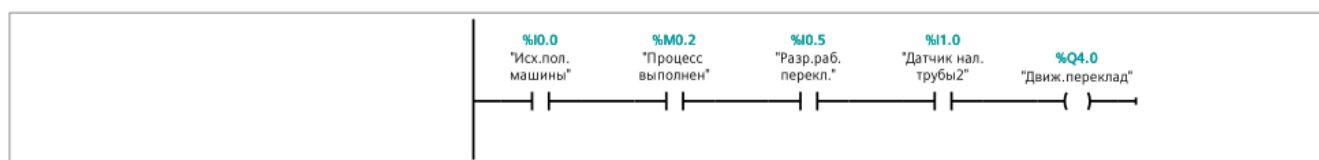


Рисунок 8.3 – Код программы

Программа выполняется последовательно и начинается новый цикл. FC1 и FC2 являются подпрограммами. Подпрограммы и теги находятся в приложении 2.

9 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Описание схемы. Блок питания G1 с напряжением на выходе 24В питает основные низковольтные элементы: датчики, входные и выходные цепи модулей ввода/вывода контроллера А1. А блок питания G2 с напряжением на выходе 24В питает элементы ИДТ А4: датчики ВQ1-ВQ4, измеритель А6 и двигатель постоянного тока М3. На схеме клеммы блока питания указаны в соответствии с паспортными данными.

В системе используются тензометрический датчик веса ВР1, индуктивные датчики ВQ1-ВQ7, весовой модуль А7, измеритель А6, пульт управления А5. В соответствии со схемой, подключаем информационные выходы датчиков к входам модуля ввода.

Управление двигателям переменного тока М1 осуществляется с помощью преобразователей частоты А8, двигатель переменного тока М2 управляется через контакторы. Приходит одиночный сигнал на реле КМ3 контакт КМ3 замыкается, срабатывает реле КМ1 контакторы КМ1 замыкаются двигатель работает в направлении «вперед», сигнал на КМ4 контакты КМ4 замыкаются срабатывает КМ2 и двигатель начинает работать в направлении «назад». Двигатель получают питание от сети трехфазного напряжения 380В. Управление двигателя постоянного тока М3 происходит аналогично с двигателем М2.

Элементы пульта управления (VD14-16, ST16-ST23) подключены непосредственно к модулям ввода/вывода.

Управление блока форсунок и блока ударников осуществляется через программируемый контроллер А1, который, в зависимости от режима работы, подает сигналы на входы блоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была усовершенствована мехатронная система клеймовочно-маркировочного комплекса для труб на ПАО «ЧТПЗ» цеха №1.

Для выполнения задачи были разработаны электрические принципиальные, функциональные схемы. Была рассчитана и собрана система ПЧ-АД с использованием скалярного управления. Построены нагрузочные диаграммы и тахограммы. Произведено моделирование системы в программе Matlab в среде Simulink. Заменена система управления КМК и элементы системы автоматизации на фирму Siemens. Реализована программа в Tia Portal.

Технологическую задачу считаю выполненной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

