

Министерство науки и высшего образования 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.

Разработка мехатронной системы подачи слитков на устройства загрузки
в методические печи ТПЦ-1 ПАО «ЧТПЗ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА
ЮУрГУ 15.04.06.2018.1582.00 ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер
Преподаватель
Е.А. Маклакова

2018 г.

Руководитель работы
К.т.н., Доцент
Басков С.Н.

2018 г.

Нормоконтролер
Ст. преподаватель
С.С. Воронин

2018 г.

Автор работы
студент группы П-264
Сергей Алексеевич Фурсов

2018 г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Фурсов С.А. Разработка мехатронной системы подачи слитков на устройства загрузки в методические печи ТПЦ №1 ПАО «ЧТПЗ». - Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 76 с. 19 ил., библиогр. список – 13 наим., 5 прил.

После анализа работы участка загрузки слитков в печи был предложен способ автоматизации, посредством разработки мехатронной системы подачи слитков на устройства загрузки в методические печи, на основе установки в линию транспортировочного рольганга оптических фотодатчиков диффузионного типа.

Получены переходные процессы с математической модели, построенной в MATLAB Simulink. Разработана программа автоматической работы приводов устройства подачи слитков.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ	7
1.1 Технологический процесс ТПЦ-1.....	7
1.2 Технологический процесс участка загрузки слитков в методические печи..	10
1.3 Задачи, выдвигаемые к мехатронной системе подачи слитков на устройства загрузки в методические печи	12
1.4 Литературный обзор	13
2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	23
2.1 Устройство подачи слитков	23
2.1.1 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы электропривода	23
2.1.2 Выбор силового оборудования.....	35
2.1.3 Выбор элементов защиты.....	36
2.2 Расчет элементов регуляторов и реализация принципиальной электрической схемы САР	38
2.3 Выбор оптических датчиков и устройства считывания маркировки	49
3 ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ.....	54
3.1 Выбор аппаратной части	54
3.2 Разработка программы.....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	68
ПРИЛОЖЕНИЕ А Схемы	70

ВВЕДЕНИЕ

Направление мехатроника и робототехника включает в себя две области профессиональной деятельности:

1. Мехатроника;
2. Робототехника.

Мехатроника представляет собой область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.

Робототехника представляет собой область науки и техники, ориентированная на создание роботов и робототехнических систем, предназначенных для автоматизации сложных технологических процессов и операций, в том числе, выполняемых в недетерминированных условиях, для замены человека при выполнении тяжелых, утомительных и опасных работ.

К объектам профессиональной деятельности можно отнести:

1. Технические системы, агрегаты, машины и комплексы машин различного назначения, построенные на базе мехатронных модулей, используемых в качестве информационно - сенсорных, исполнительных и управляющих устройств;
2. Роботы и робототехнические системы как промышленного, так и непромышленного назначения;
3. Необходимое программно-алгоритмическое обеспечение для управления такими системами, их проектирования и эксплуатации.

1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1.1 Технологический процесс ТПЦ-1

Заготовки используемые для производства бесшовной трубы горячей прокатки поставляются на ЧТПЗ с таких металлургических предприятий как: АО «Уральская сталь», АО «Первоуральский новотрубный завод» (ПНТЗ), ЗАО ТД «Уралтрубо-сталь».

НЛЗ, ЦЛЗ и слитки, поступающие на завод, должны удовлетворять требованиям соответствующей нормативной документации (НД). Они поступают на участок отделки труб, слитков и заготовок спецназначения (УОТСиЗСН), где контролер отдела по работе с потребителями и поставщиками цеха технического контроля (ОРПП ЦТК) производит приемку металла на соответствие требованиям НД и данным сертификата качества поставщика заготовки. Заготовки и слитки по оперативному заданию производственно-диспетчерской группы (ПДГ) подвергаются механической обработке (обдирке и сверлению).

Затем на участок подготовки металла к производству слитки и ЦЛЗ отгружают партиями с УОТСиЗСН. Партией считается полное количество заготовок одной марки, одной плавки, одного диаметра (если в плавке имеется два или три размера). НЛЗ отгружают с наружного склада по заявке цеха №1. На этом участке контролер ОРПП сверяет с сертификатом на заготовку количество штанг, проверяет (по маркировке на штангах) диаметр, марке стали и длину штанги НЛЗ, а также проверяет сертификат качества на соответствие требованиям НД. Принятые НЛЗ разрезают на краты на установках типа Linsinger в соответствии с оперативным заданием ПДГ. Далее заготовки погружают с помощью металлургических мостовых кранов на тележки и отправляют на временный склад. Здесь заготовки подвергаются осмотру (с обязательной перекаткой на специальных стеллажах) и приемке НЛЗ, слитки, ЦЛЗ и гильзы, переданные с участка проката и предназначенные для повторной задачи в производство. Проверяется, чтобы отверстия в ЦЛЗ и слитках

было очищено от стружки и посторонних предметов перед посадкой в методическую нагревательную печь.

На временном складе оператор, по заданию, погружает заготовки со склада на слитковоз, с помощью которого осуществляется транспортировка заготовок с стеллажей к транспортировочному рольгангу, по которому заготовки поступают к методическим нагревательным печам, предназначенным для нагрева заготовок и гильз перед прошивкой, а также для полых заготовок и гильз перед прокаткой на пильгерстане.

Посад заготовок и гильз в печь производят согласно оперативному заданию ПДГ. К посадку в печь допускаются принятые либо отремонтированные заготовки и гильзы, при этом посад производится поплавно. Печи должны систематически заполнять металлом по мере их освобождения. Выдача нагретых заготовок и гильз из печи производят поочередно из левого и правого ряда в строгой согласованности с работой пильгерстана по сигналу (одному гудку), подаваемому старшим вальцовщиком пильгерстана.

После печи нагретая заготовка по транспортировочному рольгангу попадает на прошивной стан, где производится ее прошивка на валках и оправках с чистой поверхностью, без раковин, выбоин, трещин, вмятин, острых углов, наваров металла и прочих дефектов, способных вызвать образование дефектов, способных вызвать образование дефектов на поверхности гильз и неполадки в работе стана. Процесс прошивки ведется с непрерывным охлаждением валков и периодическим охлаждением стержня. Далее гильза передается для дальнейшей прокатки на пилигримовый стан без задержек.

Перед прокаткой гильзы проверяется настройка стана и состояние поверхности рабочего инструмента. Перед прокаткой в гильзу помещается 200-400 грамм графита, затем она помещается на дорн, предварительно охлажденный (на воздухе, затем в воде) и обработанный смазочным материалом в ванне способом окунания (при работе раствор смазки перемешивается подаваемым сжатым воздухом). Далее гильза в прокатный стан задается донным концом вперед, и производится прокат

трубы. Валки в установившемся процессе прокатки должны непрерывно охлаждаться водой. Величина подачи гильзы в стан за каждый оборот валков увеличивается за счет проката (удлинения заготовки).

После проката контроль качества поверхности труб контролер производит визуально непосредственно в выводном желобе стана, также контролируется длина трубы по разметке на выводном желобе.

По окончании проката трубы, она перемещается по рольгангам на участок «горячей резки» для отделения технологических отходов и порезки трубы, отрезка пильгерголки проводится дисковой пилой по участку перехода конуса пильгерголки в цилиндрическую трубу, также, по возможности, отрезаются видимые дефекты.

Далее трубы в соответствии с техническим заданием распределяются на различные технологические участки. Трубу могут отправить в газовую роликовую печь (ГРП) с дальнейшей транспортировкой ее в калибровочный стан либо сразу в «холодильник».

«Холодильник» представляет собой систему стеллажей, на которых трубы остывают до определенной температуры и используются в дальнейших операциях технологического процесса изготовления труб.

После порезки на пиле трубы поступают на входную сторону ГРП по загрузочному рольгангу. В ГРП трубы передвигаются с помощью печного рольганга, состоящего из водоохлаждаемых роликов. Где трубы нагреваются и на выходе из нее имеют температуру от 700 до 900 °С. На выходе из ГРП трубы передаются на входную сторону калибровочного стана, где они приобретают геометрические размеры, соответствующие технологическим инструкциям на производство конкретного вида труб. После чего они также поступают в «холодильник» для охлаждения.

После охлаждения труба поступает на правильную машину, где при помощи косых роликов выправляется до идеально прямой формы. Затем через передаточную решётку подаётся на инспекционный стол, где производится первичный контроль труб. После первичного контроля труб, если есть необходимость, они поступают на площадку наружного или внутреннего ремонта.

Затем труба попадает на систему стеллажей сортировки труб, которая направляет трубу на один из следующих участков:

1. Участок отрезных станков и приёмки труб (главной задачей которого является получение труб необходимой длины);

2. Участок обсадных труб (после участка отрезных станков трубы попадают линию нарезки труб и/или на муфтонавёрточный станок (линию поточной навёртки муфт). После чего труба отправляется на гидропресс, комплекс сдачи труб или сначала на стеллаж фасочных станков, а затем на комплекс сдачи труб. С комплекса сдачи труб трубы попадают на стеллаж выгрузки труб или же труба может быть сразу направлена на стеллаж фасочных станков);

3. Травильно-термическое отделение (труба отправляется на загрузочную машину, затем в печь камерную, печь секционную. Также она может быть отправлена на гидропресс. Предварительно перед ваннами травления и промывки труба, по надобности, отправляется на участок ремонта труб. Затем, после ванн, труба отправляется на участок ультразвукового контроля труб (УЗК);

4. Участок обработки труб спецназначения (на данном участке происходит обработка труб на различных станках);

5. Участок изготовления муфт (на данном участке изготавливаются муфты для обсадной линии);

6. Склад готовых труб.

1.2 Технологический процесс участка загрузки слитков в методические печи

В настоящее время с временного склада заготовки поступают на стеллаж с помощью электромагнитного крана, где они укладываются в порядке, предусмотренном технологическим заданием.

После того как оператору на пульт управления приходит сигнал от посадчика о том, что в печах освобождается место, и необходимо загрузить в них слитки, оператор в ручном режиме начинает отгрузку слитков нужной марки с стеллажа на слитковоз, который за один проход может транспортировать до трех слитков.

После проведения погрузки, оператор с пульта управления дает команду на запуск, и слитковоз начинает движение в сторону поезда на маршевой скорости до щеточных выключателей. При наезде лыжей, установленной на тележке слитковоза, на первый щеточный выключатель, слитковоз сбрасывает скорость и на медленной скорости доезжает до второго щеточного выключателя, при наезде на который – останавливается. После полной остановки на вал двигателя накладываются механические тормоза, предусмотренные конструкцией слитковоза. Только после этого у посадчика появляется возможность управления проводом рольганга, установленным на тележке слитковоза, и по его команде происходит отгрузка слитков на транспортировочный рольганг, по которому они поступают в зону поезда первой или второй методических нагревательных печей, предназначенных для нагрева заготовок перед прошивкой.

По окончании процесса отгрузки слитков, слитковоз по команде посадчика начинает движение в обратном направлении до первого щеточного выключателя, при наезде на который слитковоз сбрасывает скорость и доезжает до второго выключателя, после чего останавливается. В целях безопасности предусмотрен еще один щеточный выключатель на случай неисправности выключателя, отвечающего за остановку тележки слитковоза. Слитковоз питается от троллей расположенных в шахте под линией хода тележки.

Разработка мехатронной системы подачи слитков на устройства загрузки в методические печи предполагает сделать управление устройством подачи, а именно запуск и точный останов слитков напротив заслонок печей, автоматическим, управление будет производиться через контроллер. Снижение скорости и остановка слитка будет осуществляться посредством срабатывания оптических датчиков, установленных на линии устройства подачи. После того как слиток остановится напротив печи, оператор поезда произведет погрузку согласно времени, указанном в технологическом задании.

Система подачи слитков представляет собой транспортировочный рольганг, который состоит из секций, в которой располагается пять роликов. На каждую из

секций будет установлен индивидуальный привод. Кинематическая схема транспортировочного рольганга приведена на рисунке 1.1

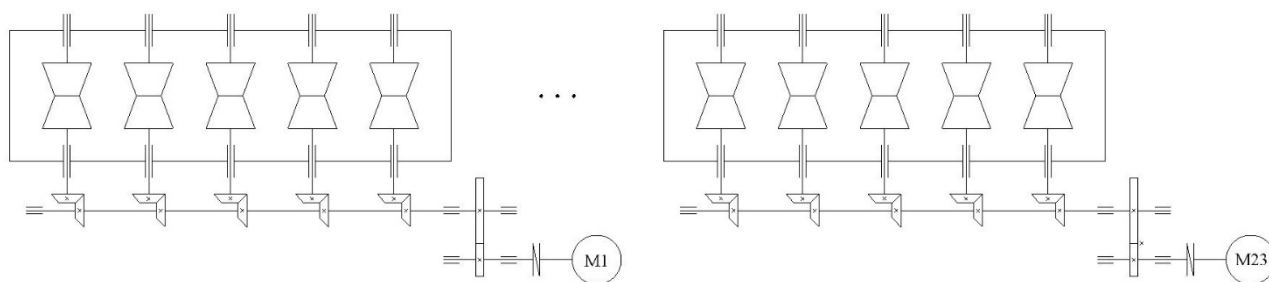


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема транспортировочного рольганга

Непосредственно перед заслонками печей предусматривается установка устройств для считывания маркировки, нанесенной на торцы слитка, для того чтобы отследить перемещение заготовки, а именно зафиксировать время загрузки слитка в печь определенной марки, согласно технологическому заданию. Сигнал с устройств считывания будет посылаться на высший уровень автоматизации, который в данной работе не рассматривается.

1.3 Задачи, выдвигаемые к мехатронной системе подачи слитков на устройства загрузки в методические печи

Проблемой работы участка загрузки слитков в методические печи является устройство подачи слитков на устройства загрузки, а именно отсутствие автоматического режима управления устройством транспортировки слитков.

На данный момент оно имеет такие недостатки как:

1. Ручной запуск устройством подачи слитков;
2. Запуск одновременно всех приводов устройства подачи;
3. Ручное позиционирование слитков напротив заслонок печей;
4. Релейно-контакторная схема управления двигателями устройства подачи.

В выпускной квалификационной работе с целью улучшения производительности на данном участке было принято решение разработать мехатронную систему

для подачи слитков на устройства загрузки. Она даст такие преимущества как:

1. Запуск и работа устройства подачи автоматическом режиме;
2. Последовательный запуск и торможение приводов (работа приводов, на которых в данный момент времени находится слиток);
3. Точное позиционирование слитков напротив заслонок методических печей;
4. Контроль за перемещением слитков с определенной маркой стали согласно технологическому заданию;
4. Управление двигателями устройства подачи через преобразователи частоты.

1.4 Литературный обзор

Целью литературного обзора является анализ и поиск решений для последующей автоматизации процесса работы слитковоза и участка загрузки заготовок в печи, т.е. необходимо, чтобы оператор сам производил процесс погрузки слитков на рольганг слитковоза, а все остальное выполнялось с помощью запрограммированного контроллера и системы распознавания маркировки, нанесенной на цилиндрическую поверхность металлической заготовки.

В патенте № 2408929 описывается способ изготовления штрих-кода. Согласно этой работе изобретение относится к штриховым кодам и может быть использовано при индивидуальной маркировке[10]. Согласно способу, на бумажный носитель дополнительно наносят параллельно расположенный индивидуальный штриховой и цифровой код, а пространство между основным и индивидуальными штриховыми и цифровыми кодами формирует невоспроизводимую картинку струйным принтером, электроды управления которого подключены к блоку питания через генератор случайных чисел. При формировании невоспроизводимой картинки используют по крайней мере два струйных принтера, функционирующих независимо друг от друга на разных цветах с установкой их под острым углом к формируемой невоспроизводимой картинке и с формированием протяженных следов, преимущественно перпендикулярных друг к другу. На рисунке 1.2 изображен предлагаемый индивидуальный информационно защищенный штрих-код. Он содержит основной

цифровой 1 и штриховой 2 коды. Помимо этого, невоспроизводимая картинка 5 содержит наклонные следы 6 от струйных принтеров разных цветов. Наклонные следы 6 от струйных принтеров преимущественно перпендикулярны друг другу. Невоспроизводимая картинка 5 снабжена перфорациями 7, разбросанными по закону случайных чисел, что индивидуальный цифровой код 3 сформирован путем случайного набора цифр с использованием генератора случайных чисел.

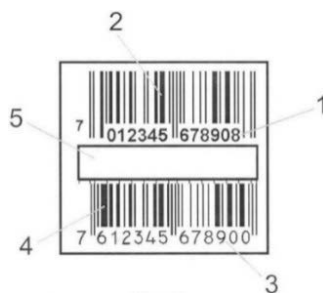


Рисунок 1.2 – Индивидуальный штрих-код

На рисунке 1.3 условно показана часть штрих-кода, а именно сама невоспроизводимая картинка 5, содержащая наклонные следы 6 и перфорации 7.

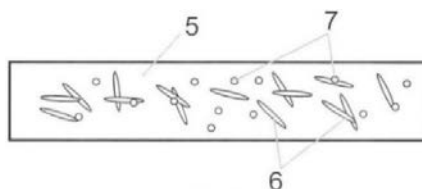


Рисунок 1.3 – Невоспроизводимая часть картинка

Особенность предлагаемого способа изготовления штрих-кода в том, что на бумажный носитель дополнительно наносят параллельно расположенный индивидуальный штриховой и цифровой код, а пространство между основным и индивидуальным штриховыми и цифровыми кодами формирует невоспроизводимую картинку струйным принтером, электроды управления которого подключены к блоку питания через генератор случайных чисел. Дополнительным признаком можно признать то, что при формировании невоспроизводимой картинки используют по крайней мере два струйного принтера, функционирующих независимо друг от

друга на разных цветах с установкой их под острым углом к формируемой невозпроизводимой картинке и с формированием протяженных следов, преимущественно перпендикулярных друг к другу.

На рисунке 1.4 условно показана схема, лежащая в основе способа создания вышеописанного штрих-кода. Принтер 8, расположенный перпендикулярно штрих-коду, формирует цифровые и штриховые коды 1, 2, 3, 4. Установленные под углом к формируемой невозпроизводимой картине 5 принтеры 9 и 10 создают эффект невозпроизводимости. Принтеры 9 и 10 соединены с независимым блоком питания 11 и 12 через генераторы случайных чисел 13 и 14 (точнее управляющие электроды принтера соединены через генераторы случайных чисел). Особое внимание при идентификации обращается на места наложения друг на друга наклонных следов 6 разных цветов.