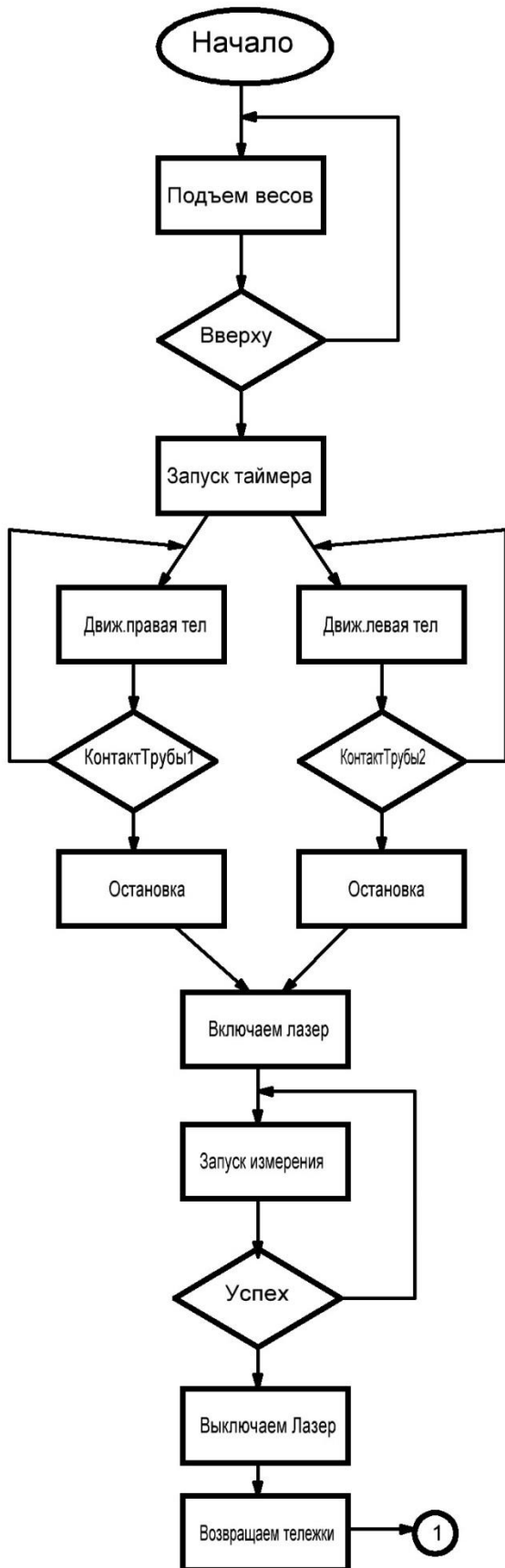
- 1 Драчев, Г.И. Теория электропривода: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 168 с.
- 2 Анфимов, М.И. Редукторы: конструкция и расчет: альбом / М.И. Анфимов.– М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
- 3 Двигатели асинхронные трехфазного тока крановые серии АИР: Справочник / Ю.В. Алексеев, Г.И. Дружков, В.П. Ушачев и др. – М.: Информэлектро, 1982. – 85 с.
- 4 Гельман, М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
- 5 Драчев, Г.И. Теория электропривода: учебное пособие в 2 ч. / Г.И. Драчев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – Ч.1. – 207 с; Ч.2. – 203 с.
- 6 Борисов, А.М. Автоматизация технологических процессов (технические средства, проектирование, лабораторный практикум): Учебное пособие./ Н.Е. Лях. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. – Ч.1. – 404 с.
- 7 Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для высш учеб. заведений /М.П. Белов, О.И. Зелементов, А.Е. Козярук; под ред. В.А. Новикова, Л.М. Чернигова– М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
- 8 Митин, Г.П. Условные обозначения в отечественных и зарубежных электрических схемах. – М.: Изумруд, 2003. – 224 с.
- 9 Борисов, А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, Н.А. Логинова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с.
- 10 Чип и Дип: датчики – <http://www.chipdip.ru/catalog/sensors/>.
- 11 SIMATIC S7-300 – Универсальные программируемые контроллеры – http://dfpd.siemens.ru/products/automation/simatic/SIMATIC_S7/S7-300/.
- 12 Шишов, О. В. Современные технологии промышленной автоматизации /О. В. Шишов. – М.: Директ-Медиа, 2015. – 368 с.

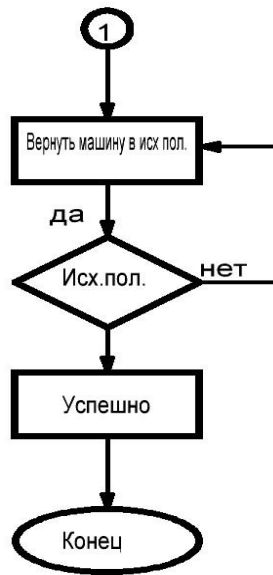
13 Шишов, О. В. Элементы систем автоматизации / О. В. Шишов. – М.: Директ-Медиа, 2015. – 159 с.

14 Подлесный, С. А. Устройства приема и обработки сигналов / С. А. Подлесный, Ф. В. Зандер. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2011. – 352 с.