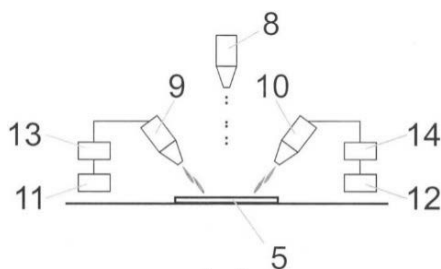


Рисунок 1.4 – Схема создания штрих-кода

В патенте № 2622861 описывается способ помехоустойчивой идентификации движущихся цилиндрических объектов и устройство для его осуществления [12]. Согласно этой работе способ и устройство предназначены для идентификации объектов путем считывания информации с носителей при помощи оптического излучения, с использованием определенной длины волны. Технический результат заключается в ускорении идентификации движущихся цилиндрических объектов с маркировкой кольцами заданного цвета. Устройство содержит блок светофильтров 9, информационный фотоприемник 7. Устройство снабжено микроконтроллером 6, аналого-цифровым преобразователем 11, блоком освеще-

щения 3, содержащим светодиоды 4, соединенным с блоком управления освещением 5, который соединен с микроконтроллером 6. Фотоприемник 7 снабжен фотодиодами 8, область спектральной чувствительности каждого из которых соответствует одному из заданных цветов символов маркировки. Фотоприемник 7 последовательно соединен с микроконтроллером 6. Цилиндрический объект 1, с нанесенными на его боковой поверхности маркировочными символами 2 в виде поперечных колец с ранее выбранным цветом, поступательно продвигают вдоль его продольной оси вручную или на транспортере вблизи блока освещения 3. При достижении объектом 1 заранее рассчитанной позиции на микроконтроллер 6 приходит сигнал. От микроконтроллера 6 через схему управления яркостью 5 поступает сигнал на блок освещения 3 о включении светодиодов 4, разделенных на группы. При этом каждая из групп светодиодов 4 настроена на излучение пучка света с определенной длиной волны, то есть заранее заданного цвета. Цилиндрический объект 1 проходит мимо блока освещения 3. Маркировочные символы 2 освещаются одновременно несколькими пучками монохромного света, каждый из которых имеет длину волны, соответствующую используемым цветам в маркировочных символах 2. Схема устройства распознавания маркировки приведена на рисунке 1.5

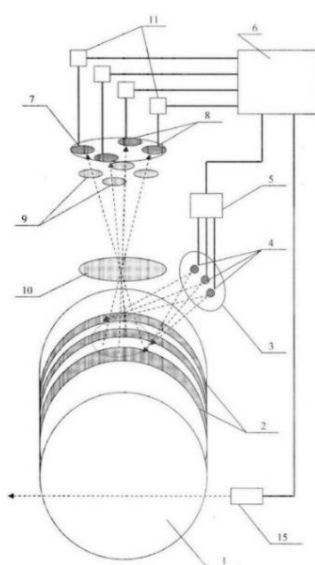


Рисунок 1.5 – Схема устройства

Данное изобретение относится к средствам для идентификации объектов путем считывания информации с носителей при помощи оптического излучения, с использованием определенной длины волны. Наиболее конкретно, для считывания информации с движущихся цилиндрических объектов для их идентификации. Изобретение может быть использовано в автоматизированных системах контроля изготовления и для выполнения логистических операций с разнообразными изделиями цилиндрической формы.

Способ помехоустойчивой идентификации движущихся цилиндрических объектов, включающий освещение поверхности объекта монохроматическим светом, перемещение объекта вдоль его продольной оси, считывание маркировочных символов с контролируемой поверхности, компьютерную обработку символов, отличающийся тем, что маркировочные символы выполняют в виде последовательно расположенных поперечных колец, каждое с заранее заданным цветом, охватывающих боковую поверхность объекта, освещают маркировочные символы пучками монохроматического света с длинами волн, соответствующими заданным цветам маркировочных символов, проецируют отраженные от маркировочных символов световые пучки через фокусирующий объектив и светофильтры, каждый из которых соответствует цвету пучка монохроматического света, на фотодиоды, преобразуют световые сигналы в электрические, определяют соотношение сигналов между собой, сравнивают соотношения электрических сигналов от всех фотодиодов с эталонной базой данных соотношений сигналов от всех фотодиодов для каждого цвета, на основании этого определяют цвет кольца, идентифицируют стартовый репер символов маркировки, регистрируют его и последующие кольца по мере продвижения цилиндрического объекта.

Способ отличающийся тем, что в качестве стартового репера из символов маркировки принимают кольцо, или несколько колец, или первое появление кольца заранее выбранного цвета. После определения цвета кольца идентифицируют фоновый промежуток, и регистрируют фоновый промежуток. В качестве фонового промежутка между символами маркировки принимают кольцо

черного цвета или другого заранее выбранного цвета. После регистрации заданного изначально количества символов маркировки, начиная от стартового репера, считывание маркировки объекта считают законченным.

Устройство для помехоустойчивой идентификации движущихся цилиндрических объектов, содержащее источник света, блок светофильтров, фотоприемник, отличающееся тем, что устройство снабжено микроконтроллером, соединенным с аналого-цифровым преобразователем и блоком освещения, содержащим светодиоды, обеспечивающие излучение пучков света, каждый с длиной волны, соответствующей заданному цвету, при этом фотоприемник снабжен фотодиодами, область спектральной чувствительности каждого из которых соответствует одному из заданных цветов символов маркировки, при этом фотоприемник соединен с микроконтроллером, предназначенным для определения цвета колец на основе соотношений сигналов для каждого цвета, хранящихся в памяти микроконтроллера, а после определения стартового репера для включения регистратора кода движущегося цилиндрического объекта. Блок освещения снабжен блоком управления, который соединен с микроконтроллером. Также блок освещения снабжен светодиодами, разделенными на группы. В качестве фотодиодов использован многосекционный фотодиод. Фотодиоды снабжены светофильтрами красного, зеленого, синего цветов.

В патенте № 2439701 рассмотрен способ считывания, по меньшей мере, одного штрих-кода и система считывания штрих-кода [11]. Изобретение относится к способу считывания, по меньшей мере, одного штрих-кода, нанесенного на основу, и к соответствующей системе считывания штрих-кода. Технический результат - усиление защиты штрих-кода от попыток его воспроизведения. Способ включает следующие этапы:

1. При вводе штрих-кода в систему считывания генерируют, по существу, автоматически, по меньшей мере один аутентификационный элемент, относящийся к собственной физической характеристике основы и независимый от данных, содержащихся в штрих-коде;

2. Разрешают считывание штрих-кода только в случае положительного результата аутентификации основы или разрешают считывание штрих-кода независимо от результата аутентификации основы и в случае отрицательного результата аутентификации основы запрещают доступ только к одной части данных, содержащихся в штрих-коде и/или к любым данным, возможно связанным со штрих-кодом и хранящимся на отдельном от основы носителе данных. Представлена также соответствующая система считывания штрих-кода.

Из международной заявки WO 03/081522 известен способ одновременного выполнения идентификации и аутентификации изделия, имеющего штрих-код, и по меньшей мере одну печатную люминесцентную зону, находящуюся, например, рядом со штрих-кодом. Устройство считывания штрих-кода содержит диод, генерирующий лазерный луч с заданной длиной волны, который в процессе считывания кода осуществляет сканирование этого кода и люминесцентной зоны. Это устройство включает в себя стандартную систему анализа света, отражаемого и поглощаемого белыми и черными штрихами кода, а также второй детектор флуоресценции, создаваемой люминесцентной зоной. Благодаря такому способу удается повысить степень защиты изделия, так как при этом, благодаря наличию люминесценции, предотвращается возможность воспроизведения штрих-кода простым фотокопированием. Однако рассмотренный выше способ не позволяет предотвратить воспроизведение люминесцентной зоны посредством печатания с использованием люминесцентных соединений.

В международной заявке WO 01/28781 описана этикетка, имеющая штрих-код, штрихи которого выполнены с использованием смеси чернил, чувствительных к ультрафиолетовому излучению, и чернил, чувствительных к инфракрасному излучению. Этот штрих-код невидим невооруженным глазом при обычном освещении. Его считывание осуществляется посредством воздействия рассеянным УФ-излучением. Предусмотрена дополнительная проверка с помощью инфракрасного луча, обеспечивающего обнаружение наличия чернил, чувствительных к инфракрасному излучению.

В патенте № 2339996 рассмотрена магнитная система маркировки, способ и

установка для ее изготовления. Изобретение относится к маркировке товаров, продукции или предметов для их идентификации и/или аутентификации. Система маркировки содержит нити со сверхмягкими ферромагнитными свойствами, укладываемые на поверхности или внутри подложки в соответствии с заранее определенными параллельными положениями с постоянным промежутком по заранее определенной сетке. Эти нити могут присутствовать или отсутствовать в каждом из положений, образуя при этом обнаруживаемый бинарный код. Система маркировки может быть выполнена, в частности, в виде этикетки с магнитным кодом. Предлагается также способ непрерывного изготовления такой маркировки путем включения ферромагнитных нитей в адгезивный комплекс. Техническим результатом является создание простой и недорогостоящей системы маркировки, которая обеспечивает исключительную надежность и кодирование с использованием максимального количества комбинаций.

Что касается считывающего устройства, используемого для "считывания" маркировок, то оно выполняется портативным и содержит катушку возбуждения, обеспечивающую создание в пространстве или в непосредственной близости от нити переменного магнитного поля, напряженность которого превышает напряженность поля, насыщающего распознаваемую нить, и две уравновешенные приемные катушки, установленные противоположно друг другу таким образом, чтобы не обнаруживать никакого ответного сигнала при отсутствии нити, расположенной рядом, внутри объемной зоны возбуждения. Если же одна из ферромагнитных нитей маркировки оказывается рядом с катушкой возбуждения, последняя испытывает влияние магнитного поля этой нити, и наведенное намагничивание нити будет описывать гистерезисный цикл с частотой, равной частоте возбуждения. В этом случае нить будет излучать в ответ электромагнитное поле такой же частоты, которое будет обнаружено в основном той из приемных катушек, которая находится ближе всего к нити, благодаря соответствующей конструкции считывающего устройства. При помощи соответствующей обработки сигнала, переданного таким образом на считывающее устройство, можно определить наличие нити вблизи этого считыва-

ющего устройства. Следовательно, при перемещении этого портативного считывающего устройства в направлении, поперечном относительно нитей магнитной маркировки, можно моментально "считывать" бинарный код, заложенный в эту маркировку [9].

На рисунке 1.6 показана магнитная маркировка, выполненная в виде этикетки 1 с магнитным кодом. Эта этикетка содержит лист-подложку 2 с адгезивной стороной и защитный лист 3 типа силиконовой бумаги, наложенный на адгезивную сторону листа-подложки 2. На этикетке 1 с магнитным кодом заранее определены параллельные позиции 4, отделенные друг от друга постоянным промежутком или "шагом" "e". В некоторые из этих заранее определенных позиций 4 уложены параллельные нити 5 со сверхмягкими ферромагнитными свойствами. Отсутствие или наличие нитей 5 в различных возможных позициях 4 определяет считываемый бинарный код, характерный для каждой этикетки 1. Ближе к краю этикетки 1 маркировка предпочтительно содержит также первую нить 6 с ферромагнитными свойствами, являющуюся отметкой начала "зоны считывания", в которой находятся другие нити 5. Все нити 5 и 6 фиксируются в своих заранее определенных позициях путем простого приклеивания к адгезивной стороне листа-подложки 2. Защитный лист 3 изначально закрывает эти нити 5 и 6. После удаления защитного листа 3 этикетка 1 с магнитным кодом может быть закреплена путем наклеивания на изделие или предмет. Перемещение считывающего устройства (на фигуре не показано) в направлении F, поперечном по отношению к нитям 5 и 6, позволяет "считывать" бинарный код, образованный этими нитями.

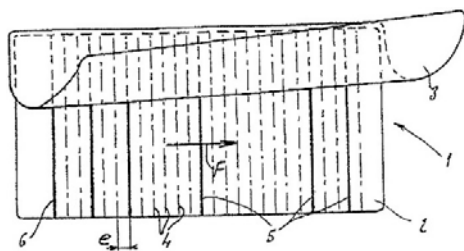


Рисунок 1.6 – Вид спереди этикетки с магнитным кодом

В результате проведения литературного обзора, с целью посмотреть, как решались подобные проблемы, было принято решение, что в рамках выпускной квалификационной работы предусматривается разработка и реализация автоматического управления подачи слитков на устройства загрузки в методические печи, производить считывание маркировки с слитков для отслеживания перемещения заготовки, фиксирования времени загрузки слитка в печь, согласно технологическому заданию. Маркировка заготовок будет производиться с помощью нанесения на торцевые поверхности слитков этикеток с штрих-кодом, которые можно создать на промышленном принтере.

Также предусмотрена замена РКСУ устройства подачи слитков на преобразователь частоты.

2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Устройство подачи слитков

2.1.1 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы электропривода

Так как мехатронная система состоит из силовой и управляющей частей, поэтому для выбора силовой части [3], а именно электродвигателя, необходимо рассчитать и построить нагрузочную диаграмму и тахограмму работы электропривода устройства подачи.

Требования к электроприводу:

1. Регулирование скорости в диапазоне 1:10;
2. Исключение статической ошибки в регулировании скорости;
3. Ограничение ускорения и замедления на уровне 0,5 м/с²;
4. Обеспечение точного останова для слитков с разным диапазоном масс, с точностью до 0,5 мм.
6. Обеспечение согласованной совместной работы секций.

Угловая скорость движения роликов рольганга:

$$\omega_{\text{ролл}} = \frac{2 \cdot v_{\text{ролл}}}{d_{\text{ролл}}}, \quad (1)$$

где $d_{\text{ролл}}=0,2$ м – диаметр ролика;

$v_{\text{ролл}}=1$ м/с – линейная скорость ролика.

$$\omega_{\text{ролл}} = \frac{2 \cdot 1}{0,2} = 10 \text{ рад/с.}$$

Угловая скорость движения роликов, приведенная к валу двигателя, определяется по формуле:

$$\omega_{\text{рол.п}} = \omega_{\text{рол}} \cdot i, \quad (2)$$

где i – передаточное число редуктора, равное 10.

$$\omega_{\text{рол.п}} = 10 \cdot 10 = 100 \text{ рад/с.}$$

Момент статического сопротивления ролика M_c рольганга складывается из момента холостого хода $M_{\text{хх}}$ и момента, требующегося для транспортирования металла по ролику рольганга $M_{\text{тр}}$ [1]:

$$M_c = M_{\text{хх}} + M_{\text{тр}}. \quad (3)$$

Момент холостого хода одного ролика, приведенный к валу двигателя, определяется по формуле:

$$M_{\text{хх}} = \frac{m_{\text{рол}} \cdot g \cdot d_{\text{ш}} \cdot \mu_{\text{ш}}}{2 \cdot i \cdot \eta_{\text{хх}}}, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²;

$\eta_{\text{хх}}$ – коэффициент полезного действия редуктора на холостом ходу;

$\mu_{\text{ш}} = 0,05$ – коэффициент трения скольжения в роликовых подшипниках.

Коэффициент полезного действия редуктора на холостом ходу определяется по формуле:

$$\eta_{\text{хх}} = 0,5 \cdot \eta_{\text{н}}. \quad (5)$$

$$\eta_{xx} = 0,5 \cdot 0,96 = 0,48.$$

$$M_{xx} = \frac{80 \cdot 9,81 \cdot 0,13 \cdot 0,05}{2 \cdot 10 \cdot 0,48} = 0,531 \text{ Нм.}$$

Момент, требуемый для транспортирования металла по ролику, обычно невелик, то в этом случае коэффициент полезного действия при транспортировании $\eta_{тр}$ можно принять равным коэффициенту полезного действия при холостом ходе η_{xx} , тогда определим момент транспортирования металла по одному ролику:

$$M_{тр} = \frac{M_{мет} \cdot g \cdot (d_{ш} \cdot \mu_{ш} + 2 \cdot f)}{2 \cdot i \cdot \eta_{тр}}, \quad (6)$$

где $M_{мет}$ – масса металла, приходящаяся на один ролик, кг;

$f=0,08$ – коэффициент трения качения металла по ролику.

Определить массу металла, приходящуюся на один ролик, можно по формуле:

$$M_{мет} = \frac{M_{слит}}{n_{рол}}, \quad (7)$$

где $M_{слит.макс}=3000$ кг – масса слитка;

$M_{слит.мин}=2000$ кг – масса слитка;

$n_{рол}=5$ шт – количество роликов.

Для слитка максимальной массы:

$$M_{мет.макс} = \frac{3000}{5} = 600 \text{ кг.}$$

Для слитка минимальной массы:

$$M_{мет.мин} = \frac{2000}{5} = 400 \text{ кг.}$$

Момент, требуемый для транспортирования металла по ролику, обычно невелик, то в этом случае коэффициент полезного действия при транспортировании $\eta_{тр}$ можно принять равным коэффициенту полезного действия при холостом ходе $\eta_{хх}$, тогда определим момент транспортирования металла по одному ролику, для максимальной массы слитка:

$$M_{тр1} = \frac{600 \cdot 9,81 \cdot (0,13 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,07)}{2 \cdot 10 \cdot 0,48} = 89,823 \text{ Нм.}$$

Для слитка минимальной массы:

$$M_{тр2} = \frac{400 \cdot 9,81 \cdot (0,13 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,07)}{2 \cdot 10 \cdot 0,48} = 59,882 \text{ Нм.}$$

Полный момент статического сопротивления, приведенный к валу двигателя:

$$M_c = M_{хх} + M_{\text{макс}}. \quad (8)$$

Для слитка максимальной массы:

$$M_{c1} = 0,531 + 89,823 = 90,354 \text{ Нм.}$$

Для слитка минимальной массы:

$$M_{c2} = 0,531 + 59,882 = 60,413 \text{ Нм.}$$

Расчетная мощность двигателя определяется по формуле:

$$P_{\text{расч}} = M_c \cdot \omega_{\text{рол.п}}. \quad (9)$$

$$P_{\text{расч}} = 90,354 \cdot 100 = 9035,4 \text{ Вт.}$$

Принимая во внимание необходимость обеспечения высокой надежности устройства подачи слитков, как технологической единицы, на каждую из секций устройства был установлен асинхронный двигатель типа АИР160S6 с запасом по мощности.