15 Дементьев Ю.Н. Электропривод типовых производственных механизмов. Учебное пособие для вузов / Ю.Н. Дементьев, В.М. Завьялов, Н.В. Кояин, Л.С. Удут. – Томск: Изд. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2018. – 403 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А БЛОК-СХЕМЫ АЛГАРИТМОВ ПОДПРОГРАММ 2-ГО И
3-ГО



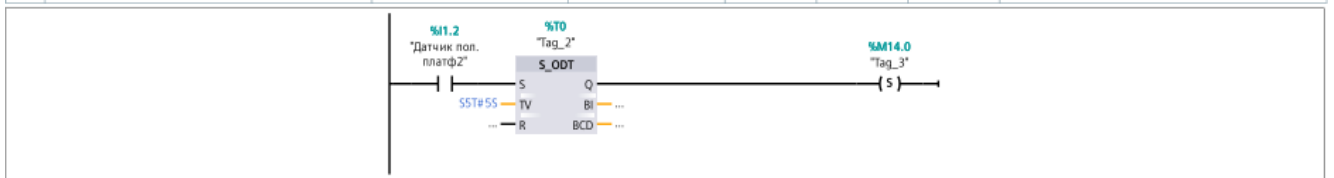


ПРИЛОЖЕНИЕ Б ТЕГИ И ПОДПРОГРАММЫ

PLC tags

Name	Data type	Address	Retain	Visible in HMI	Accessible from HMI	Comment
Исх.пол.машины	Bool	%I0.0		True	True	Исходное положение машины
Пуск Автомат	Bool	%I0.1		True	True	Запуск режим "Автомат"
Стоп Автомат	Bool	%I0.2		True	True	Стоп режим "Автомат"
Пуск Руч	Bool	%I0.3		True	True	Запуск режим "Ручной"
Стоп Руч	Bool	%I0.4		True	True	Стоп режим "Ручной"
Разр.раб.перекл.	Bool	%I0.5		True	True	Разрешение работу переключника
Ремонтная зона	Bool	%I0.6		True	True	Ремонтная зона
Датчик нал.трубы1	Bool	%I0.7		True	True	Датчик наличия трубы перед КМК
Датчик нал.трубы2	Bool	%I1.0		True	True	Датчик наличия трубы на платформе
Датчик пол.платф1	Bool	%I1.1		True	True	Нижнее положение платформы весов
Датчик пол.платф2	Bool	%I1.2		True	True	Верхнее положение платформы весов
Датчик исх.лев.тележки	Bool	%I1.3		True	True	Исходное положение левой тележки измерителя
Датчик исх.прав.тележки	Bool	%I1.4		True	True	Исходное положение правой тележки измерителя
Датчик лев.тележки	Bool	%I1.5		True	True	Датчик контакта с трубой левой тележки
Датчик прав.тележки	Bool	%I1.6		True	True	Датчик контакта с трубой правой тележки
Машина наверху	Bool	%I1.7		True	True	
Датчик веса	Bool	%I2.0		True	True	Весы готовы к использованию
Датчик измерителя	Bool	%I2.1		True	True	Измеритель готов к использованию
Авария	Bool	%I2.2		True	True	
ДлинаИзвест	Bool	%I2.3		True	True	Успешность измерения длины
Сигнал измерителя	Word	%IW12		True	True	Сигнал с измерителя
Сигнал весов	Word	%IW13		True	True	Сигнал с весового терминала
Движ.переклад	Bool	%Q4.0		True	True	Движения переключника
Весы вверх	Bool	%Q4.1		True	True	
ДвижЛевТел	Bool	%Q4.2		True	True	Движения правой тележки
ДвижПравТел	Bool	%Q4.3		True	True	Движение левой тележки
РеверсЛевТел	Bool	%Q4.4		True	True	Реверс правой тележки
РеверсПравТел	Bool	%Q4.5		True	True	Реверс левой тележки
ЛазерВкл	Bool	%Q4.6		True	True	Лазер включить
ЛазерВыкл	Bool	%Q4.7		True	True	Лазер выключить
Измерение длины прошло успешно	Bool	%Q5.0		True	True	
Взвешивание прошло успешно	Bool	%Q5.1		True	True	
Весы вниз	Bool	%Q5.2		True	True	
Операция успешно выполнена	Bool	%Q5.3		True	True	Измерения длины и массы выполнены
Движение машины	Bool	%Q5.4		True	True	
Отпустить машину	Bool	%Q5.5		True	True	
Маркировка	Bool	%Q5.6		True	True	
Клеймовка	Bool	%Q5.7		True	True	
Остановить машину	Bool	%Q6.0		True	True	
Поднять машину	Bool	%Q6.1		True	True	
Реверс машины	Bool	%Q6.2		True	True	
Память операции измерения	Bool	%M0.1		True	True	
Процесс выполнен	Bool	%M0.2		True	True	
Tag_8	Bool	%M10.0		True	True	
Tag_9	Bool	%M10.1		True	True	

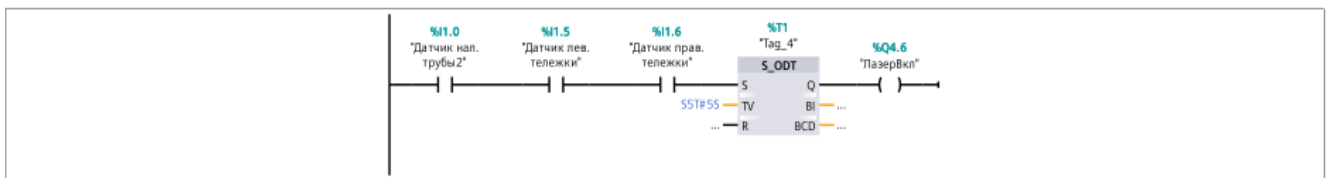
Tag_10	Bool	%M10.2	True	True	
Tag_11	Bool	%M10.3	True	True	
Tag_12	Bool	%M10.4	True	True	
Tag_15	Bool	%M10.5	True	True	
Tag_16	Bool	%M10.6	True	True	
Tag_3	Bool	%M14.0	True	True	
Tag_17	Bool	%M20.0	True	True	
Tag_18	Bool	%M20.1	True	True	
Tag_7	DWord	%MD125	True	True	Обмен с ПЧ
Масса	DWord	%MD128	True	True	
Длина	DWord	%MD132	True	True	
Tag_2	Timer	%T0	True	True	
Tag_4	Timer	%T1	True	True	
Tag_1	Timer	%T2	True	True	



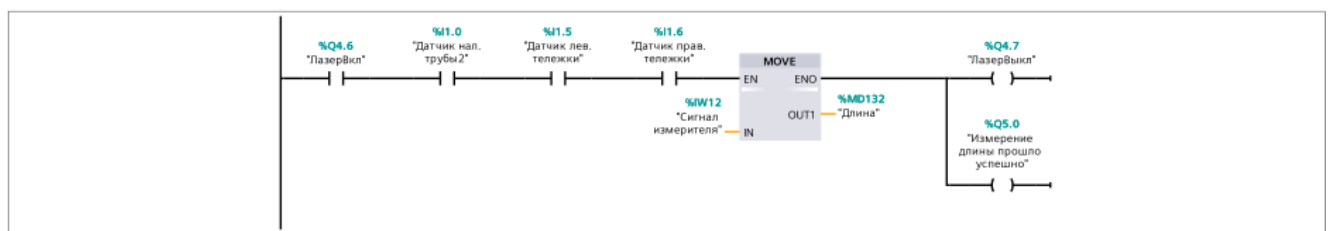
Network 7: Движение правой и левой тележки



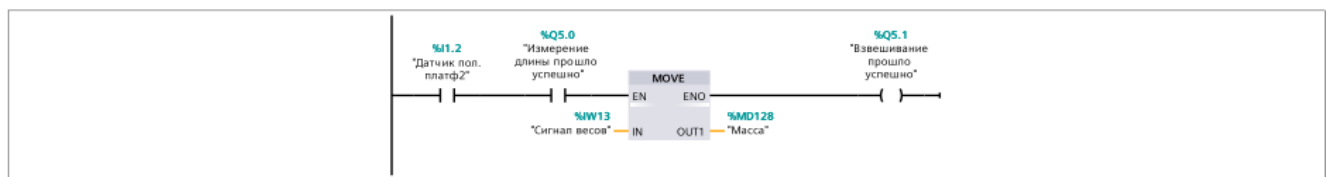
Network 8: Запуск лазера



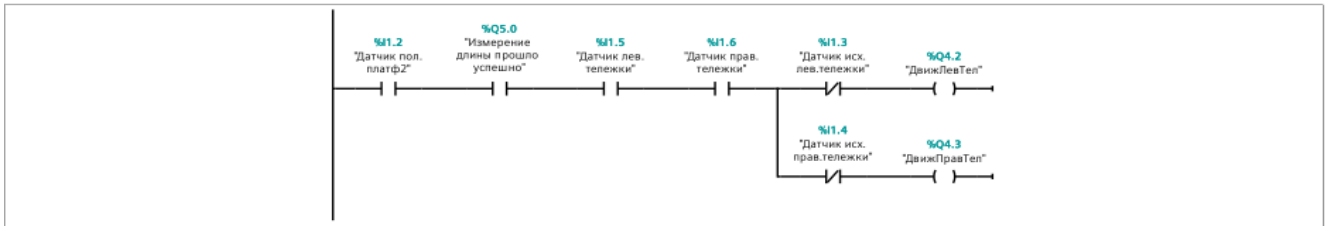
Network 9: В случае успеха выключаем лазер