Технические характеристики которого приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики двигателя АИР160S6

Параметр	Значение
Номинальная мощность, P_n кВт	11
Напряжение, U В	380
Ток, I_n А	23
Частота вращения, n об/мин	970
КПД, %	87
$\cos\varphi$	0,82
M_{max}/M_n	2,9
$M_{\text{п}}/M_n$	1,9
$I_{\text{п}}/I_n$	6,5
Динамический момент инерции ротора, J кг·м ²	0,07

Номинальная скорость выбранного двигателя рассчитывается по формуле:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_n}{30}, \quad (10)$$

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,67 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя рассчитывается по формуле:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega}, \quad (11)$$

$$M_H = \frac{11000}{104,67} = 105,092 \text{ Нм.}$$

Двигатель для ролика рольганга выбирается из условия:

$$M_{д.н.} \geq M_э, \quad (12)$$

где $M_э$ – эквивалентный (среднестатический) момент, Нм.

$$M_э = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 \cdot t_i}{t_{ц}}}. \quad (13)$$

Предварительно рассчитывается $M_э$ без учета динамических моментов:

$$M_э = \sqrt{\frac{0,531^2 \cdot 11,4 + 90,354^2 \cdot 0,7}{12,1}} = 21,738 \text{ Нм.}$$

При проверке по перегрузочной способности двигателя необходимо выполнение условия:

$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_H} \leq \lambda_{дв}, \quad (14)$$

где M_{\max} – максимальный момент в нагрузки, Нм.

$$\lambda = \frac{90,354}{105,092} = 0,86 < 2,9.$$

Выбранный двигатель серии АИР160S6 был проверен по эквивалентному моменту (без динамических моментов) и перегрузочной способности, при этом все условия выполняются, следовательно, выбранный двигатель может предварительно быть использован в качестве приводного двигателя.

Суммарный момент инерции ротора двигателя J_d и муфты J_m :

$$J_1 = J_d + J_m, \quad (15)$$

где $J_m = 0,003 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

$$J_1 = 0,07 + 0,003 = 0,073 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Суммарный момент инерции ролика J_p и муфты J_m :

$$J_2 = J_p + J_m. \quad (16)$$

Момент инерции ролика J_p , приведенный к валу двигателя:

$$J_p = \frac{m_{\text{ролл}} \cdot d_{\text{ролл}}^2}{2 \cdot i}, \quad (17)$$

$$J_p = \frac{80 \cdot 0,2^2}{2 \cdot 10} = 0,16 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Так как на транспортировочном ролеганге используется секционный привод, то суммарный момент инерции роликов в секции равен:

$$J_{p\Sigma} = n \cdot J_p, \quad (18)$$

где n – число роликов в секции, шт.

$$J_{p\Sigma}=5\cdot 0,16=0,8.$$

$$J_2=0,8+0,003=0,803 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Максимальный момент инерции металлической заготовки:

$$J_{\text{мет.макс}}=M_{\text{мет.макс}}\cdot\left(\frac{d_{\text{пол}}}{2\cdot i}\right)^2, \quad (19)$$

$$J_{\text{мет.макс}}=600\cdot\left(\frac{0,2}{2\cdot 10}\right)^2=0,06 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Минимальный момент инерции металлической заготовки:

$$J_{\text{мет.мин}}=M_{\text{мет.мин}}\cdot\left(\frac{d}{2\cdot i}\right)^2, \quad (20)$$

$$J_{\text{мет.мин}}=400\cdot\left(\frac{0,2}{2\cdot 10}\right)^2=0,04 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Разница момента инерции при транспортировании заготовок максимальной и минимальной массы:

$$\Delta J=J_{\text{мет.макс}} - J_{\text{мет.мин}}, \quad (21)$$

$$\Delta J=0,06-0,04=0,02 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Суммарный момент инерции для заготовки:

$$J_{\Sigma}=J_1+J_2+J_{\text{мет.}} \quad (22)$$

Суммарный момент инерции для заготовки максимальной массы:

$$J_{\Sigma_{\max}} = 0,073 + 0,8 + 0,06 = 0,933 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Суммарный момент инерции для заготовки минимальной массы:

$$J_{\Sigma_{\min}} = 0,073 + 0,8 + 0,04 = 0,913 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Для системы управления перемещением слитков к печам, необходимо реализовать точную остановку слитка напротив створки методической печи.

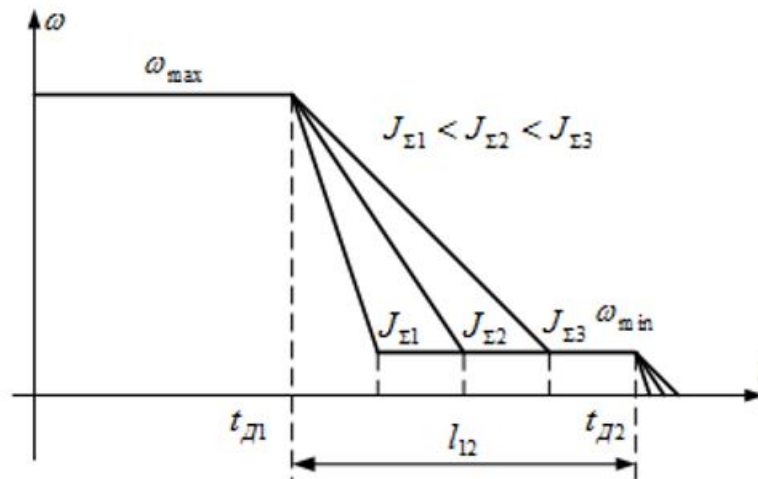


Рисунок 2.1 – Точная остановка электропривода

Минимальное расстояние для установки оптических датчиков рассчитывается по формуле:

$$l_{12} \geq \frac{\omega_{\max}^2 \cdot J_{\text{мет}} \cdot d_{\text{рол}}}{(M_{\max} - M_c) \cdot i} \quad (23)$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{\text{макс}} = 2,9 \cdot M_{\text{н}}, \quad (24)$$

$$M_{\text{макс}} = 2,9 \cdot 105,092 = 304,767 \text{ Нм.}$$

$$l_{12} \geq \frac{100^2 \cdot 0,933 \cdot 0,2}{(304,767 - 90,354) \cdot 10} = 0,87 \text{ м.}$$

Скорость торможения определяется по формуле:

$$\omega_{\text{мин}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta l \cdot i \cdot (M_{\text{макс}} - M_{\text{с}})}{r_{\text{рол}} \cdot \Delta J}}. \quad (25)$$

Для слитка максимальной массы:

$$\omega_{\text{мин1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,005 \cdot 10 \cdot (304,767 - 90,354)}{0,2 \cdot 0,02}} = 46,31 \text{ рад/с.}$$

Для слитка минимальной массы:

$$\omega_{\text{мин2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,005 \cdot 10 \cdot (304,767 - 60,413)}{0,2 \cdot 0,02}} = 49,43 \text{ рад/с.}$$

Угловое ускорение двигателя:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}, \quad (26)$$

где $d\omega = \omega_2 - \omega_1$ – изменение угловой скорости, рад/с;

dt – время изменения скорости, с.

$$\varepsilon = \frac{100-0}{2} = 50 \text{ рад/с}^2.$$

Динамический момент двигателя, необходимый для преодоления сил инерции ролика, двигателя и муфт:

$$M_{д1} = \left(J_1 + \frac{J_2}{i} \right) \cdot \varepsilon_p, \quad (27)$$

где J_1 – момент инерции ротора двигателя и муфты, кг·м²;

J_2 – момент инерции ролика и муфты, кг·м²;

ε_p – угловое ускорение при разгоне двигателя, рад/с².

$$M_{д1} = (0,073 + 0,8) \cdot 50 = 43,65 \text{ Нм.}$$

Динамический момент двигателя, необходимый для преодоления сил инерции ролика, двигателя, муфт и металла:

$$M_{д2} = J_{\Sigma \max} \cdot \varepsilon_p, \quad (28)$$

$$M_{д2} = 0,933 \cdot 50 = 46,65 \text{ Нм.}$$

При пуске электропривода полный момент двигателя определяется по формуле:

$$M_{\text{пп}} = M_{\text{хх}} + M_{д1}, \quad (29)$$

$$M_{\text{пп}} = 0,531 + 43,65 = 44,181 \text{ Нм.}$$

При торможении электропривода полный момент двигателя определяется по формуле:

$$M_{\text{птт}} = M_c - M_{\text{д2}}, \quad (30)$$

$$M_{\text{птт}} = 90,354 - 46,65 = 43,704 \text{ Нм.}$$

Для того, чтобы окончательно определиться с выбором двигателя, необходимо проверить его через эквивалентный момент с учетом всех динамических моментов, согласно формуле 26:

$$M_э = \sqrt{\frac{44,181^2 \cdot 2 + 0,531^2 \cdot 11,4 + 90,354^2 \cdot 0,7 + 43,704^2 \cdot 0,5 + 90,354^2 \cdot 0,5 + 43,704^2 \cdot 0,64}{16,6}} = 32,491 \text{ Нм.}$$

Выбранный двигатель серии АИР160S6 был проверен по эквивалентному моменту с учетом всех динамических моментов, при этом выполняется условие 25, следовательно, выбранный двигатель может быть использован в качестве приводного двигателя секции роликов устройства подачи слитков.

Тахограмма и нагрузочная диаграмма работы электропривода секции транспортного рольганга, при транспортировке заготовки в первую методическую печь, представлены на рисунках 2.2 и 2.3. Они отображают весь технологический процесс секции, которая отвечает за позиционирование слитка напротив заслонок методических печей.

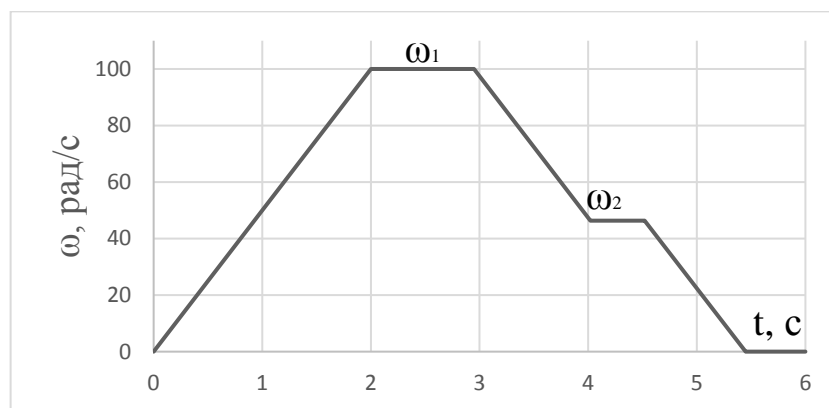


Рисунок 2.2 – Тахограмма работы электропривода секции устройства подачи

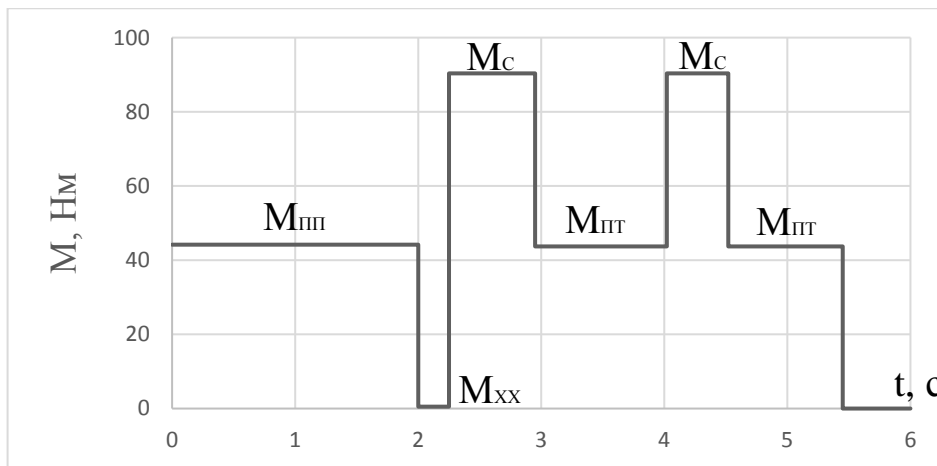


Рисунок 2.3 – Нагрузочная диаграмма работы электропривода устройства подачи

2.1.2 Выбор силового оборудования

Так как устройство подачи слитков состоит из секций, то на каждую из секций будет установлен индивидуальный привод. Для транспортировки заготовки до методической первой печи используется 8 секций, до второй печи – 15 секций.

Расчет и выбор преобразователя частоты зависит от номинального тока двигателя и от его перегрузочной способности.

Ток преобразователя частоты определяется по формуле:

$$I_{пч} = \frac{\lambda_{дв}}{\lambda_{пч}} \cdot I_{дв.н}, \quad (31)$$

где $\lambda_{дв}$ – перегрузочная способность двигателя;

$\lambda_{пч}$ – перегрузочная преобразователя частоты.

$$I_{пч} = \frac{2,9}{2} \cdot 23 = 33,35 \text{ А.}$$

По полученному значения тока преобразователя частоты выбирается преобразователь частоты чей номинальный ток удовлетворяет условию [7]:

$$I_n > I_{расч} \quad (32)$$

Выбирается преобразователь частоты Siemens G120P 6SL3223- 0DE32-2AA0, чей номинальный ток удовлетворяют условию (32). Технические данные преобразователя частоты приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические данные преобразователя частоты

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, U В	400
Частота питающей сети, f Гц	50
Номинальный ток, I _n А	38
Номинальная мощность, P _n кВт	18,5
Перегрузочная способность по току, λ	2

Так как в системе происходит быстрая остановка нагрузок с высокими моментами инерции, но необходимо использовать реостатное торможение, для чего выбирается тормозной резистор серии Sinamics 6SL3201-0BE23-8AA0, подходящий под типоразмер преобразователя частоты и позволяющий решить поставленную задачу. Технические данные тормозного резистора приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические данные тормозного резистора

Параметр	Значение
Сопротивление, Ом	30
Активная мощность, кВт	0,925
Максимальная мощность, кВт	18,5

Силовая схема электропривода секции устройства подачи слитков на устройства загрузки в методические печи приведена на рисунке А1.

2.1.3 Выбор элементов защиты

Для защиты инвертора преобразователя от жестких условий технологической линии используется сетевая дроссель, также он поддерживает ограничитель напряжения, сглаживает гармоники и шунтирует провалы коммутации [4].

Исходя из номинального тока выбранного преобразователя частоты, выбирается сетевая дроссель серии Sinamics 6SL3203-0CE23-8AA0, так как его номинальный ток больше номинального тока преобразователя частоты.

Технические данные сетевого дросселя приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические данные сетевого дросселя

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, U В	400
Частота питающей сети, f Гц	50
Номинальный ток, I _н А	47

Для исключения помех при передаче напряжения до двигателя, на расстояние более 3 метров, выбираем дроссель двигателя серии Sinamics 6SE6400-3TC03-8DD0.

Технические данные дросселя двигателя преведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Технические данные дросселя двигателя

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, U В	400
Частота питающей сети, f Гц	50
Номинальный ток, I _н А	38

Для подачи внешнего напряжения на датчики и устройство идентификации маркировки выбирается внешний источник питания серии Sitop PSU100C 24V/2.5A.

Для защиты аппаратуры от воздействия сверхтоков и от токов перегрузки выбирается трехполюсный автоматический выключатель чей номинальный ток удовлетворяет условию [6]:

$$I_H > I_{\text{расч}}, \quad (33)$$

где $I_{\text{расч}}=45,2$ А – расчетный ток, равный номинальному току преобразователя.

Выбирается трехполюсный автоматический выключатель фирмы АВВ типа S203-B50, чей номинальный ток срабатывания I_H равен 50А.

2.2 Расчет элементов регуляторов и реализация принципиальной электрической схемы САР

В связи с тем, что в каталогах фирмы производителя не указываются все параметры обмотки двигателя, необходимые для расчета статических характеристик двигателя, а также расчета регуляторов, то все необходимые для этого данные рассчитываются с некоторой погрешностью, согласно методическим указаниям [2].

Определение номинального скольжения:

$$s_H = \frac{n_s - n_H}{n_s}, \quad (34)$$

где $n_s=1000$ об/мин – синхронная скорость вращения, об/мин;

$n_H=970$ об/мин – номинальная скорость вращения двигателя, об/мин.

$$s_H = \frac{1000-970}{1000} = 0,03.$$

Расчет величины критического скольжения:

$$s_k = \left(m_{\text{макс}} + \sqrt{m_{\text{макс}}^2 - 1} \right) \cdot s_H, \quad (35)$$

где $m_{\text{макс}}=M_{\text{макс}}/M_H=2,9$ – отношение момента критического к моменту номинальному.

$$s_k = \left(2,9 + \sqrt{2,9^2 - 1} \right) \cdot 0,03 = 0,17.$$

Конструктивный коэффициент. Первоначально задается значение коэффициента s_1 в диапазоне от 1,02 до 1,05 для предварительного расчета параметров схемы замещения.

После расчета индуктивностей, входящих в уравнение сравниваются полученные значения с первоначально выбранными и при необходимости расчет повторяется для другого значения s_1 .

Приведенное активное сопротивление ротора:

$$R_r' = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_H + \Delta P_{\text{мех}})}{I_H^2 \cdot ((1 - s_H)/s_H)}, \quad (36)$$

где $\Delta P_{\text{мех}} = 0,01 \cdot P_H$ – механические потери Вт;

P_H – номинальная мощность двигателя, Вт;

I_H – номинальный ток двигателя, А.

$$R_r' = \frac{1}{3} \cdot \frac{(11000 + 0,01 \cdot 11000)}{23^2 \cdot ((1 - 0,03)/0,03)} = 0,217 \text{ Ом.}$$

Пренебрегая потерями в ферромагнитном сердечнике и добавочными потерями в машине, можно считать, что мощность, выделяемая в активном сопротивлении статорной обмотки, определяется выражением [8]:

$$P_{\text{эл1}} \approx 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_H \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \eta) - 3 \cdot I_H^2 \cdot R_r \cdot c^2 - \Delta P_{\text{мех}} = 3 \cdot I_H^2 \cdot R_s. \quad (37)$$

Отсюда найдем величину активного сопротивления статора:

$$R_s = \frac{(U_H/\sqrt{3}) \cdot \cos\varphi \cdot (1-\eta)}{I_H} - c^2 \cdot R_r - \frac{\Delta P_{\text{мех}}}{3 \cdot I_H^2}. \quad (38)$$

$$R_s = \frac{(400/\sqrt{3}) \cdot 0,82 \cdot (1-0,87)}{23} - 1,02^2 \cdot 0,217 - \frac{110}{3 \cdot 23^2} = 0,689 \text{ Ом.}$$

Приведенная индуктивность рассеяния статора и ротора:

$$L_{1s} \cong L_{1r} = \frac{U_H/\sqrt{3}}{4 \cdot \pi \cdot f \cdot (1+c^2) \cdot k_I \cdot I_H}, \quad (39)$$

где f – частота питающей сети, Гц.

$$L_{1s} \cong L_{1r} = \frac{400/\sqrt{3}}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (1+1,02^2) \cdot 6,5 \cdot 23} = 0,0012 \text{ Гн.}$$

Индуктивность обмотки статора и приведенная индуктивность обмотки ротора:

$$L_s \cong L_r' = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{U_H/\sqrt{3}}{I_H \cdot \sqrt{1-(\cos\varphi)^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot M_{\text{max}} \cdot s_H}{P_H \cdot s_{\text{кр}} \cdot (U_H/\sqrt{3})}}, \quad (40)$$

$$L_s \cong L_r' = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \frac{400/\sqrt{3}}{23 \cdot \sqrt{1-0,82^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 90,354 \cdot 0,03}{11000 \cdot 0,17 \cdot (400/\sqrt{3})}} = 0,056 \text{ Гн.}$$

Индуктивность контура намагничивания:

$$L_m = L_s - L_{1s}, \quad (41)$$

$$L_m = 0,056 - 0,0012 = 0,0548 \text{ Гн.}$$

Проверка правильности выбора коэффициента приведения:

$$c_1 = 1 + \frac{L_{1s}}{L_m}, \quad (42)$$

$$c_1 = 1 + \frac{0,0012}{0,0548} = 1,02.$$

Коэффициент c_1 равен значению принятого коэффициента $c_1 = 1,02$, то считаются рассчитанные параметры схемы замещения АД наиболее реальными. В таблице 2.6 представлены рассчитанные обмоточные данные двигателя.

Таблица 2.6 – Обмоточные данные асинхронного двигателя

Параметр	Значение
Активное сопротивление статора R_s , Ом	0,689
Активное приведенное сопротивление ротора $R'r$, Ом	0,217
Индуктивность статора L_s , Гн	0,056
Приведенная индуктивность ротора $L'r$, Гн	0,056
Индуктивность рассеяния статора L_{1s} , Гн	0,0012
Взаимная индуктивность L_m , Гн	0,0548

Электромагнитная постоянная времени статорной цепи:

$$T_s = \frac{L_s}{R_s}, \quad (43)$$

$$T_s = \frac{0,056}{0,689} = 0,081 \text{ с.}$$

Электромагнитная постоянная времени роторной цепи:

$$T_{\Psi}=T_r=\frac{L_r}{R_r}, \quad (44)$$

$$T_{\Psi}=T_r=\frac{0,056}{0,217}=0,258 \text{ с.}$$

Динамические свойства преобразователя частоты с блоками измерения и преобразования координат могут быть представлены функцией инерционного звена.

$$W_{\text{ПЧ}}(p)=\frac{K_{\text{ПЧ}}}{T_{\mu}p+1}, \quad (45)$$

где $T_{\mu} = 0,002 \text{ с}$ – некомпенсируемая малая постоянная времени ПЧ;

$K_{\text{ПЧ}}$ – коэффициент усиления преобразователя частоты, рассчитываемый по формуле:

$$K_{\text{ПЧ}}=\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}=\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ЗМ}}}, \quad (46)$$

$$K_{\text{ПЧ}}=\frac{380}{10}=38.$$

$$W_{\text{ПЧ}}(p)=\frac{38}{0,002p+1}.$$

Канал регулирования потокосцепления содержит два апериодических звена с передаточными функциями:

$$W_1 = \frac{1/R_s}{T_s p + 1}, \quad (47)$$

$$W_1' = \frac{L_m}{T_r p + 1}. \quad (48)$$

Поэтому система регулирования канала потокосцепления строится как двухконтурная система подчиненного регулирования - с внутренним контуром управления по току статора I_{sx} и с внешним - по модулю потокосцепления ротора.

Канал управления моментом (угловой скоростью ротора) также содержит два контура регулирования: внутренний - по току статора I_{sy} и внешний - по моменту (угловой скорости ротора) [5].

Следовательно, в структурной схеме системы управления образованы два независимых канала регулирования, в которых параметры регуляторов рассчитываются известными методами.

Номинальное значение потокосцепления АД Ψ_n :

$$\Psi_n = \frac{2 \cdot M_n}{3 \cdot p_n \cdot L_m / L_r \cdot I_{sy}}, \quad (49)$$

где I_{sy} – активная составляющая тока статора, А.

$$I_{sy} = I_{sh} \cdot \cos\varphi, \quad (50)$$

где p_n – число полюсов статора;

M_n – номинальный момент двигателя, Нм.

$$\Psi_n = \frac{2 \cdot 105,092}{3 \cdot 3 \cdot 0,0548 / 0,056 \cdot 18,86} = 1,265 \text{ Вб.}$$

$$I_{sy} = 23 \cdot 0,82 = 18,86 \text{ А.}$$

В соответствии с методикой расчета систем подчиненного регулирования, каждый из контуров канала потокосцепления настраивается на модульный оптимум с применением ПИ-регуляторов, компенсирующих соответствующие апериодические звенья.

Объектом регулирования во внутреннем контуре регулирования тока I_{sy} , является обмотка статора, описываемая апериодическим звеном:

$$W_2(p) = \frac{1/R_s}{T_s p + 1}, \quad (51)$$

$$W_2(p) = \frac{1/0,689}{0,081p + 1}.$$

Контур настраивается на симметричный оптимум, и, следовательно, имеет ПИ-регулятор тока:

$$W_{pTy}(p) = \frac{T_s p + 1}{T_{iy} p}, \quad (52)$$

где T_{iy} – постоянная времени интегрирования контура регулирования активной составляющей тока статора, с, рассчитываемая по формуле:

$$T_{iy} = 2 \cdot T_\mu \cdot K_{ПЧ} \cdot K_{OT} / R_s, \quad (53)$$

где K_{OT} – коэффициент обратной связи по току статора, рассчитываемый по формуле:

$$K_{OT} = \frac{U_{OT}}{I_{1max}}. \quad (54)$$

$$K_{OT} = \frac{10}{149,5} = 0,067.$$

$$T_{iy} = 2 \cdot 0,002 \cdot 38 \cdot 0,067 / 0,689 = 0,015 \text{ с.}$$

$$W_{pTy}(p) = \frac{0,081p+1}{0,015p}.$$

Внешний контур регулирования потокосцепления содержит ПИ-регулятор потока с передаточной функцией:

$$W_{p\Psi}(p) = \frac{T_{\Psi}p+1}{T_{и\Psi}p}, \quad (55)$$

где T_{Ψ} – электромагнитная постоянная времени роторной цепи, с;

$T_{и\Psi}$ – постоянная времени интегрирования контура регулирования.

$$W_{p\Psi}(p) = \frac{0,258p+1}{0,015p}.$$

Коэффициент цепи обратной связи контура регулирования потокосцепления ротора асинхронного двигателя определится по формуле:

$$K_{O\Psi} = \frac{U_{O\Psi}}{\Psi_n}, \quad (56)$$

где $U_{O\Psi}$ – напряжение обратной связи по потокосцеплению ($U_{O\Psi}=10$), В;

Ψ_n – номинальное значение потокосцепления, Вб.

$$K_{O\Psi} = \frac{10}{1,265} = 7,905.$$

Постоянная времени интегрирования контура регулирования потокосцепления ротора асинхронного двигателя определится по формуле:

$$T_{и\Psi} = \frac{4 \cdot T_{\mu} \cdot L_m \cdot K_{O\Psi}}{K_{OT}}, \quad (57)$$

где T_{μ} – постоянная времени преобразователя частоты, с;

L_m – взаимная индуктивность, Гн;

$K_{O\Psi}$ – коэффициент цепи обратной связи контура регулирования потокосцепления ротора асинхронного двигателя.

$$T_{и\Psi} = \frac{4 \cdot 0,002 \cdot 0,0548 \cdot 7,905}{0,067} = 0,052 \text{ с.}$$

При составлении передаточной функции регулятора скорости необходимо учитывать то, что регулятор скорости должен обеспечивать компенсацию влияния узла произведения при формировании электромагнитного момента АД. Для этой цели по аналогии с системами двухзонного регулирования скорости двигателей постоянного тока на выходе РС должен быть включен блок деления. В этом случае передаточная функция регулятора скорости будет иметь следующий вид:

$$W_{pc}(p) = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu}} \cdot \frac{2 \cdot L_r \cdot J_{\Sigma} \cdot K_{OC}}{3 \cdot p_{II} \cdot L_m \cdot K_{OT} \cdot \Psi}, \quad (58)$$

где J_{Σ} – суммарный момент инерции электропривода, кг·м²;

K_{OC} – коэффициент обратной связи по скорости, В·с;

Коэффициент обратной связи по скорости рассчитывается по формуле:

$$K_{OC} = \frac{U_{OC}}{\omega_{max}}. \quad (59)$$

$$K_{OC} = \frac{10}{100} = 0,1.$$

$$W_{pc}(p) = \frac{1}{4 \cdot 0,002} \cdot \frac{2 \cdot 0,056 \cdot 0,933 \cdot 0,1}{3 \cdot 3 \cdot 0,0548 \cdot 0,067 \cdot 1,265} = 31,248.$$

Внутренний контур регулирования составляющей тока I_{sx} содержит ПИ-регулятор тока с передаточной функцией:

$$W_{PTX}(p) = \frac{T_{ix}p + 1}{T_{ix}p}, \quad (60)$$

где $T_{ix} = T_s$ – электромагнитная постоянная времени статорной цепи, с;

$T_{их} = T_{иу}$ – постоянная времени контура регулирования составляющей тока I_{sx} , с.

Для снижения перерегулирования по заданию в контуре тока, необходимо на вход регулятора скорости установить фильтр с передаточной функцией.

$$W_f(p) = \frac{1}{T_{\mu}p + 1}. \quad (61)$$

Передаточная функция $W_3(p)$:

$$W_3(p) = \frac{3 \cdot L_m \cdot p_{II}}{2 \cdot L_r}, \quad (62)$$

$$W_3(p) = \frac{3 \cdot 0,0548 \cdot 3}{2 \cdot 0,056} = 4,404.$$

Для расчета переходных процессов и оценки статических и динамических характеристик спроектированной системы управления электроприводом транспортно-рольганга разрабатывается математическая модель системы автоматического регулирования и реализуется в программе Matlab Simulink. Математическая модель системы автоматического регулирования электропривода представлена на рисунке А.2.

На основании разработанной математической модели проводим моделирование переходных процессов, которые показывают, что спроектированная система управления, построенная на основе ПИ-регулятора, работает с минимальным рассогласованием и перерегулированием по скорости и моменту.

Исходя из этого можно сделать вывод, что спроектированная система электропривода полностью удовлетворяет требованиям предъявленным к электроприводу, а также главному требованию – поддержание заданного значения скорости и момента за счет компенсирования ПИ-регулятором внешнего возмущения, действующего на объект управления, устранения статической ошибки.

Переходный процесс скорости электропривода представлен на рисунке 2.5

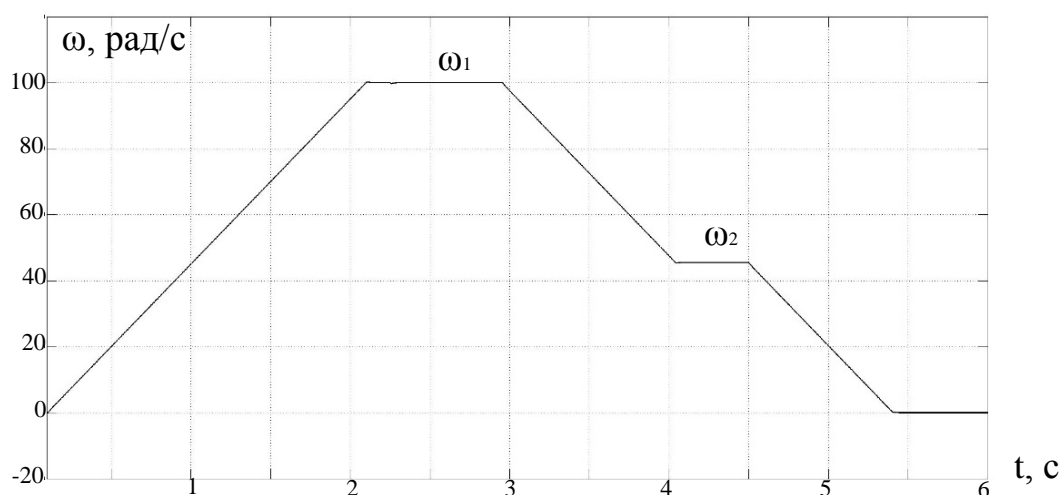


Рисунок 2.5 – Переходный процесс скорости

Переходный процесс скорости электропривода представлен на рисунке 2.6

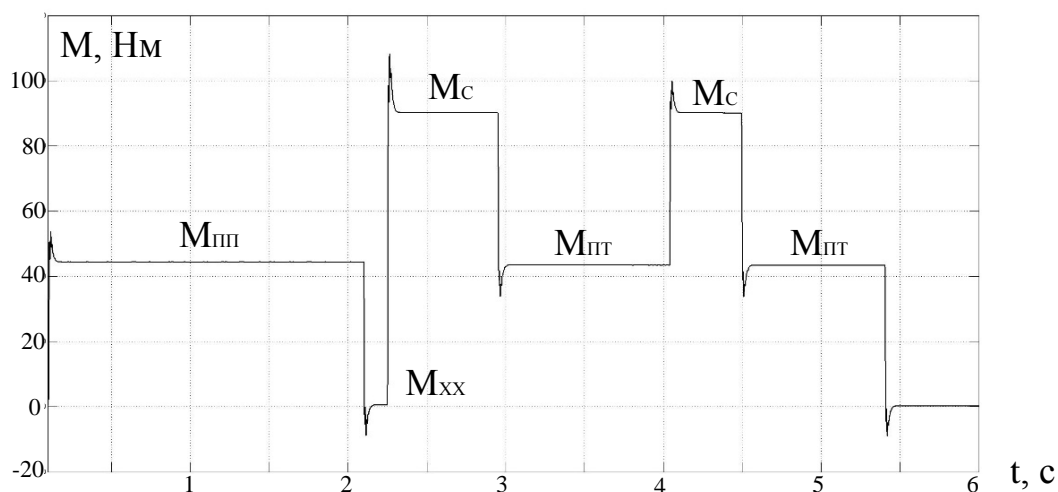


Рисунок 2.6 – Переходного процесс момента

Графики работы двух соседних секций устройства подачи слитков на устройства загрузки в мотодические печи представлены на рисунке А3.

На рисунке А3 видно, что одна секция устройства подачи слитков работает с постоянной скоростью транспортировки, в то время как другая секция снижает скорость при наличии сигнала с датчика, отвечающего за снижение скорости транспортировки. После передачи заготовки на вторую секцию, первая секция начинает снижать скорость с заданным темпом торможения и останавливается.

2.3 Выбор оптических датчиков и устройства считывания маркировки

Оптические датчики – небольшие по размерам электронные устройства, способные под воздействием электромагнитного излучения в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах подавать единичный или совокупность сигналов на вход регистрирующей или управляющей системы.

Оптические датчики являются разновидностью бесконтактных датчиков, так как механический контакт между чувствительной областью датчика (сенсором) и воздействующим объектом отсутствует. Данное свойство оптических датчиков обуславливает их широкое применение в автоматизированных системах управления. Дальность действия оптических датчиков намного больше, чем у других типов

бесконтактных датчиков. Оптические датчики называют ещё оптическими бесконтактными выключателями, фотодатчиками, фотоэлектрическими датчиками.

По типу устройства оптические датчики делятся на моноблочные и двухблочные. В моноблочных излучатель и приёмник находятся в одном корпусе. У двухблочных датчиков источник излучения и приёмник оптического сигнала расположены в отдельных корпусах.

По принципу работы выделяют три группы оптических датчиков:

1. Барьерного типа (приём луча от отдельно стоящего излучателя);
2. Рефлекторного типа (приём луча, отражённого катафотом);
3. Диффузионного типа (приём луча, рассеянно отражённого объектом).

У датчиков барьерного типа излучатель и приёмник находятся в отдельных корпусах, которые устанавливаются друг напротив друга на одной оси. Дальность разнесения корпусов может достигать 100 метров. Предмет, попавший в активную зону оптического датчика, прерывает прохождение луча. Изменение фиксируется приёмником, появившийся сигнал после обработки подаётся на управляемое устройство.

Датчики рефлекторного типа содержат в одном корпусе и передатчик оптического сигнала, и его приёмник. Для отражения луча используется рефлектор (катафот). Датчики такого типа активно используются на конвейере для подсчёта количества продукции. Для обнаружения объектов с зеркальной, отражающей металлической поверхностью в датчиках рефлекторного типа используют поляризационный фильтр. Дальность действия датчиков рефлекторного типа может достигать 8 метров.

В датчиках диффузионного отражения источник оптического сигнала и его приёмник находятся в одном корпусе. Приёмник учитывает интенсивность луча, отражённого контролируемым объектом. Для точности срабатывания в датчиках данного типа может включаться функция подавления фона. Дальность действия зависит от отражательных свойств объекта, может быть определена с помощью поправочного коэффициента, и при использовании стандартной мишени может достигать 2 метров.

В качестве оптических датчиков в устройстве считывания маркировки будут использоваться лазерные датчики, так как они объединяют широкую гамму оптоэлектронных приборов, использующих в качестве источника оптического излучения лазерные источники. Лазерный источник излучения обеспечивает формирование узконаправленного высокоэнергетического оптического луча. Это позволяет использовать лазерные оптические датчики для точного измерения расстояний и перемещений. Соответственно лазерным датчикам доступны все типы оптических измерений, в том числе функции подавления переднего и заднего фона. Лазерные датчики, использующие видимую часть спектра выгодно отличаются высокой дальностью обнаружения объектов.

К лазерным датчикам можно отнести:

1. Датчики цвета;
2. Датчики контраста;
3. Люминесцентные датчики.

Датчики цвета определяют цветность изделий, определяя тон отражаемого ими светового луча, их работа построена на определении трех цветов спектра — красного, зеленого, синего.

Для считывания штрих-кода используют датчики контраста, которые способны видеть разницу между фоном и нанесенным на него изображением. При этом качество материала не влияет на результаты работы датчика, его можно применять даже по отношению к блестящим поверхностям, выбрав удобный угол монтажа прибора.

Проведя анализ лазерных датчиков, было принято решение в устройстве считывания метки, использовать датчики контраста диффузионного типа, так как имеется возможность считывания метки с любой поверхности. Для управления перемещением слитка, будут использоваться также датчики диффузионного типа.

Оптические датчики диффузионного типа приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Оптические датчики диффузионного типа

Наименование	Дальность	Тип излучателя
--------------	-----------	----------------

	срабатывания, мм	
Datalogic-Datasensor S50	до 700	инфракрасный
Datalogic-Datasensor S100	до 500	инфракрасный
Datalogic-Datasensor S300-PR	до 5000	инфракрасный
Balluff BOS 08M	до 400	инфракрасный
IFM Electronic OF5010	до 800	инфракрасный

Для управления устройством подачи, при наличии слитка в зоне посадки в печи, подходит оптический датчик диффузионного типа IFM Electronic OF5010, так как он имеет необходимую дальность срабатывания. Материал корпуса изготовлен из никелированной латуни, что позволяет датчику выдерживать перепад температур от -25°C до $+80^{\circ}\text{C}$, что позволяет его использование около печей.

В процессе производства продукции очень важно создать удобную и практичную систему маркировки, при помощи которой в считанные секунды можно идентифицировать марку заготовки. Для этих целей лучше всего подходят электронные штрих-коды, которые могут содержать в себе всю необходимую информацию. Промышленные сканеры – это уникальные устройства, которые быстро и с высокой точностью считывают подобные коды, позволяя сортировать и отслеживать продукцию во время хранения на складе и при перемещениях.

Для того, чтобы установить сканеры маркировки непосредственно в зоне посадки слитков в методические печи, необходимо при выборе устройства учесть температурные условия работы сканера. Материал корпуса изготовлен из алюминия, что позволяет датчику выдерживать перепад температур от -20°C до $+80^{\circ}\text{C}$, что позволяет его использование около печей. Степень защиты корпуса сканера маркировки IP67, что исключает возможность попадания в него влаги и пыли.

Оптические сканеры идентификации штрих-кода приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Оптические сканеры идентификации штрих-кода

Наименование (серия)	Расстояние срабатывания, мм	Диапазон рабочих температур, °С	Источник излучения
BCL 8	от 25 до 160	от 0 до 60	лазер
BCL 21/22	от 50 до 450	от 0 до 60	лазер
BCL 31/32/34	от 10 до 750	от 0 до 60	лазер
BCL 500i	от 200 до 2400	от 0 до 60	лазер
BCL 90	от 500 до 2100	от 0 до 60	лазер
BCL 300i	от 130 до 700	от 0 до 60	лазер
CR50	от 40 до 250	от 0 до 50	лазер

Для идентификации штрих-кода подходит сканер серии BCL 500i, а именно BCL 548i SM 102 H фирмы Leuze, так как он имеет необходимое расстояние считывания, обладает наибольшей скоростью сканирования (от 800 до 1200 скан./сек.), имеет возможность распознавания всех известных типов штрих-кодов и технологию распознавания по фрагменту кода.

Управление устройством подачи слитков будет осуществляться с помощью пяти оптических датчиков – один, для пропуска первой заготовки ко второй печи, и по два на каждую из печей, при этом срабатывание первого оптического датчика будет отвечать за снижение скорости транспортировки слитка, а срабатывание второго датчика – за остановку слитка в зоне посадки в печь.

Считывание маркировочных штрих-кодов будет осуществляться с помощью двух промышленных оптических сканеров идентификации штрих-кода, расположенных друг на против друга для того, чтобы заготовка прокатываясь между ними засвечивала штрих-код.

3 ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Выбор аппаратной части

Программа для управления участками загрузки слитков в методические печи будет реализована на контроллере Simatic S7-1500. Так как это контроллер уже установлен на участке и имеет достаточный ресурс для реализации программы автоматического управления транспортировочным рольгангом, также он является эффективным решением для систем автоматизации циклических производств.

Программируемый контроллер S7-1500 базируется на дальнейшем развитии и совершенствовании функциональных возможностей хорошо известных программируемых контроллеров S7-300 и S7-400. Улучшенная производительность системы, встроенная поддержка стандартных функций управления перемещением, обмен данными через Profinet в режиме IRT (Isochronous Real Time), языковые расширения пакета Step 7, возможность использования в производственных и перерабатывающих отраслях промышленности, а также поддержка проверенных временем функций S7-300/S7-400 гарантируют получение неоспоримых преимуществ использования нового контроллера.

Контроллер характеризуется высокими показателями производительности и максимальным удобством в эксплуатации. Высокая востребованность оборудования представленной серии объясняется оперативностью выполнения команд, наличием новых языковых расширений, оптимальными процессами генерирования программных кодов и применением новых типов данных. К мощным коммуникационным возможностям SIMATIC S7-1500 относятся Profinet IO, опциональный дополнительный интерфейс Profinet, а также возможность эффективного расширения коммуникационными модулями для подключения к промышленным сетям или в целях обмена данными через соединения.

Благодаря модульной конструкции SIMATIC S7-1500 может использоваться в целях автоматизации различных процессов циклического типа в ряде промышлен-

ных секторов. Рентабельность решений достигается за счет модульности конструкций, естественного охлаждения и поддержки систем локального и распределенного ввода-вывода.

Система управления участком погрузки слитков в методические печи состоит из:

1. Пульта, который расположен непосредственно в зоне погрузки слитков в печи;
2. Контроллера фирмы Siemens, серии Simatic S7-1500;
3. Преобразователей частоты фирмы Siemens, серии Sinamics G120P.
4. Асинхронных двигателей серии АИР160S6;
5. Оптических датчиков диффузионного типа IFM Electronic OF5010;
6. Оптический сканер идентификации штрихкода BCL 548i SM 102 H;
7. Для соединения и передачи данных между контроллером и сканерами, используется коммутатор фирмы Siemens, серии Scalance XB008.

Для наглядности была построена блок-схема управления участком погрузки слитков в методические печи, которая приведена на рисунке 3.1.

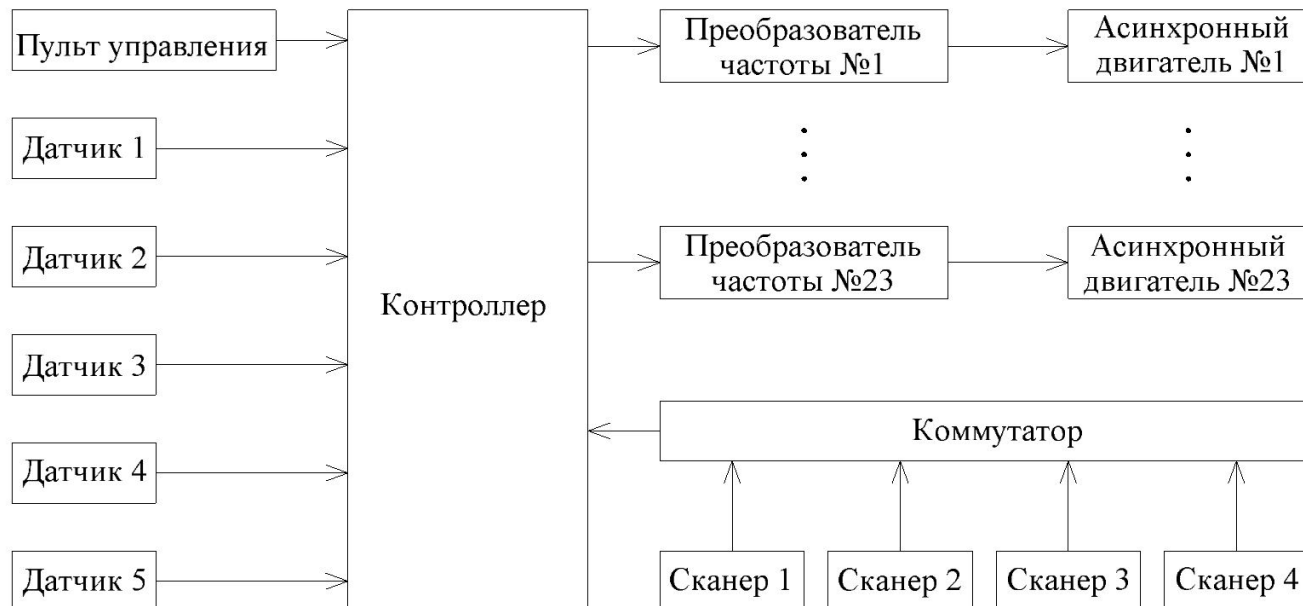


Рисунок 3.1 – Блок-схема участка погрузки слитков в печи

3.2 Разработка программы

Для того, чтобы разработать программу управления приводами устройства подачи слитков на устройства загрузки в методические печи, необходимо определить и упорядочить все выполняемые действия, которые будут проходить на нем. Исходя из идей по реализации мехатронной системы подачи, составляется диаграмма состояния работы системы, которая отображает принцип автоматизации устройства подачи [13].

Диаграмма состояния работы соседних секций устройства подачи слитков представлена на рисунке 3.2

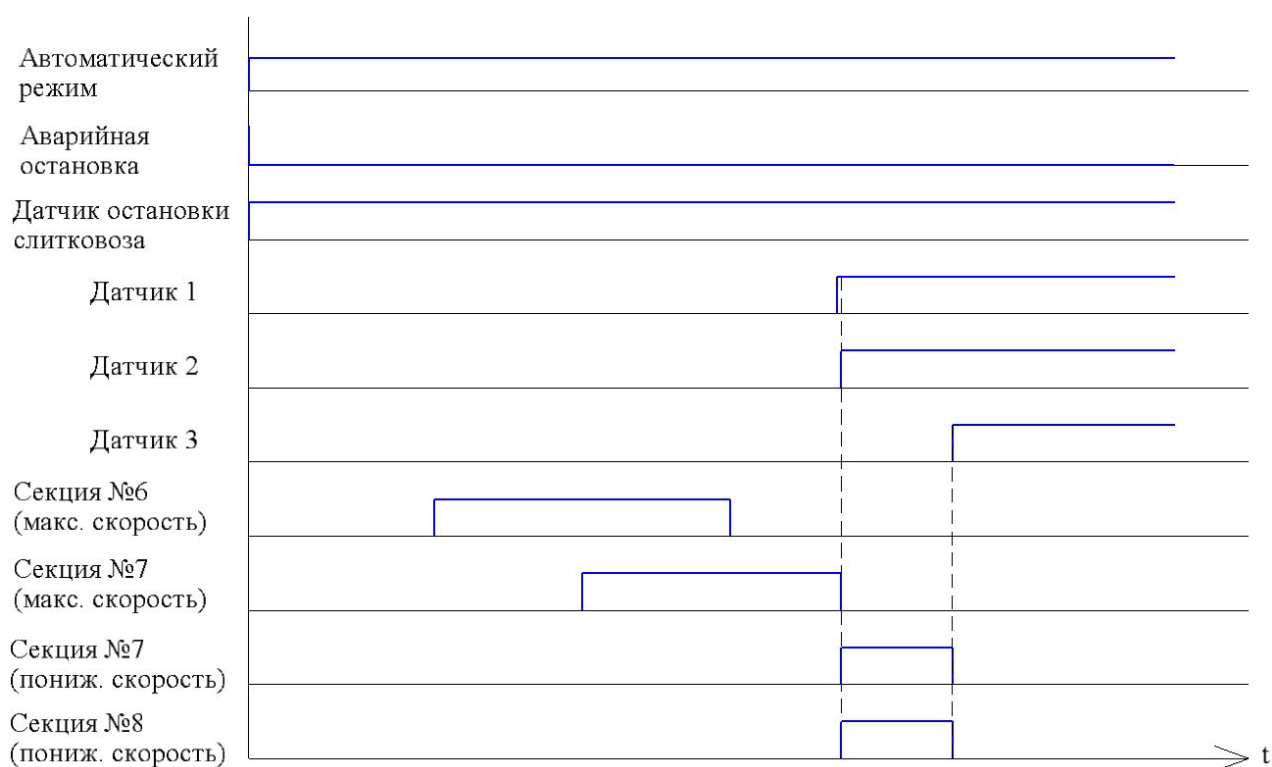


Рисунок 3.2 – Диаграмма состояния работы соседних секций устройства подачи слитков

После составления диаграммы состояния работы, разрабатывается алгоритм мехатронной системы подачи слитков, согласно которому будет осуществляться автоматическое управление устройством подачи.

Алгоритм работы мехатронной системы подачи слитков представлен на рисунке А.4.

Для написания программы в программе TIA Portal на языке программирования LAD управления устройством подачи слитков была составлена таблица тегов, которая включает в себя все используемые переменные, их типы и адреса.

Список используемых переменных приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Список используемых переменных

Имя переменной	Тип переменной	Адрес
1	2	3
Автоматический режим	Bool	I0.0
Аварийная остановка	Bool	I0.1
Концевой выключатель слитковоза	Bool	I1.0
Загрузка слитка в 1 печь	Bool	I0.2
Загрузка слитка во 2 печь	Bool	I0.3
Датчик 2	Bool	I1.2
Датчик 3	Bool	I1.3
Датчик 4	Bool	I1.4
Датчик 5	Bool	I1.5
Датчик 1	Bool	I1.1
Загрузка в 1 печь	Bool	Q0.3
Загрузка во 2 печь	Bool	Q0.4
Механический тормоз	Bool	Q0.0
Остановка рольганга у 1 печи	Bool	Q0.1
Остановка рольганга у 2 печи	Bool	Q0.2
Разрешение на отправку слитковоза к стеллажам 1	Bool	Q0.5
Разрешение на отправку слитковоза к стеллажам 2	Bool	Q0.6
Автоматический режим.	Bool	M0.1
Счетчик	Counter	C0
Пропуск первой заготовки.	Bool	M0.0
Текущее значение 1	Word	MW0

Текущее значение 2	DInt	MD4
--------------------	------	-----

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
Текущее значение 3	Real	MD8
Секция 1 (М)	Bool	Q1.0
Секция 2 (М)	Bool	Q1.1
Секция 3 (М)	Bool	Q1.2
Секция 4 (М)	Bool	Q1.3
Секция 5 (М)	Bool	Q1.4
Секция 6 (М)	Bool	Q1.5
Секция 7 (М)	Bool	Q1.6
Секция 8 (М)	Bool	Q1.7
Секция 9 (М)	Bool	Q2.0
Секция 10 (М)	Bool	Q2.1
Секция 11 (М)	Bool	Q2.2
Секция 12 (М)	Bool	Q2.3
Секция 13 (М)	Bool	Q2.4
Секция 14 (М)	Bool	Q2.5
Секция 15 (М)	Bool	Q2.6
Секция 16 (М)	Bool	Q2.7
Секция 17 (М)	Bool	Q3.0
Секция 18 (М)	Bool	Q3.1
Секция 19 (М)	Bool	Q3.2
Секция 20 (М)	Bool	Q3.3
Секция 21 (М)	Bool	Q3.4
Секция 22 (М)	Bool	Q3.5
Секция 23 (М)	Bool	Q3.6
Секция 5 (М)	Bool	Q1.4
Секция 6 (М)	Bool	Q1.5

Секция 7 (М)	Bool	Q1.6
--------------	------	------

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
Секция 8 (М)	Bool	Q1.7
Секция 9 (М)	Bool	Q2.0
Секция 10 (М)	Bool	Q2.1
Секция 11 (М)	Bool	Q2.2
Секция 12 (М)	Bool	Q2.3
Секция 13 (М)	Bool	Q2.4
Секция 14 (М)	Bool	Q2.5
Секция 15 (М)	Bool	Q2.6
Секция 16 (М)	Bool	Q2.7
Секция 17 (М)	Bool	Q3.0
Секция 18 (М)	Bool	Q3.1
Секция 19 (М)	Bool	Q3.2
Секция 20 (М)	Bool	Q3.3
Секция 21 (М)	Bool	Q3.4
Секция 22 (М)	Bool	Q3.5
Секция 23 (М)	Bool	Q3.6
T1	Timer	T1
T2	Timer	T2
T2.1	Timer	T3
T3	Timer	T4
T3.1	Timer	T5
T4	Timer	T6
T4.1	Timer	T7
T5	Timer	T8
T5.1	Timer	T9
T6	Timer	T10

T6.1	Timer	T11
------	-------	-----

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
T7	Timer	T12
T7.1	Timer	T13
T8	Timer	T14
T8.1	Timer	T15
T9	Timer	T16
T9.1	Timer	T17
T10	Timer	T18
T10.1	Timer	T19
T11	Timer	T20
T11.1	Timer	T21
T12	Timer	T22
T12.1	Timer	T23
T13	Timer	T24
T13.1	Timer	T25
T14	Timer	T26
T14.1	Timer	T27
T15	Timer	T28
T15.1	Timer	T29
T16	Timer	T30
T16.1	Timer	T31
T17	Timer	T32
T17.1	Timer	T33
T18	Timer	T34
T18.1	Timer	T35
T19	Timer	T36
T19.1	Timer	T37
T20	Timer	T38
T20.1	Timer	T39
T21	Timer	T40
T21.1	Timer	T41

T22	Timer	T42
-----	-------	-----

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
T22.1	Timer	T43
T23	Timer	T44
T23.1	Timer	T45
Секция 7 (П)	Bool	Q3.7
Секция 8 (П)	Bool	Q4.0
Секция 22 (П)	Bool	Q4.1
Секция 23(П)	Bool	Q4.2

Для начала функционирования транспортировочного рольганга необходимо на панели, которая находится в зоне посада слитков в печи, нажать жать кнопку «автоматический режим» Ю.0.

При выборе автоматического режима управления транспортировочным рольгангом, система ожидает сигнала от щеточного датчика П1.0, отвечающего за остановку слитковоза перед рольгангом. После срабатывания щеточного датчика, на вал двигателя слитковоза накладываеься механический тормоз Q0.0, затем происходит включение электропривода первой секции рольганга, затем начинается разгрузка слитковоза. После запуска первой секции, через определенные промежутки времени, происходит запуск и торможение последующих секций поочередно так, что работают привода только тех секций рольганга, на которых в данный момент времени находятся слитки.

В системе автоматического управления транспортировочным рольгангом предусмотрен пропуск первой заготовки, для того чтобы она до второй методической печи на маршевой скорости, тем самым будут игнорироваться сигналы с датчика 2 П1.2 и датчика 3 П1.3, которые отвечают за снижение скорости и остановку заготовки напротив первой методической печи, до тех пор пока состояние счетчика С0, отвечающего за пропуск первой заготовки, не станет равным единице, после чего работа датчиков 2 и 3 вносит изменения в работу системы управления

устройством подачи. За пропуск заготовки отвечает датчик 1 П1.1, расположенный около первой методической печи.

Далее первая заготовка направляется ко второй методической печи на маршевой скорости до тех пор, пока не сработает датчик 4 П1.4, после чего заготовка на пониженной скорости доезжает до датчика 5 П1.5, замыкание которого останавливает секции №22 и 23. Тем временем вторая заготовка направляется к первой методической печи на маршевой скорости до тех пор, пока не сработает датчик 2 П1.2, после чего заготовка на пониженной скорости доезжает до датчика 3 П1.3, замыкание которого останавливает секции №7 и 8. После чего оператор в определенный момент времени (когда освободится место в той или иной печи) производит загрузку слитка с помощью гидравлического устройства.

При нажатии на кнопку «Аварийная остановка» Ю.1 происходит размыкание цепи управления, тем самым останавливая весь технологический процесс на данном участке.

Дискретные сигналы с оптических датчиков поступают на входа контроллера. В свою очередь, сигналы с выхода контроллера поступают на дискретные входа преобразователей частоты, в которых уже настроена маршевая и пониженная скорости. Сканеры для считывания штрих-кодов маркировки, объединены коммутатором посредством сети Profinet, который в свою очередь соединен с контроллером. Откуда информация о «слитке» будет посылаться на высший уровень автоматизации, который в данной работе не рассматривается.

Листинг программы программы приведен на рисунках 3.4-3.9.

Network 1: Выбор автоматического режима работы системы

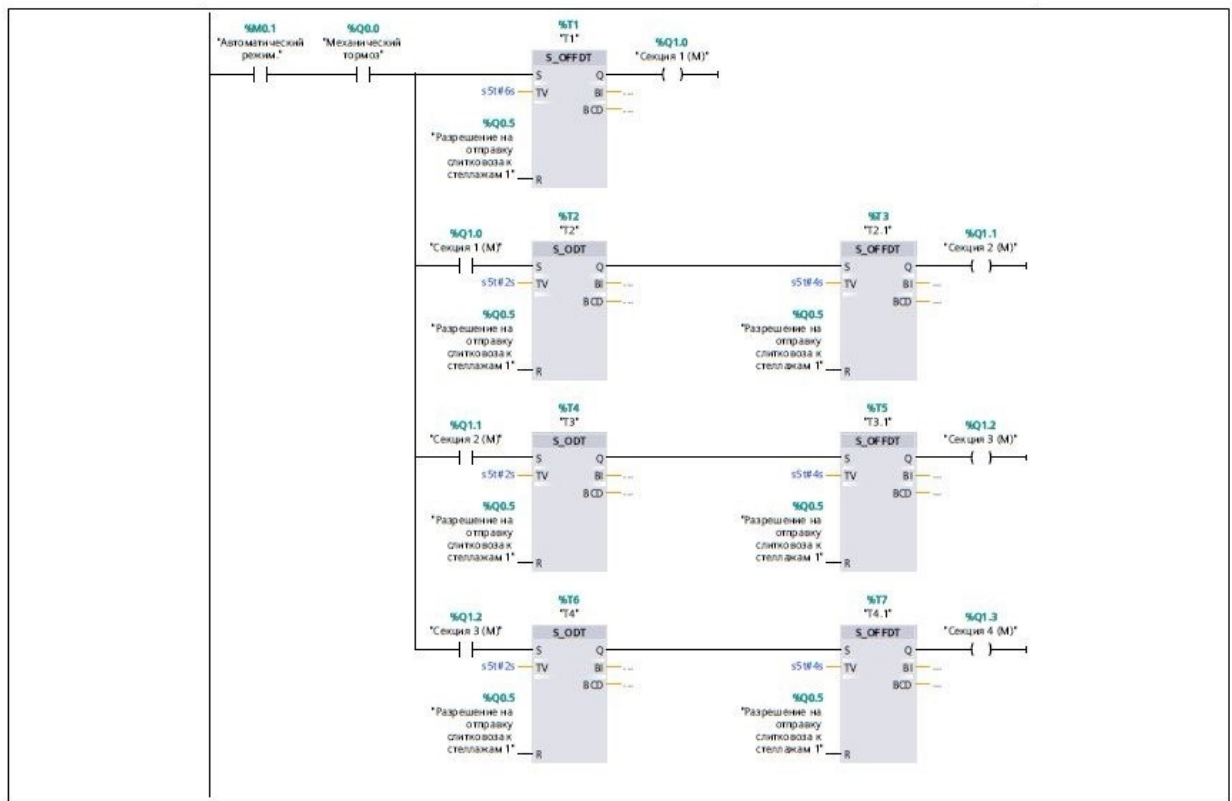


Network 2: Остановка слитковоза, наложение механического тормоза на его двигатель



Рисунок 3.4 – Network 1, 2

Network 3: Перемещение на маршевой скорости до 1 методической печи (секции 1-4)



Network 4: Перемещение на маршевой скорости до 1 методической печи (секции 5-8)

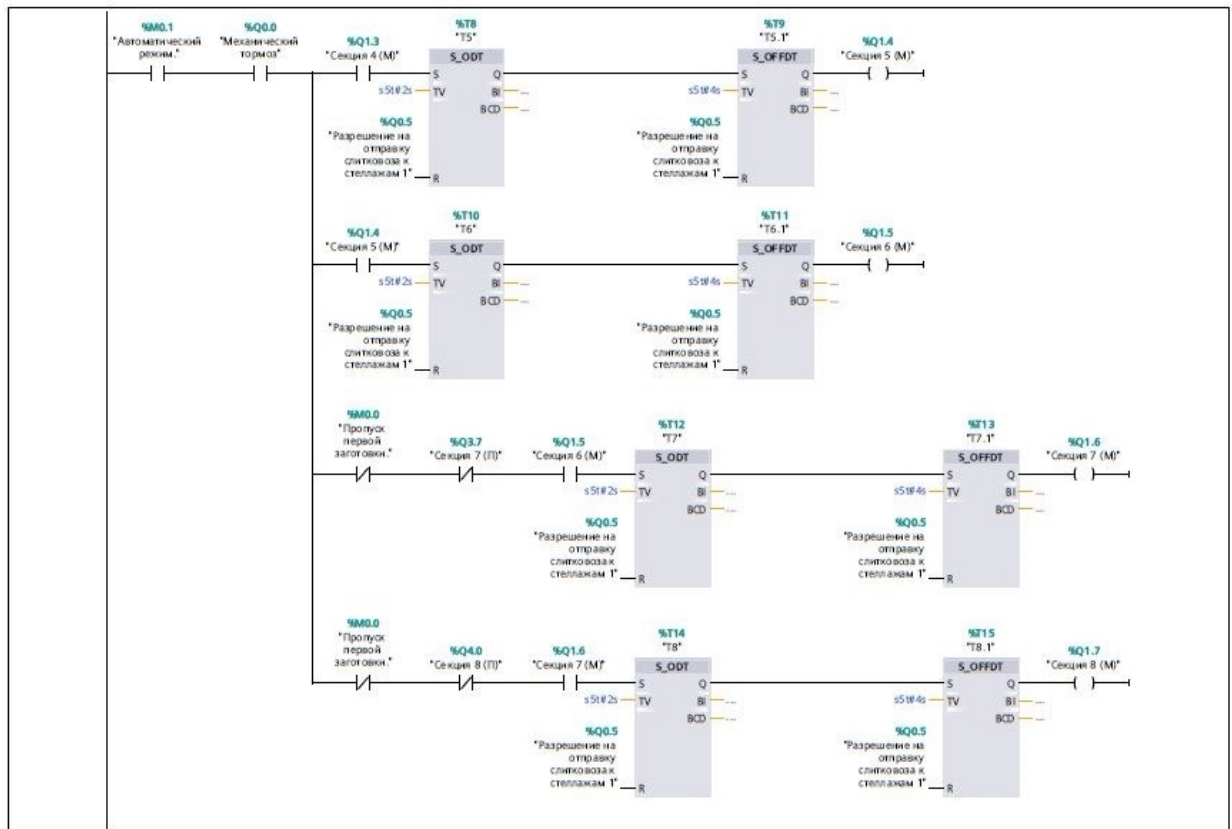
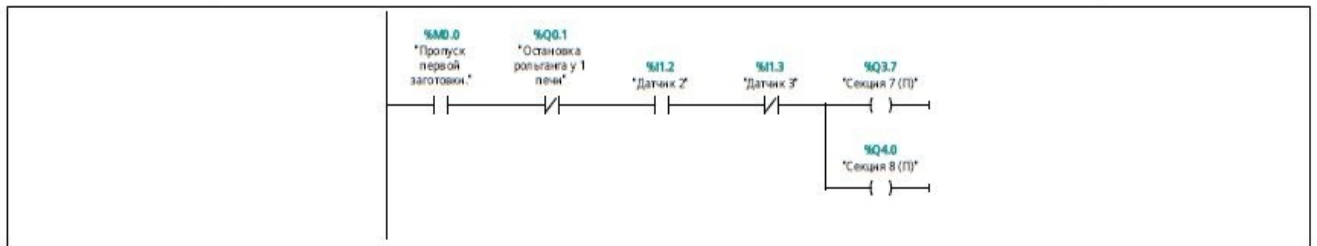
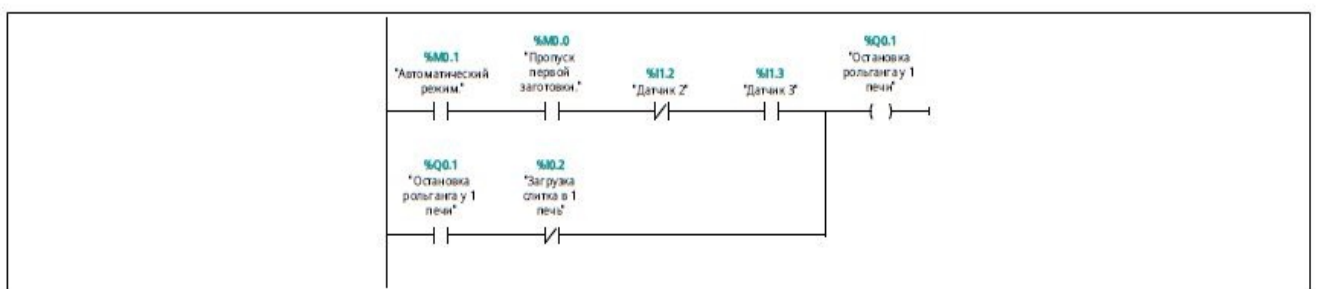


Рисунок 3.5 – Network 3, 4

Network 5: Движение на пониженной скорости у первой печи



Network 6: Остановка рольганга у первой печи



Network 7: Перемещение на маршевой скорости до 2 методической печи (секции 9-12)

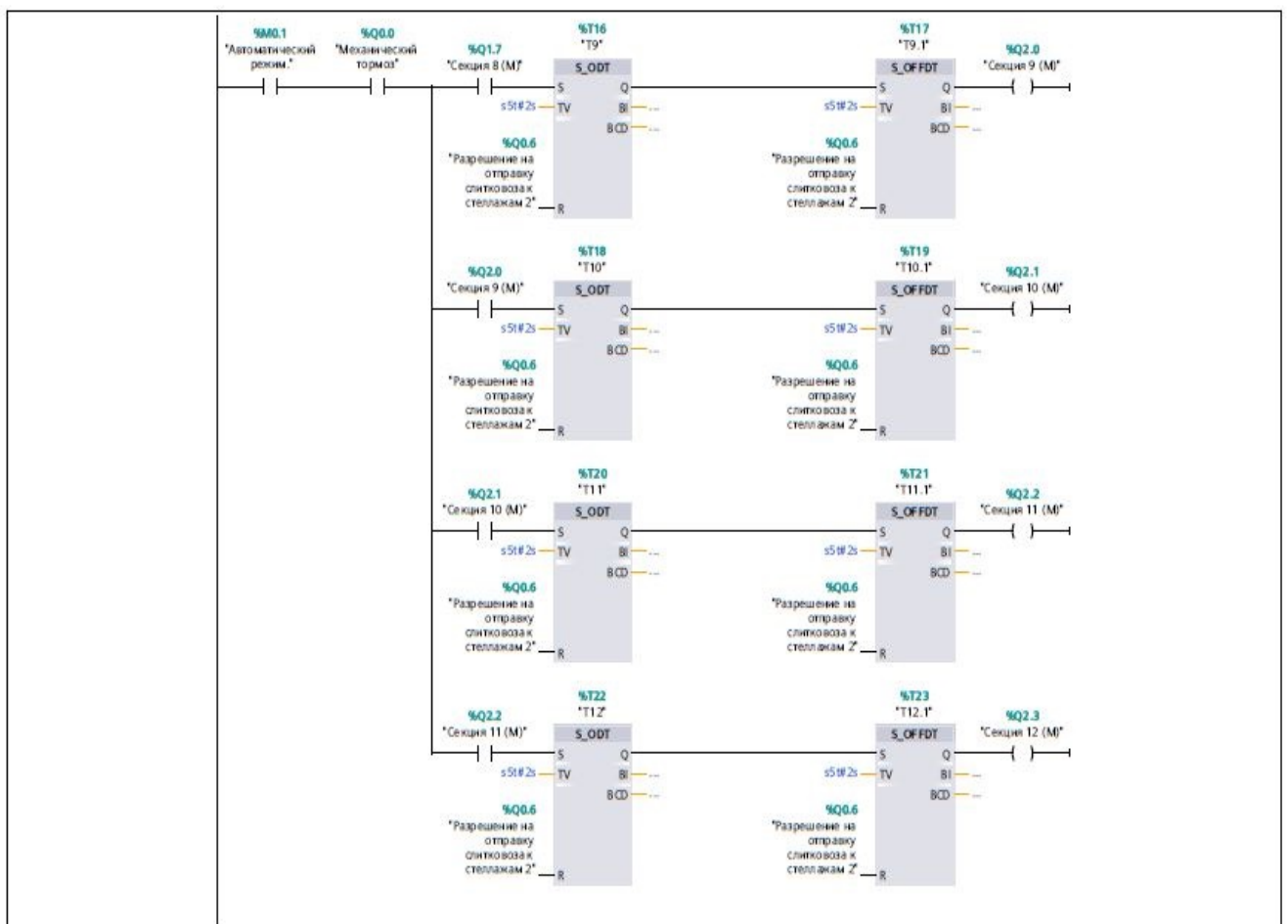
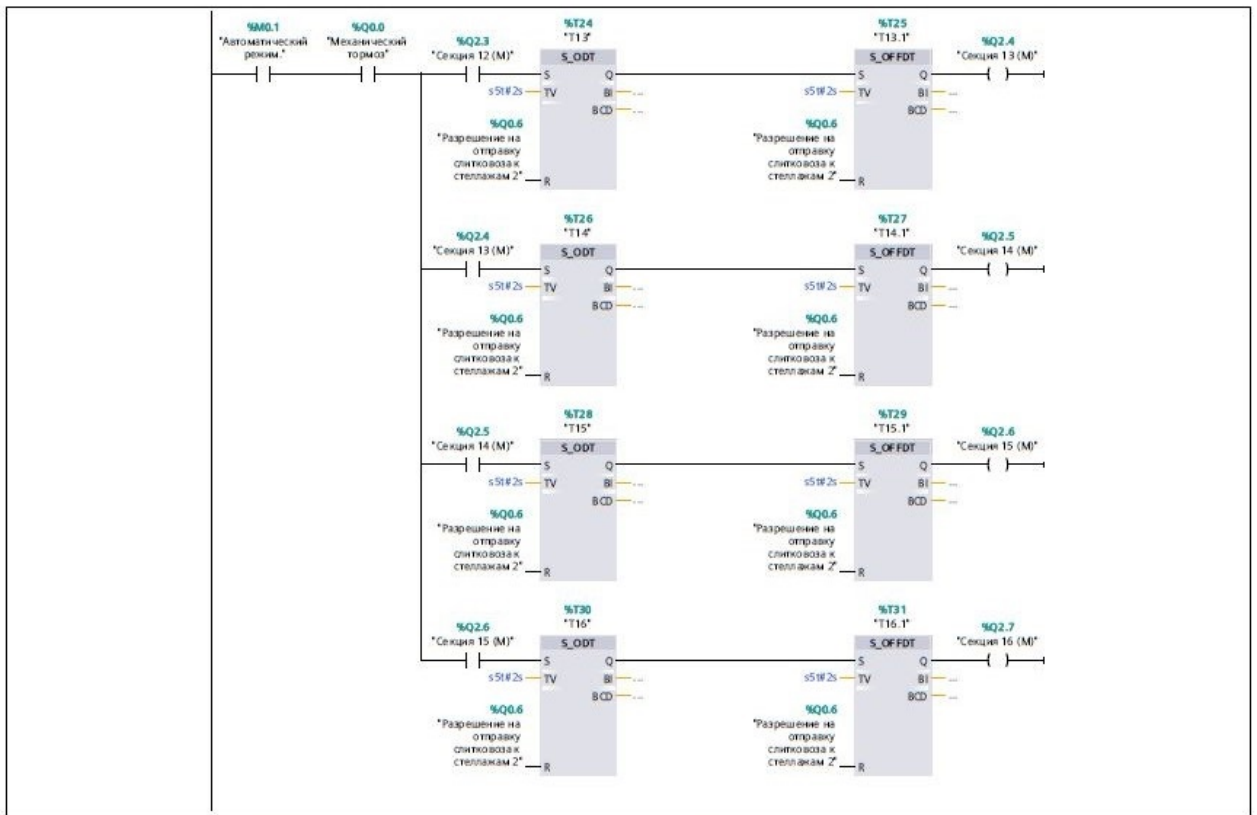


Рисунок 3.6 – Network 5-7

Network 8: Перемещение на маршевой скорости до 2 методической печи (секции 13-16)



Network 9: Перемещение на маршевой скорости до 2 методической печи (секции 17-20)

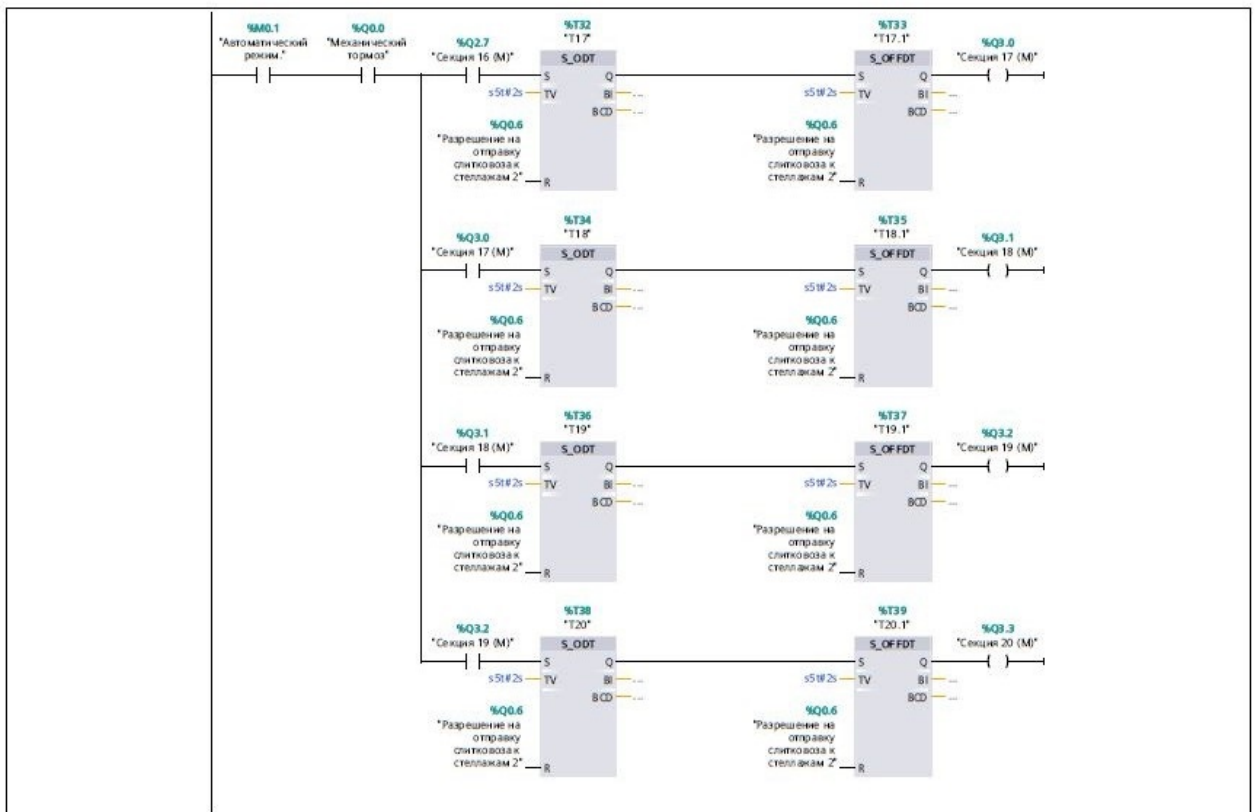
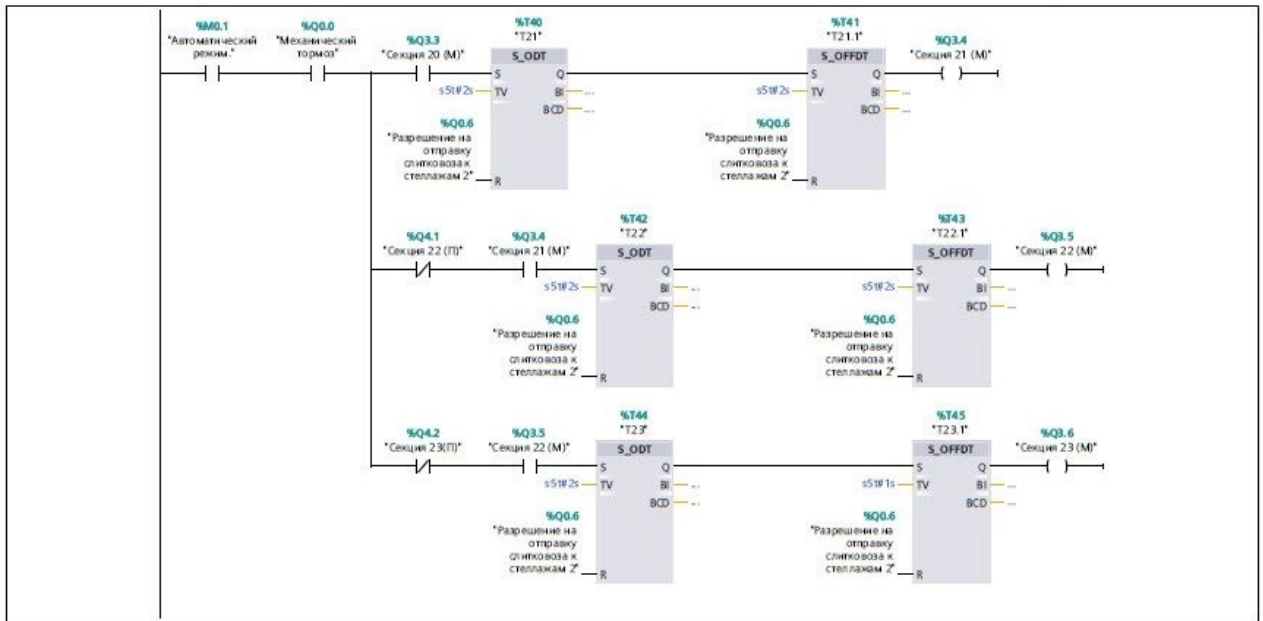
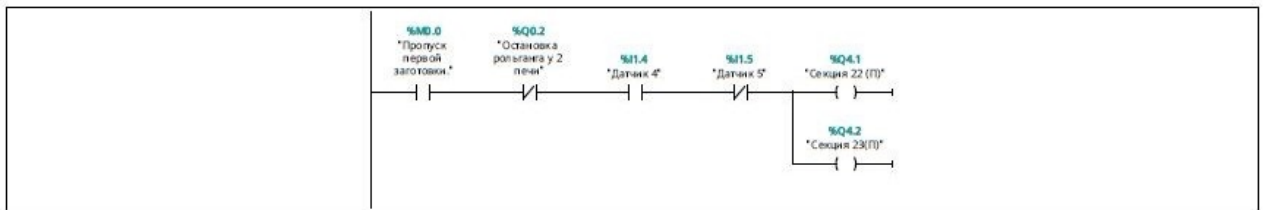


Рисунок 3.7 – Network 8, 9

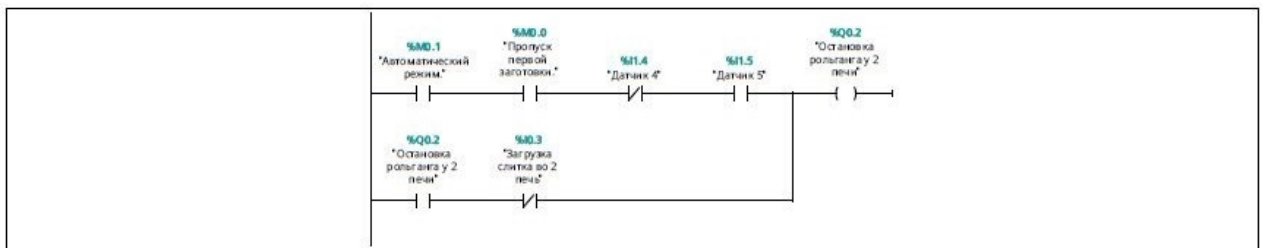
Network 10: Перемещение на маршевой скорости до 2 методической печи (секции 21-23)



Network 11: Движение на пониженной скорости у второй печи



Network 12: Остановка роляганга у второй печи



Network 13: Загрузка слитка в 1 печь

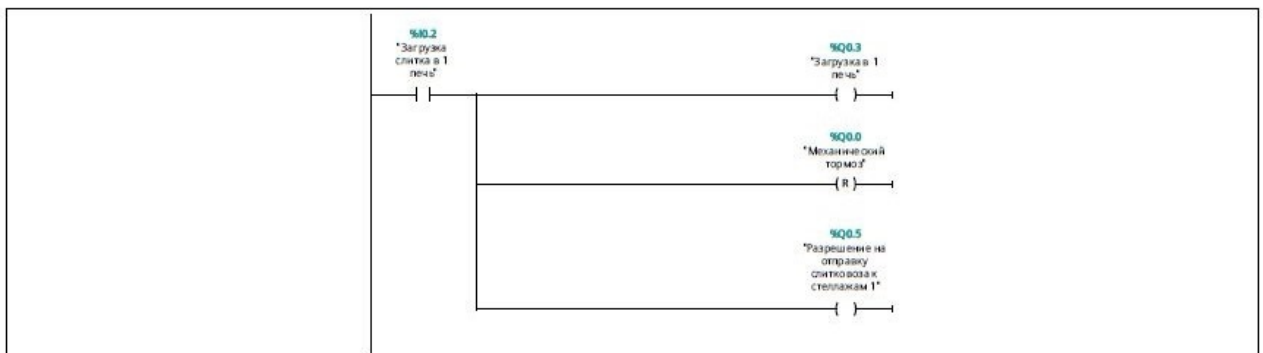
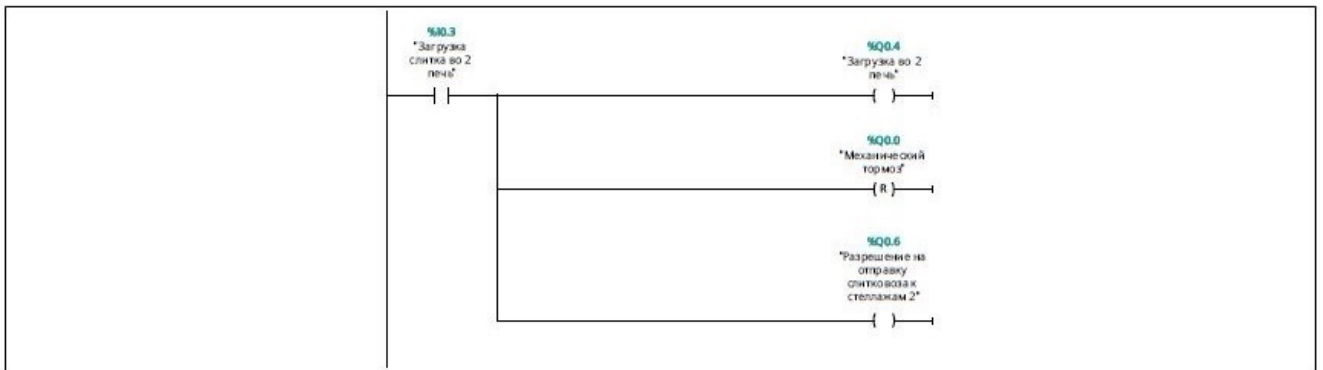


Рисунок 3.8 – Network 10-13

Network 14: Загрузка слитка во 2 печь



Network 15: Пропуск первой заготовки

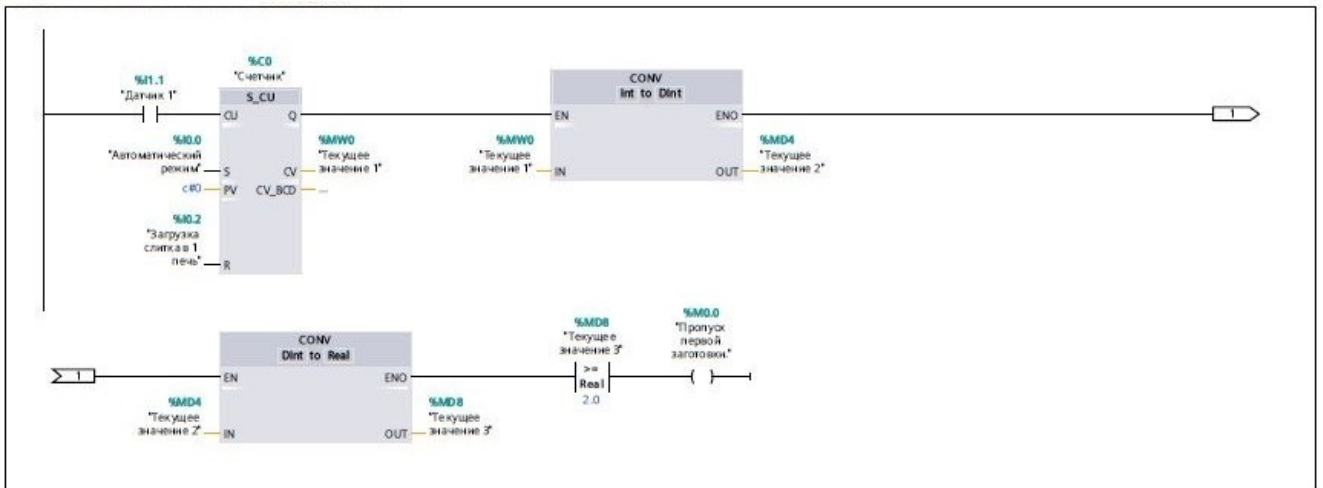


Рисунок 3.9 – Network 14, 15

После составления алгоритма и разработки программы управления мехатронной системой подачи слитка на устройства загрузки в методические печи, была составлена функциональная схема мехатронной системы подачи слитков на устройства загрузки в методические печи представлена на рисунке А5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе были решены задачи по разработке мехатронной системы подачи слитков на устройства загрузки в методические печи ТПЦ-1 ПАО «ЧТПЗ», а именно:

1. Был реализован автоматический режим управления устройством подачи слитков;
2. Было реализовано точное позиционирование слитков на устройстве подачи слитков в заданных точках пути по дискретным сигналам путевых датчиков;
3. Была заменена релейно-контакторная схема управления устройства подачи на преобразователь частоты.

Для привода секции транспортировочного рольганга был выбран асинхронный двигатель серии АИР160S6, который был проверен по нагреву и перегрузочной способности. С учетом номинальных параметров двигателя был выбран преобразователь частоты Sinamics G120P и устройства защиты нестабильности со стороны питающей сети. Для управления системой были выбраны оптические датчики диффузионного типа, устройства считывания штрих-кода. Система управления транспортировочным рольгангом построена на базе контроллера Simatic S7-1500.

Разработанная система управления транспортировочным рольгангом, в программе MATLAB, настроена на векторное управление, согласно которому, она правильно отрабатывает поставленные задачи: запуск секции, изменение скорости перемещения слитка, точный останов слитка напротив методической печи.

Разработка мехатронной системы подачи слитков на участке загрузки слитков в методические печи позволяет получить такие преимущества как:

1. Экономия электроэнергии за счет сокращения времени работы приводов устройства подачи;
2. Исключается возможность ошибки оператора за счет автоматизации системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Автоматизированный электропривод промышленных установок: учеб. пособие для студентов вузов / под общ. ред. Г. Б. Онищенко, М. И. Аксенов, В. П. Грехов, М. Н. Зарицкий, А. В. Куприков, А. Н. Никитевская. – М. : РАСХН, 2001. – 520 с.

2 Виноградов, А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Учебно-справочное пособие / А.Б. Виноградов. – «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».– Иваново, 2010. 298 с.

3 Карнаухов, Н.Ф. Электромеханические и мехатронные системы. Учебно-справочное пособие / Н.Ф. Карнаухов. - Ростов н/Д: Феникс, 2006. 320 с

4 Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебно-справочное пособие / Б.И. Кудрин. – М.: Теплотехник, 2009. - 698 с.

5 Лукин, А.Н. Системы автоматизированного электропривода с векторным управлением асинхронных двигателей: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 180400. – Магнитогорск: МГТУ, 2012. 50 с.

6 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд.-Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2008. – 511 с.

7 Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб.заведений. – М.: Идательский центр «Академия», 2010. 272 с.

8 Системы управления электроприводов: учеб. пособие для студентов вузов/ высш. учеб.заведений / под общ. ред. В.М. Терехов, В.И. Осипов. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. 304 с.

9 Пат. 2339996 Франция, МПК8 G 06 K 19/06, G 06 K 1/12. Магнитная система маркировки, способ и установка для ее изготовления / Криптик. - № 2004133534/09; заявл. 10.06.05; опубл. 21.11.08, Бюл № 33.

10 Пат. 2408929 Российская Федерация, МПК8 G 06 K 1/12. Способ изготовления штрих-кода / В.Д. Шкилев. – № 2007119973/08; заявл. 30.05.07; опубл. 10.01.11, Бюл. № 1.

11 Пат. 2439701 Франция, МПК8 G 06 K 19/10. Способ считывания, по меньшей

мере, одного штрих-кода и система считывания штрих-кода / Аржовигжен. - № 2008142687/08; заявл. 02.04.07; опубл. 10.01.12, Бюл № 1.

12 Пат. 2622861 Российская Федерация, МПК8 G 06 K 7/12. Способ помехоустойчивой идентификации движущихся цилиндрических объектов и устройство для его осуществления / В.А. Подгорнов, А.Н. Пестунов. - № 2016133553/16; заявл. 15.08.16; опубл. 20.06.17, Бюл № 17.

13 Хайманн, Б. Мехатроника: Компоненты, методы, примеры / Б. Хайманн, В. Герт, К. Попп, О. Репецкий; под ред. О.В. Репецкого; пер. с нем. А.В. Хапров [и др.]. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 602 с.

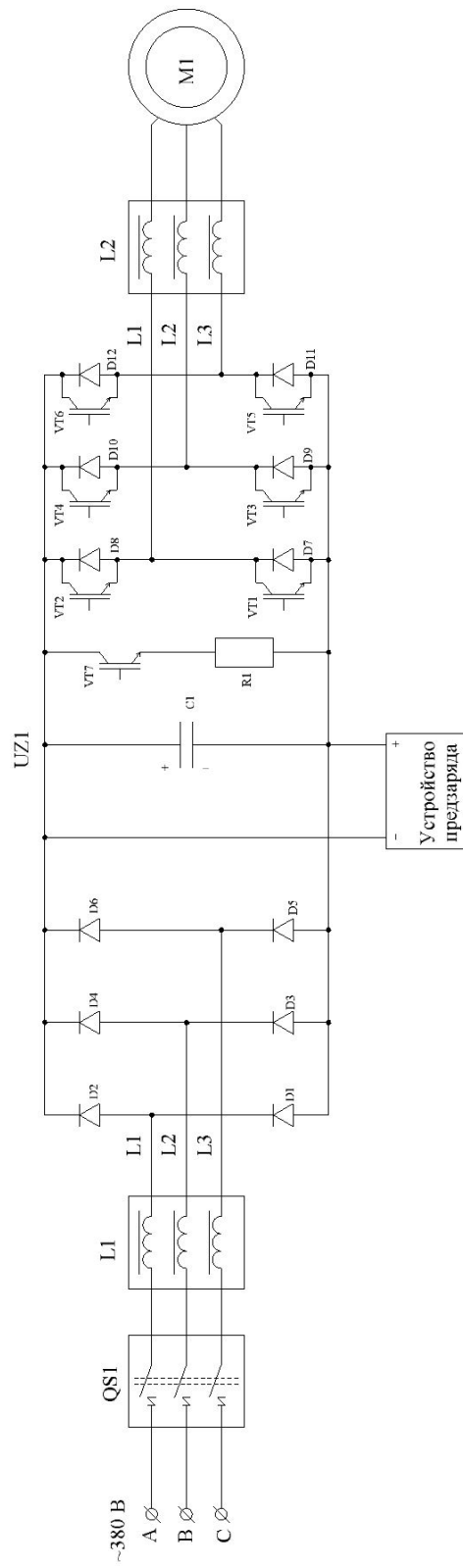


Рисунок А.1 – Силовая схема электропривода секции устройства подачи

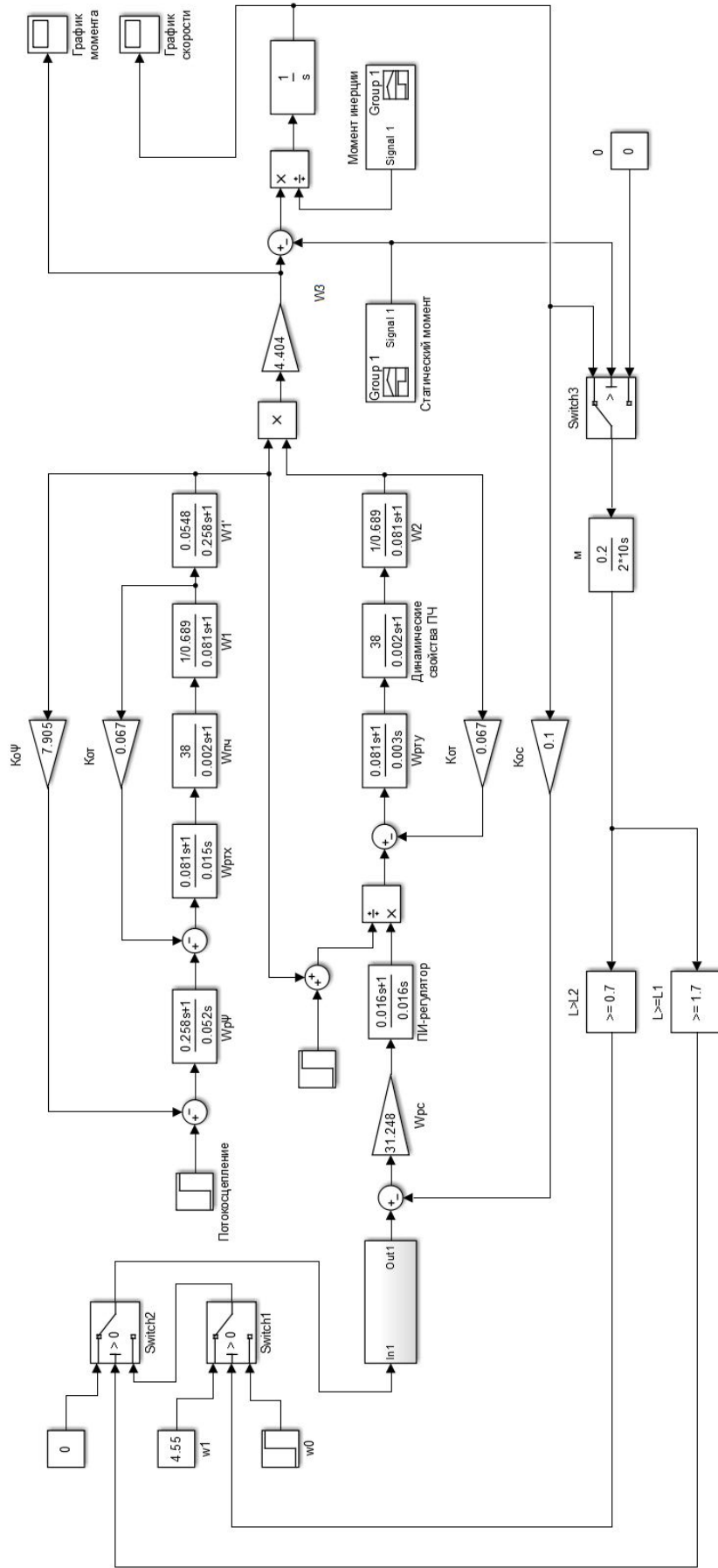


Рисунок А.2 – Математическая модель САР привода ролика рольганга

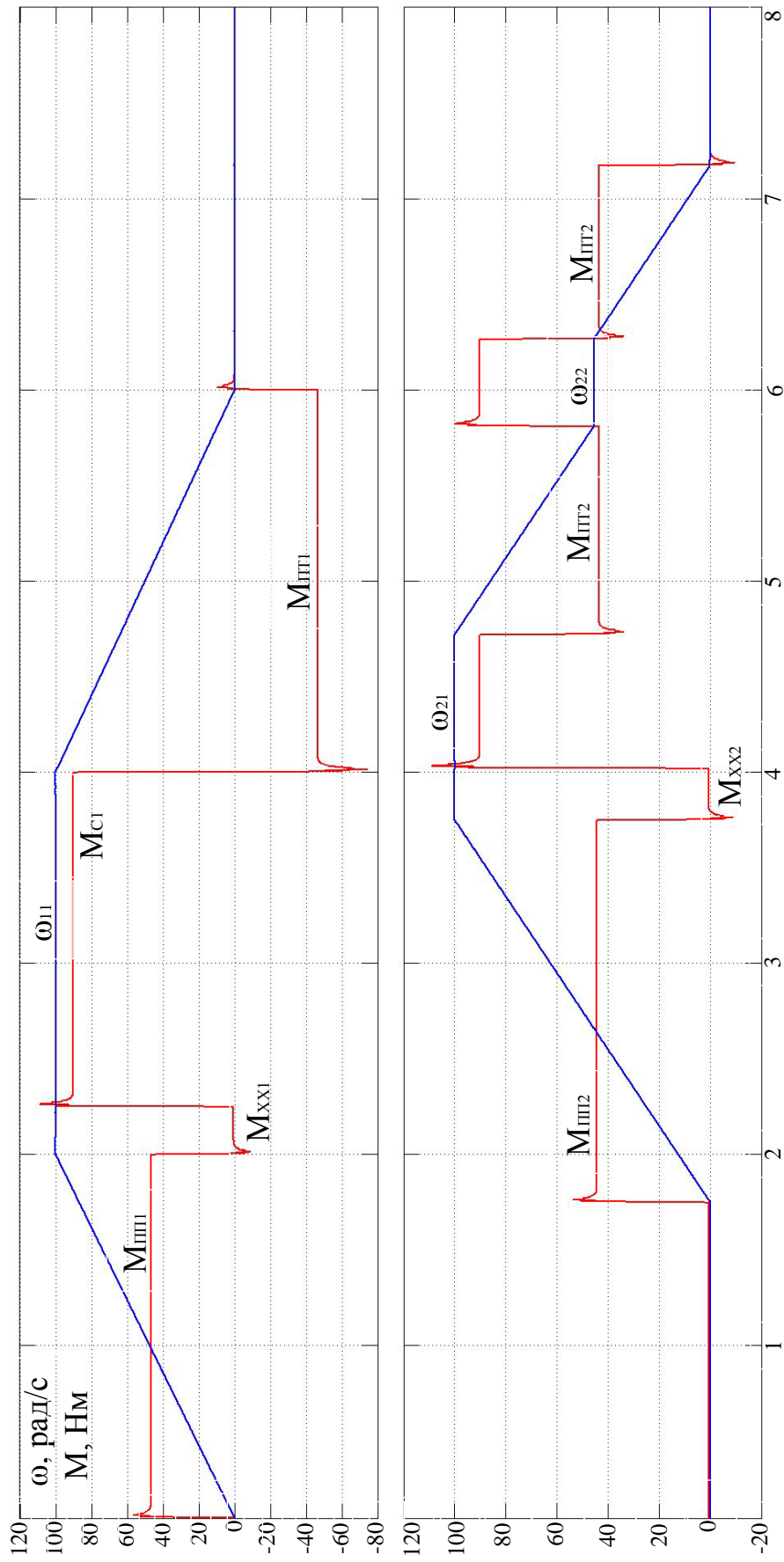


Рисунок А.3 – Графики работы двух соседних сейсций устройства подачи

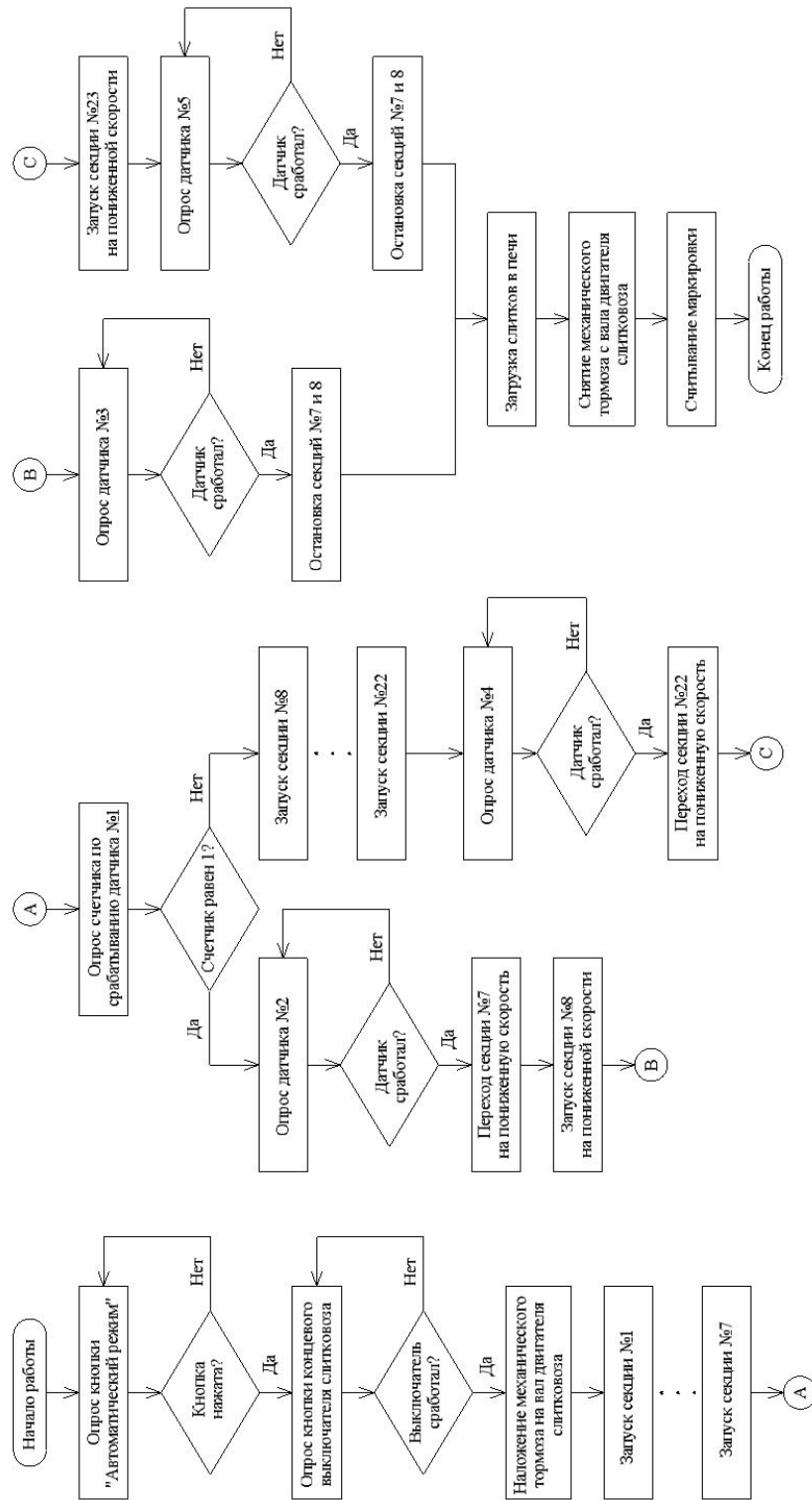


Рисунок А.4 – Алгоритм работы мехатронной системы подачи слитков

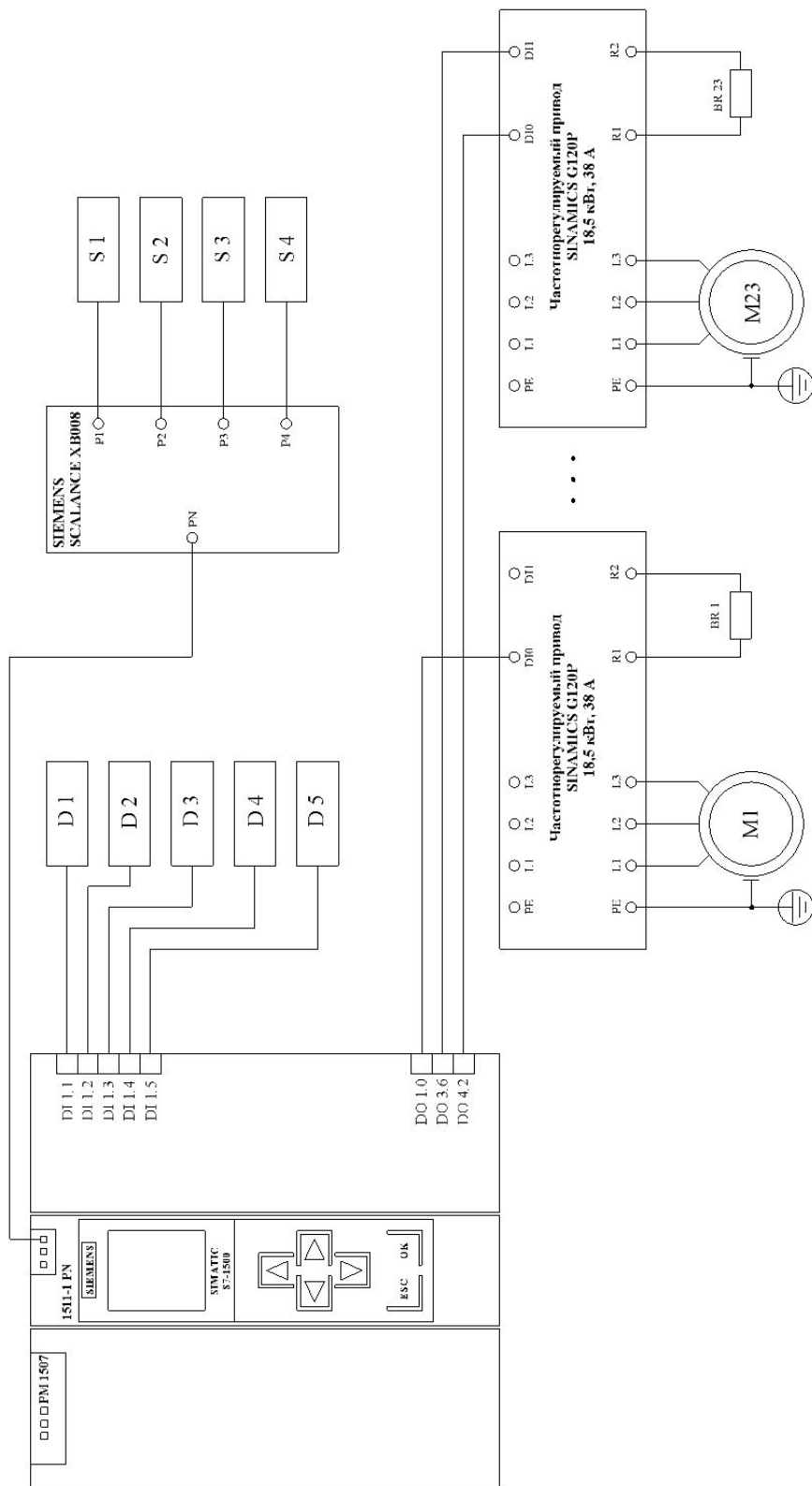


Рисунок А.5 – Функциональная схема привода рольганга