Network 10: Считываем массу трубы



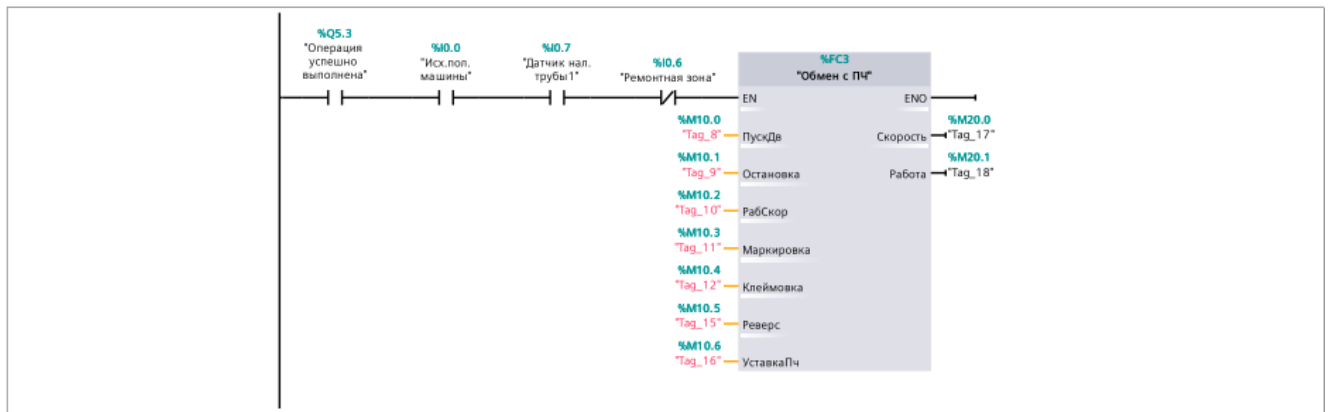
Network 11: Возврат тележек в исходное положение



Network 12: Возврат весов в исходное положение



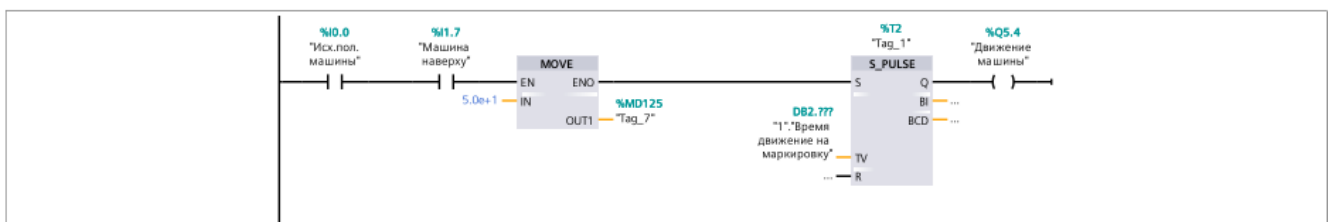
Network 13: Операция маркировки трубы



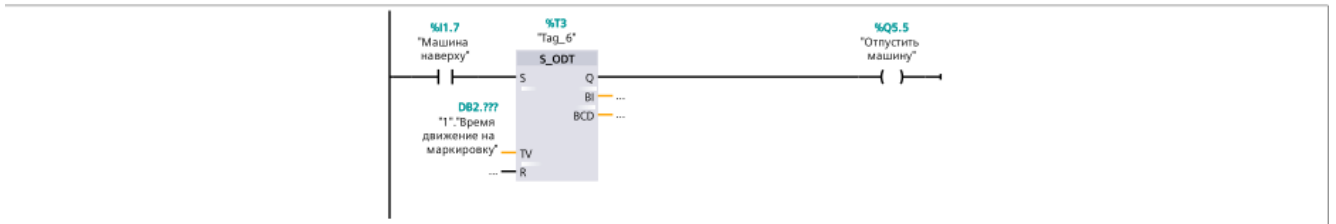
Network 14:



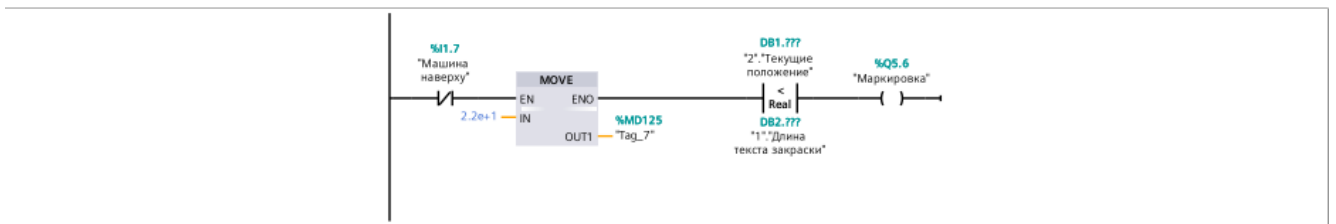
Network 15: Меняем уставку ПЧ и задаем время работы



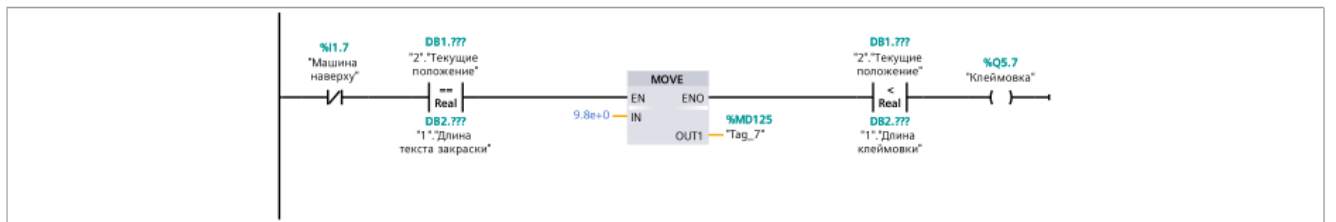
Network 16: Отпустить машину



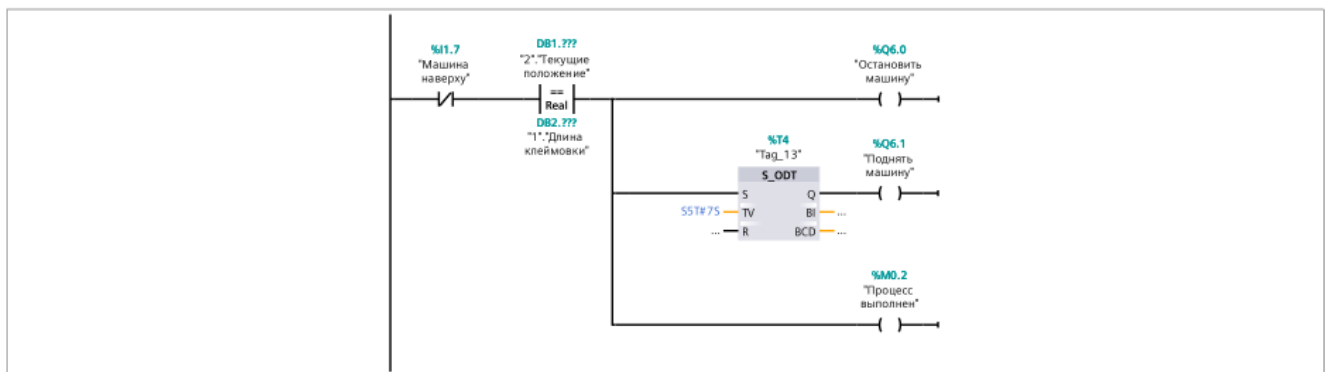
Network 17: Маркировка



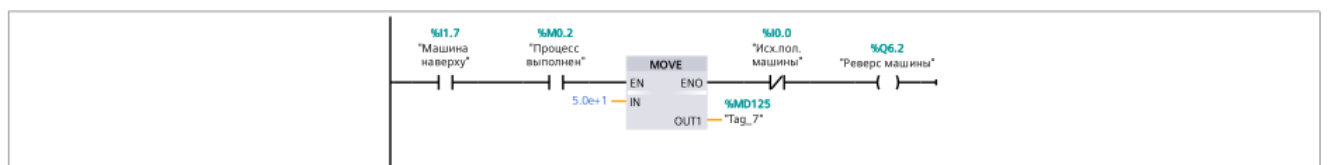
Network 18: Клеймовка



Network 19: Поднять КММ



Network 20: Реверс в исходное положение машины



ПРИЛОЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА