

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт факультет Машиностроения
Кафедра «Мехатроника и автоматизация»
Направление «Мехатроника и робототехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
В.Р. Гасияров

_____ 2019 г.

РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
ПОПЕРЕЧНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕЛЕЖКИ УЧАСТКА ОТДЕЛКИ ЦЕХА
«ВЫСОТА 239» ПАО «ЧТПЗ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ – 15.03.06.2019.114.ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер
Преподаватель
Гасиярова О.А.

_____ 2019 г.

Руководитель работы
К.т.н./Доцент
А.С. Маклаков

_____ 2019 г.

Ст. преподаватель
Воронин С.С.

_____ 2019 г.

Автор проекта
студент группы П-456
Сусев Александр Сергеевич

_____ 2019г.

Челябинск 2019

Задание

АННОТАЦИЯ

Сусев А.С. Реконструкция мехатронной системы управления приводом поперечной транспортной тележки участка отделки цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ» – Челябинск: ЮУрГУ, П-456, 79 с., 18 илл., 14 табл., библиогр. список –18 наим.

Цель выпускной квалификационной работы – мехатронной системы управления приводом поперечной транспортной тележки участка отделки цеха «Высота 239». В выпускной квалификационной работе был описан технологический процесс работы системы, были рассчитаны необходимые механические, электрические параметры системы.

В данной работе была разработана архитектура системы автоматизации. В рамках данной работы было рассчитано и подобрано силовое оборудование и его проверка, так же рассчитаны и подобраны оборудования для защиты привода и построена тахограмма. Для разработки системы автоматического регулирования был использован пакет Simulink программы MATLAB.

В экономической части была рассчитана смета всех капитальных затрат, фонд оплаты труда. Далее была проведена оценка эффективности капитальных вложений от внедрения результатов ВКР. Сумма капитальных затрат, как и величина прибыли были рассчитаны, что позволило рассчитать срок окупаемости и оценить эффективность и оправданность реконструкции.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	6
1.1 Характеристика цеха «Высота 239», характеристика транспортной системы ..	6
1.2 Требования к автоматизации и системе привода	17
1.3 Выбор систем привода.....	18
1.4 Расчет и выбор двигателя.....	20
1.5 Расчет полного цикла работы механизма	24
1.6 Построение нагрузочных диаграмм	27
1.7 Проверка двигателя по условиям нагрева и перегрузки	32
1.10 Выбор основного силового оборудования	34
1.11 Защиты привода, расчет уставок защитных устройств.....	36
2 СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	39
2.1 Архитектура системы автоматизации передаточной тележки	39
2.2 Описание контроллеров и датчиков технологических координат.....	40
2.3 Описание функциональной схемы САР привода тележки	53
2.4 Разработка и моделирование структурной схемы САУ	55
3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	59
3.1 Краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции	59
3.2 Расчет производственной программы цеха	59
3.3 Расчет сметы капитальных затрат	63
3.4 Расчет СРЭО	65
3.5 Расчет показателей предприятия	67
3.6 Расчет срока окупаемости проекта.....	69
3.7 Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	71
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	72

ВВЕДЕНИЕ

Для современного производства важно выпускать качественную продукцию, для этого требуется хорошая точность позиционирования рабочего органа. Такую требуемую точность способна обеспечить мехатронная система.

Мехатронная система включает в себя электромеханическую систему и систему управления, предназначена для приведения рабочего органа в движение и управление этим движением по заданному алгоритму посредством микроконтроллера. Свойства такой системы определяются характеристиками элементов и образующих её подсистем (механической, электрической и магнитной). Поэтому при проектировании электромеханической системы особое внимание уделяется выбору электромеханической элементной базы (электродвигателей, механической передачи, преобразователей и контроллеров) и ее статическим и динамическим характеристикам.

Для мехатронной системы важно не только выбрать электромеханическую базу, но также требуется правильно настроить систему автоматического управления. Правильная настройка позволит эффективно использовать оборудование и оптимизировать технический процесс.

В рамках выпускной квалификационной работы требуется произвести технико-экономическое обоснование и оценку экономической эффективности мероприятия. Исходные данные для проектирования должны быть собраны на предприятии. Все данные берутся за предшествующий 2018 год

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика цеха «Высота 239», характеристика транспортной системы

«Высота 239» - новый современный цех по производству труб большого диаметра был запущен в июле 2010 года. Новое оборудование цеха позволяет изготавливать одношовные сварные трубы диаметром от 508 до 1420 мм с толщиной стенки до 48 мм и длиной от 12 до 18 метров, классом точности X100, с наружным и внутренним покрытием. Продукция цеха может использоваться в суровых климатических условиях, при повышенной сейсмоактивности и при прокладке трубопроводов по дну морей.

Цех состоит из следующих участков: складирования листа, участка шаговой формовки, сварки, отделки, внутреннего и наружного антикоррозионных покрытий, отгрузки готовой продукции. Схема основных технологических операций представлена на рисунке 1 [1].

Транспортная система включает в себя:

- Рольганги продольной транспортировки листов

Рольганги продольной транспортировки листов размещены во всех местах, где необходима продольная транспортировка листов.

Ролики расположены на опорной раме. Отдельные ролики объединяются в группы.

Рольганги продольной транспортировки включают:

- опорную сварную раму
- ролик с приводным валом и подшипником качения
- приводной двигатель с упором против проворачивания

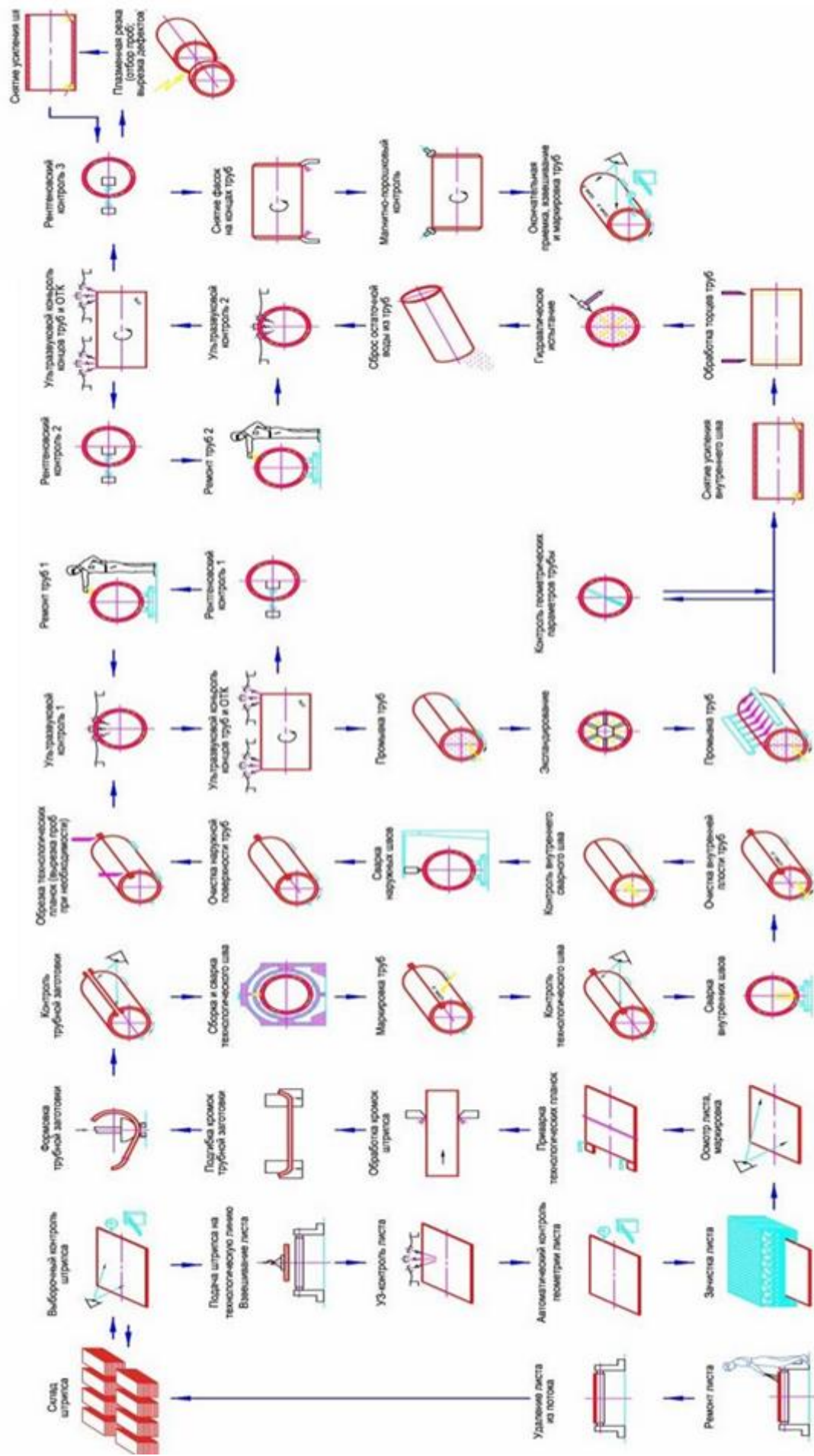


Схема основных технологических операций

- **Весы (весы для листа)**

Весы для листа состоят из рольганга продольной транспортировки, который установлен на 8-ми взвешивающих ячейках.

При помощи вакуумного крана лист снимается со склада и укладывается на весы.

Последовательность функций:

- Исходная ситуация: взвешивающий мост пуст.
- При помощи вакуумной траверсы отдельный лист укладывается на взвешивающий мост.
- Начинается такт взвешивания.
- Весы определяют вес листа.
- Весы сообщают конец такта взвешивания.
- Рольганг для листа по заданному такту передает лист в следующую позицию.

Начинается новый рабочий цикл.

- **Входной рольганг (центровка)**

Входной рольганг с центрующим устройством имеет такую же конструкцию, как и входной рольганг установки приварки технологических планок.

- **Устройство поперечной транспортировки листа (подъёмно-опускное)**

Устройство поперечной транспортировки предназначено для:

1. транспортировки листа к формовочному прессу длиной 18 м,
2. транспортировки листа к формовочному прессу длиной 12 м,
3. распределения листа на оба формовочных прессы.

Лист транспортируется на первом подъёмно-опускном рольганге и при необходимости передаётся при помощи цепного устройства поперечной транспортировки до положения над вторым подъёмно-опускным рольгангом, находящемся в нижней позиции.

Перемещение транспортных рольгангов для листа осуществляется гидравлическим способом. Устройство поперечной транспортировки листа состоит из:

- 11 цепных конвейерных линий из сварной конструкции,
- подъёмно-опускных рольгангов,
- рельсов,
- непрерывной приводной линии с цепными колесами и приводным узлом,
- поворотного узла с натяжным устройством цепей.

- Приёмный стеллаж

Приёмные стеллажи состоят из сварных станин, облицованных пластмассовыми плитами для понижения шума. Для контроля занятости на каждой паре приёмных стеллажей установлен бесконтактный конечный выключатель.

- Подъёмные стеллажи (подъёмно-опускные)

Подъёмные стеллажи предназначены для преодоления разницы высот между установками.

Подъёмные стеллажи находятся:

1. в отводящем рольганге формовочного пресса длиной 12 м,
2. перед и позади установок сварки труб.

Подъёмно-опускное устройство состоит из:

- основной рамы с направляющими втулками,
- промежуточной плиты с направляющими втулками,
- гидроцилиндра.

- Платформы наружной сварки

На платформе наружной сварки установлены компоненты сварочной установки, кроме этого при помощи лестниц обеспечен доступ к рабочим местам.

- Платформы внутренней сварки

На платформе внутренней сварки установлены компоненты сварочной установки, кроме этого при помощи лестниц обеспечен доступ к рабочим местам.

- Рабочие платформы

На участке установки предусмотрены разные рабочие платформы для различных назначений. В зависимости от назначения они оснащены

разнообразными инструментами. Они состоят из отдельных столов, который могут быть при работах технического ухода легко удалены.

- Тележка поперечной транспортировки (QTW)

Тележка поперечной транспортировки состоит из:

- рамы тележки из стального профиля,
- системы из 8 блоков колес (при пересечении рельсов),
- системы из 4 блоков колес (без пересечения рельсов),
- проходного приводного вала с приводом,
- опорных призм с направляющими колонками,
- гидроцилиндра,
- гидроагрегата с блоком управляющих клапанов,
- масляного бака, насоса с приводом.

Количество применяемых в отдельных участках тележек поперечной транспортировки зависит от потребностей, связанных с тактовыми периодами.

Сфера действия тележек поперечной транспортировки определена в участках и контролируется электронными системами.

Функция:

Тележки поперечной транспортировки осуществляют поперечную транспортировку труб внутри участка.

Призматические опоры поднимаются и опускаются гидравлическим способом. Гидроагрегат встроен в тележку.

Привод поперечной транспортировки регулируемый.

- Тележка продольной транспортировки (LTW)

Тележка продольной транспортировки предназначена для транспортировки труб в процессе сварки внутреннего продольного шва. Она состоит из двух отдельных тележек, перемещающихся на рельсовой системе.

На тележках установлены приводные ролики вращения, служащие одновременно опорой для труб.

Обе тележки соединены рычагами между собой так, чтобы рычаги были не выше высоты рельсов и тележки поперечной транспортировки могли перемещаться над рычагами.

Кулачки переключения, расположенные на полу в рельсовой системе ограничивают пути перемещения тележек.

Тележки продольной транспортировки состоят из:

- рама тележки из стального профиля
- блоки колес системы DRS
- проходной приводной вал с приводом
- привод перемещения с серворегулированием

Поворотные ролики на тележках продольной транспортировки

- ролики с пластмассовым покрытием в подшипниках качения
- ролик с проходным приводным валом
- приводной двигатель с серворегулированием

Описание принципа работы тележки продольной транспортировки на участке сварки внутреннего шва

Тележка поперечной транспортировки (QTW) снимает трубу из рольганга продольной транспортировки и подает ее поперек к оси трубы и укладывает ее на тележку продольной транспортировки (LTW) к машине сварки внутреннего шва.

Как только тележка поперечной транспортировки (1) уложила трубу, сварной шов посредством поворотного рольганга приводится в необходимую позицию «6 часов».

Сразу после выхода тележки поперечной транспортировки из зоны действия тележки продольной транспортировки последняя вместе с трубой перемещается на ускоренном ходу над сварочными балками и позиционирует трубу на точке начала сварки.

После окончания процесса сварки сварочное устройство поднимается, и тележка продольной транспортировки перемещается в позицию разгрузки. Тележка поперечной транспортировки (2) снимает трубу из тележки продольной транспортировки, подает ее поперек к оси трубы и укладывает ее на выходной

рольганг. Одновременно тележка поперечной транспортировки (1) укладывает следующую трубу на тележку продольной транспортировки.

Описание принципа работы тележки продольной транспортировки на участке сварки наружного шва

Тележка поперечной транспортировки (QTW) снимает трубу с тележки продольной транспортировки, подает ее поперек к оси трубы и укладывает ее на тележку продольной транспортировки (LTW) к машине сварки наружного шва. Как только тележка поперечной транспортировки (1) уложила трубу, сварной шов посредством поворотного рольганга приводится в необходимую позицию «12 часов».

Сразу после выхода тележки поперечной транспортировки из зоны действия тележки продольной транспортировки последняя вместе с трубой перемещается на ускоренном ходу под сварочными балками и позиционирует трубу на точке начала сварки.

После окончания процесса сварки сварочное устройство поднимается, и тележка продольной транспортировки перемещается в позицию разгрузки. Тележка поперечной транспортировки (2) снимает трубу из тележки продольной транспортировки, подает ее поперек к оси трубы и укладывает ее на выходной рольганг. Одновременно тележка поперечной транспортировки (1) укладывает следующую трубу на тележку продольной транспортировки.

- Волочильные цепи

Задача волочильных цепей заключается в питании транспортных тележек электроэнергией и подаче к ним сигналов управления.

Волочильные цепи входят в сферу электрооборудования.

Монтаж станин, перекрытий и колпаков должен осуществляться вместе с монтажом волочильных цепей, при этом необходимо обратить особое внимание на инструкцию по эксплуатации и техобслуживанию изготовителя системы волочильных цепей.

- Отсасывающее устройство

С помощью тяги, закрепленной на тележке и приводом при помощи трайбаппарата, тележка вталкивается в трубу. На конце тяги установлено отсасывающее устройство со щётками, регулируемое соответственно разным диаметрам труб.

Тележка может быть предварительно позиционирована в зависимости от различной длины труб, поворотный рольганг, регулируемый по высоте.

Для предотвращения поломок отсасывающего устройства, поворотный рольганг должен быть настроен на размер трубы.

У конца трубы расположена бадья для сбора отходов при процессе внутренней сварки.

Скорость регулируется оператором.

- Длинная тележка контроля

Находящаяся на поворотном рольганге труба вращается и позиционируется сварным швом в необходимую позицию (позиция «6 часов»)

Тележка может быть предварительно позиционирована в зависимости от различной длины труб.

Оператор ложится на тележку контроля, находящуюся в позиции парковки.

С помощью тяги, закрепленной на тележке и приводом при помощи трайбаппарата, тележка вталкивается в трубу.

Скорость регулируется оператором.

- Короткая тележка контроля / ремонт внутреннего шва трубы

Находящаяся на поворотном рольганге труба вращается и позиционируется сварным швом в необходимую позицию (позиция «6 часов»).

Тележка может быть предварительно позиционирована в зависимости от различной длины труб.

Оператор ложится на тележку контроля, находящуюся в позиции парковки.

С помощью тяги, закрепленной на тележке и приводом при помощи трайбаппарата, тележка вталкивается в трубу.

Скорость регулируется оператором.

- Наружные щётки

Шлак удаляется при помощи круглой щётки с приводом.

Опора регулируется по высоте и предварительно настраивается соответственно диаметру трубы.

Остаточный рабочий ход осуществляется при помощи цилиндра, установленного над круглой щёткой.

Шлак падает через воронку на конвейерную ленту и транспортируется к двум сменным бадьям. Бадьи расположены на тележке, и их замена осуществляется при помощи цехового цеха.

Усилие прижима круглой щётки зависит от свариваемого материала и диаметра трубы. Это относится ко всему сроку службы круглой щётки.

После смены изделия, оператор обязан следить за первыми трубами для возможной точной настройки. Цикл смен бадей определяется оператором и зависит от шлака.

- Предохраняющие упоры

Предохраняющие упоры подводятся и отводятся при помощи цилиндра. Они предназначены для защиты персонала и узлов установки и не являются стационарными упорами для определения конечной позиции трубы.

- Сменные бадья установки отрезки технологических планок

Цикл смен бадей определяется оператором и зависит от количества технологических планок и их веса, соответственно разнообразным изделиям. Бадьи расположены на тележке, и их замена осуществляется при помощи цехового цеха.

- Предохраняющие упоры установки отрезки технологических планок

Предохраняющие упоры подводятся и отводятся при помощи цилиндра. Они предназначены для защиты персонала и узлов установки и не являются стационарными упорами для определения конечной позиции трубы.

- Рольганг

Ролики продольной транспортировки предназначены для продольной транспортировки труб. Они имеют V-образную форму и соответственно один регулируемый привод.

Ролики продольной транспортировки за установкой снятия фаски имеют пластмассовое покрытие для защиты фасок. В различных участках транспортировки транспортные ролики объединены в группы приводов.

Ролики продольной транспортировки включают в себя:

- опорную сварную раму,
- ролик с приводным валом и подшипником качения,
- приводной двигатель с упором против проворачивания.

- Поворотный рольганг (стационарный)

Стационарные поворотные рольганги размещены во всех местах, где трубы транспортируются поперечно и укладываются тележкой поперечной транспортировки или другими транспортными элементами. Поворотные ролики поворачивают трубы до определенной позиции. Соответственно два поворотных устройства образуют один вращающийся рольганг.

Поворотное устройство включает в себя:

- опорную сварную раму,
- 2 ролика с пластмассовым покрытием в подшипниках качения,
- один ролик с проходным приводным валом,
- приводной двигатель с упором против проворачивания.

- Поворотный рольганг (подъемно-опускной)

Подъемно-опускные поворотные рольганги размещены во всех местах, где трубы подаются рольгангами, тележкой поперечной транспортировки и затем радиально поворачиваются до определенной позиции.

Подъемно-опускное устройство включает в себя:

- опорную раму с направляющими втулками,
- промежуточную плиту с направляющими втулками,
- гидроцилиндр.

Поворотное устройство включает в себя:

- опорную сварную раму,
- 2 ролика с пластмассовым покрытием в подшипниках качения,
- один ролик с проходным приводным валом,
- приводной двигатель с упором против проворачивания.

- **Весы для труб**

Весы для труб предназначены для определения веса готовой трубы. Они состоят в основном из опорной рамы, 2 опорных призм с пластмассовыми плитами для уменьшения толчков и 4 взвешивающих ячеек.

Последовательность функций:

- исходная ситуация: взвешивающий мост пуст.
- С помощью тележки поперечной транспортировки отдельная труба укладывается на взвешивающий мост.
- Идентификационный номер трубы вводится в систему прослеживания материала с помощью клавиатуры.
- Начинается такт взвешивания.
- Весы определяют вес трубы.
- Весы сообщают конец такта взвешивания.
- Тележка поперечной транспортировки по заданному такту передает трубу в следующую позицию. [2]

Начинается новый рабочий цикл.

После экспандирования труба приходит на позицию 1. Тележка, перевозит трубу в позицию 5 для продолжения технического процесса изготовления или на позиции 2; 3; 4 для складирования. Складирование происходит по порядку, начиная с позиции 4 затем 3 и 2. Так же тележка осуществляет передвижение труб по участку складирования: из позиции из 3 в 4 из 2 в 3. Наличие трубы определяется индуктивными датчиками. Приоритетом является продолжение изготовления, поэтому при наличии трубы на складе тележка транспортирует ее в позицию 5 в первую очередь. Затем, если склад заполнен, то освобождает место. После чего забирает трубу с 1 позиции и перевозит ее на склад.

Из технического процесса следует, что тележка перемещается на разные дистанции: 2м, 3м, 5м, 7м, 10м.

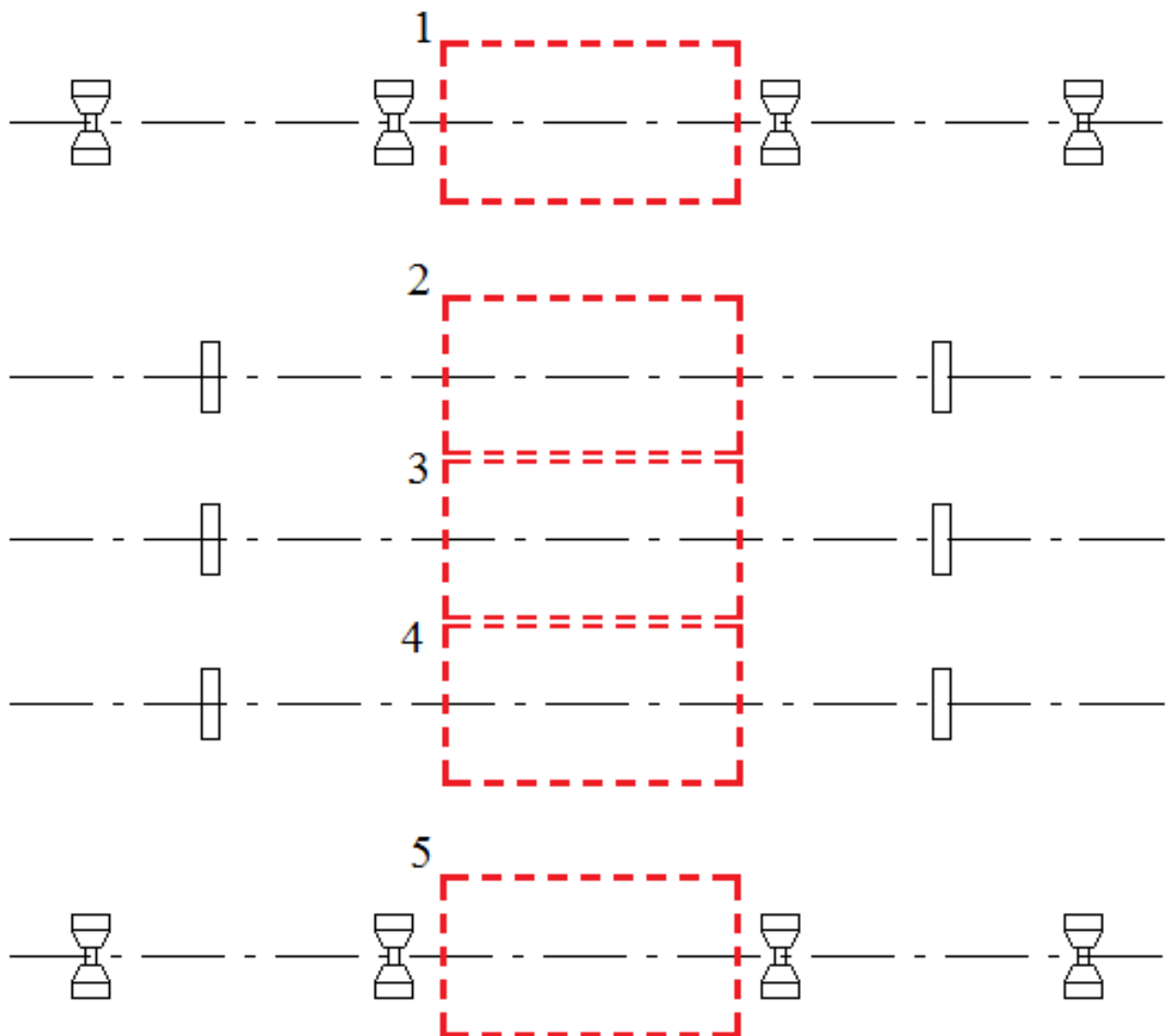


Рисунок 2 – Позиции тележки

1.2 Требования к автоматизации и системе привода

Как к любому техническому объекту, к электроприводу предъявляются разнообразные технические требования, исходя из условий эксплуатации и технологических требований.

В связи с тем, что тяжелые грузы целесообразно перемещать с меньшей скоростью, а пустую тележку с большей скоростью, предъявляются требования к диапазону регулирования скоростей, а также необходимы ограничения ускорений до допустимых пределов [3].

Регулируемый электропривод перемещения передаточной тележки должен удовлетворять следующим техническим требованиям:

1. Диапазон регулирования скорости транспортировки 10:1.
2. Статическая ошибка регулирования скорости не более 5 %.
3. Электропривод реверсивный. Реверсирование электропривода и обеспечение его работы, как в двигательном, так и в тормозном режиме.
4. Обеспечение точность позиционирования не менее ± 10 мм
5. Обеспечение плавного пуска и торможения при перемещении тележки
6. Ограничить ускорение до $0,09 \text{ м/с}^2$, при движении с грузом.

Система управления мехатронной системой перемещения передаточной тележки транспортировки трубы должна обеспечивать согласованное управление системой привода, а также обладать точностью позиционирования. Система автоматизации должна обладать достаточным быстродействием, а также возможностью управления посредством микропроцессорных цифровых устройств, т.е. контроллеров. Возможностью визуализации работы установки при помощи панели оператора HMI.

Таким образом, основные требования к автоматизации привода заключаются:

1. Быстродействие системы на уровне контроллера не менее 0,005 мкс.
2. Возможность сигнализирования об опасных или аварийных ситуациях на панели оператора путем звуковых или цветовых сигналов.
3. Встроенный интерфейс типа PROFIBUS или PROFINET.

1.3 Выбор систем привода

Выбор системы привода является частью общей задачи разработки и создания механизма новой конструкции. При этом необходимо учитывать:

1. Назначение механизма или машины, для которой проектируется данный привод.
2. Характер нагрузки на привод.
3. Точность позиционирования или точность воспроизведения движения машины.
4. Режимы работы привода и обеспечения соответствующей механической характеристики. [4]

Из приведенных выше критериев и технологического процесса, необходимо подобрать подходящую систему привода.

Передачная тележка транспортировки трубы в процессе эксплуатации подвергается нагрузке на привод в момент поднятия заготовки, её перемещения, торможения и разгона. Следовательно, привод должен обеспечивать стабильные показатели скорости, удержания и относительной точности позиционирования в процессе транспортировки независимо от нагрузки.

Исходя из вышеописанных требований, было принято использование асинхронного мотор-редуктора. Выбор асинхронного двигателя объясняется их высокой надёжностью и КПД, возможностью работы непосредственно от сети переменного тока, простотой обслуживания, а также возможностью регулирования скорости с помощью частотного преобразователя. Преимущество не разборной конструкции в отсутствии переходных звеньев между мотором и редуктором, что повышает КПД привода.

При выборе системы необходимо учитывать основные параметры, которые представлены в таблице 1:

Таблица 1 – Основные параметры

$V_{уст}$, м/с	$V_{гр}$, м/с	$a_{бгр}$, м/с ²	$a_{гр}$, м/с ²	$m_{гр}$, кг	m_T , кг	$R_{кол}$, м
0,4	0,36	0,14	0,09	30000	2000	0,15

Поскольку ускорение тележки одинаково как при наличии груза так и в его отсутствие то для выбора двигателя необходимо и достаточно чтобы двигатель удовлетворял требования движения с нагруженной тележкой

Линейная скорость изменяется от 0 до 0,4 м/с. Максимальную линейную скорость с грузом ограничим на 10% в целях повышения устойчивости, с учетом ограничения скорость составит 0,36 м/с.

1.4 Расчет и выбор двигателя

Основные параметры передаточной тележки приведены в таблице 2. [5]

Таблица 2 - Основные параметры

D_k , мм	$d_{ш}$, мм	μ	k_p	f
300	50	0,005	2	0,0015

В механизме передвижения тележки поперечной транспортировки (рисунок 3) Момент на валу двигателя преодолевает только силы трения. Мотор-редуктор состоящий из двигателя АД и цилиндрического редуктора Р вращает ведущую пару колес тележки, преодолевая силу сопротивления движению $F_{тр}$

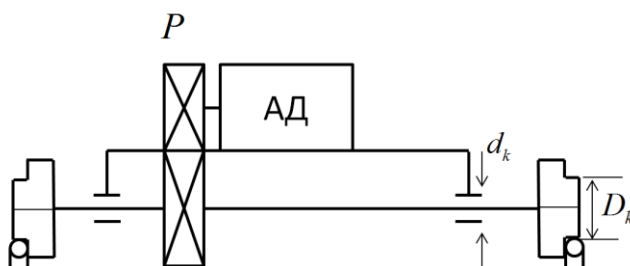


Рисунок 3 – Кинематическая схема привода тележки

Сила трения рассчитывается по формуле (1)

$$F_{тр} = \frac{k_p \cdot m_{тр} \cdot g \cdot (f + \mu \cdot r_{ш})}{R_k} \quad (1)$$

где, f – коэффициент трения качения;

$r_{ш}$ – радиус шейки ходового колеса;

μ – коэффициент трения скольжения в подшипниках;

k_p – коэффициент трения реборд;

R_k – радиус ходового колеса.

Без груза:

$$F_{\text{трт}} = \frac{1,5 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot (0,0015 + 0,01 \cdot 0,025)}{0,15} = 343 \text{ Н}$$

С грузом:

$$F_{\text{трт}} = \frac{1,5 \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot (0,0015 + 0,01 \cdot 0,025)}{0,15} = 5145 \text{ Н}$$

Сила трения F_{po} всегда направлена навстречу движения тележки. Под реактивными силами понимаются такие силы, которые меняют свой знак при смене направления движения. Значит, F_{po} – реактивная сила. Из формулы (1) следует, что модуль силы трения не зависит от скорости вращения рабочего органа. Приведенная формула (1) и вид механической характеристики не учитывают трение покоя, несколько увеличивающие силы трения при пуске механизма.

Таким образом, электропривод тележки является реверсивным, с постоянным, независимым от скорости, моментом, знак которого изменяется при изменении направления движения, т.е. носящим реактивный характер. На рисунке 4 представлена механическая характеристика механизма передвижения поперечной транспортной тележки

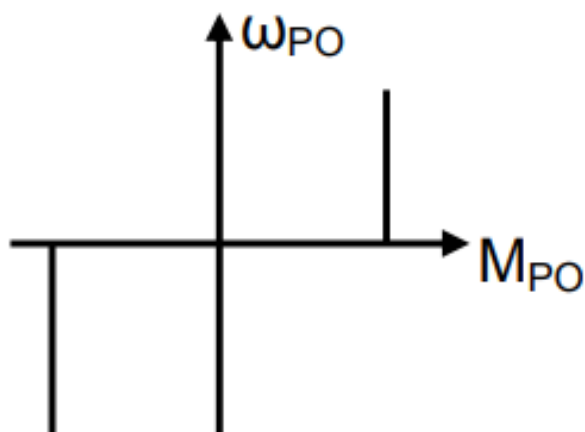


Рисунок 4 – Механическая характеристика механизма передвижения тележки

Статическую мощность электродвигателя находим по формуле:

$$P_c = \frac{F_{po} \cdot V_{гр}}{\eta} \quad (2)$$

где η – значение КПД механизма передвижения.

Для нахождения статической мощности требуется рассчитать КПД механизма. Поскольку на данном этапе расчета мотор-редуктор еще не выбран, принимается среднее значение $\eta_{мр} = 0,95$.

$$\eta = \eta_{мр} \cdot \eta_m \cdot \eta_{п} = 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,92 \quad (3)$$

где, $\eta_{мр}$ – КПД асинхронного мотор-редуктора;

η_m – КПД муфты;

$\eta_{п}$ – КПД подшипников;

Найдем статическую мощность с учетом КПД

Без груза:

$$P_{ст} = \frac{343 \cdot 0,4}{0,92} = 149,1 \text{ Вт}$$

С грузом:

$$P_{cr} = \frac{5145 \cdot 0,36}{0,92} = 2013,3 \text{ Вт}$$

Динамическая мощность двигателя рассчитывается по формуле:

$$P_d = \frac{m \cdot a \cdot V}{\eta} + P_c \quad (4)$$

Без груза:

$$P_{дг} = \frac{2000 \cdot 0,14 \cdot 0,4}{0,92} + 149,1 = 270,8 \text{ Вт}$$

С грузом:

$$P_{дг} = \frac{30000 \cdot 0,09 \cdot 0,36}{0,92} + 2013,3 = 3069,5 \text{ Вт}$$

С учетом статической и динамической мощностей, был выбран цилиндрический мотор-редуктор с параллельными валами flender FZADS88B-M112MB4-L32/40N фирмы lenze. Включающий в себя электродвигатель и цилиндрический редуктор. [8] Основные технические характеристики мотор-редуктора представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики мотор-редуктора

Тип	1LA7133-4AA1
Мощность P_n , кВт	4
Частота f , Гц	50

Продолжение таблицы 3

Напряжение U_H , В	380
Ток I_H , А	8,95
η , %	94,7
$\cos \varphi$	0,83
Частота вращения n_H , 1/мин	1445
Передаточное число редуктора i	31,69
Перегрузочная способность	2,3

1.5 Расчет полного цикла работы механизма

Рассчитаем время разгона и торможения:

$$t_p = t_T = \frac{V_y}{a} \quad (5)$$

где t_p - время разгона,

t_T - время торможения,

V_y - установившаяся линейная скорость

a - значение ускорения.

Без груза:

$$t_{пр} = \frac{0,4}{0,14} = 2,86 \text{ с}$$

С грузом:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{т}} = \frac{0,36}{0,09} = 4 \text{ с}$$

Необходимо найти расстояние при движении с ускорением при разгоне и торможении

$$S = v_0 t + \frac{a \cdot t^2}{2} \quad (6)$$

где S - пройденное тележкой расстояние под ускорением.

Разгон без груза:

$$S_{\text{пр}} = \frac{0,14 \cdot 2,86^2}{2} = 0,57 \text{ м}$$

Разгон с грузом:

$$S_{\text{пр}} = \frac{0,09 \cdot 4^2}{2} = 0,72 \text{ м}$$

Торможение без груза:

$$S_{\text{т}} = 0,4 \cdot 2,86 + \frac{0,14 \cdot 2,86^2}{2} = 1,71 \text{ м}$$

Торможение с грузом:

$$S_{\text{т}} = 0,36 \cdot 4 + \frac{0,09 \cdot 4^2}{2} = 1,92 \text{ м}$$

Рассчитаем расстояние при движении без ускорения

$$S_{\text{бу}} = S_{\text{п}} - S_{\text{р}} - S_{\text{т}} \quad (7)$$

где $S_{\text{п}}$ - максимальный путь тележки в одном направлении

$S_{\text{бу}}$ – расстояние проходимое тележкой без ускорения

Без груза:

$$S_{\text{бут}} = 10 - 0,57 - 1,71 = 7,72 \text{ м}$$

С грузом:

$$S_{\text{буг}} = 10 - 0,72 - 0,92 = 7,36 \text{ м}$$

Найдем время движения без ускорения

$$T_{\text{бу}} = \frac{S_{\text{бу}}}{v} \quad (8)$$

где V_y - установившаяся скорость

Без груза:

$$t_{\text{ут}} = \frac{7,72}{0,4} = 19,3 \text{ с}$$

С грузом:

$$t_{\text{уг}} = \frac{7,36}{0,36} = 20,4 \text{ с}$$

Из (5) и (8) найдем время цикла:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{бут}} + t_{\text{бут}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{тр}} \quad (9)$$

где $t_{\text{ц}}$ = время цикла

$$t_{\text{ц}} = 2,68 + 4 + 19,3 + 20,4 + 2,68 + 4 = 53,06 \text{ с}$$

1.6 Построение нагрузочных диаграмм

Угловую частоту вращения двигателя можно найти по формуле:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (10)$$

где n – номинальная частота вращения двигателя.

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot 1445}{30} = 152,3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Угловая скорость мотор-редуктора рассчитывается по формуле:

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{V \cdot i}{R_{\text{к}}} \quad (11)$$

Тогда угловая скорость двигателя под нагрузкой:

Без груза:

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{0,4 \cdot 31,69}{0,15} = 84,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

С грузом

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{0,36 \cdot 31,69}{0,15} = 76 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Для построения нагрузочной диаграммы, необходимо рассчитать статический и динамический моменты. Статический момент рассчитывается по формуле:

$$M_c = \frac{F_{\text{ск}} \cdot V}{\omega_{\text{дв}}} \quad (12)$$

Без груза:

$$M_c = \frac{343 \cdot 0,4}{84,5} = 1,62 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

С грузом:

$$M_c = \frac{5145 \cdot 0,36}{76} = 24,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Динамический момент рассчитывается по формуле:

$$M_d = J_c \cdot \varepsilon \quad (13)$$

Момент инерции системы определяется по формуле:

$$J_c = J_{\text{дв}} + \frac{m \cdot V^2}{\omega_{\text{дв}}^2} \quad (14)$$

где, $J_{дв} = 0,011 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент инерции двигателя.

Без груза:

$$J_c = 0,011 + \frac{2000 \cdot 0,4^2}{84,5^2} = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

С грузом:

$$J_c = 0,011 + \frac{30000 \cdot 0,36^2}{76^2} = 0,68 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

угловое ускорение рассчитывается по формуле (14)

$$\varepsilon = \frac{a \cdot i}{R_k} \quad (15)$$

Подставив значения ускорения для перемещения без груза и с грузом в формулу (15) получим:

Без груза:

$$\varepsilon = \frac{0,14 \cdot 31,69}{0,15} = 29,5 \text{ с}^{-2}$$

С грузом:

$$\varepsilon = \frac{0,09 \cdot 31,69}{0,15} = 19 \text{ с}^{-2}$$

Подставив в (13) значения (14) и (15) получим:

Без груза:

$$M_{\text{дг}} = 0,05 \cdot 29,5 = 1,475 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

С грузом:

$$M_{\text{дг}} = 0,68 \cdot 19 = 12,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Уравнение движения привода одномассовой системы:

$$M = M_c \pm J_{\Sigma} \cdot \varepsilon \quad (16)$$

Необходимо учитывать, что знак зависит от направления передачи.

Всего есть 3 участка: разгон, с установившейся скоростью и торможение. Для построения нагрузочной диаграммы необходимо рассчитать момент для всех участков движения.

1) На участке разгона:

Без груза:

$$M = 1,62 + 1,475 = 3,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

С грузом:

$$M = 24,4 + 12,9 = 37,3 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

2) На участке с установившейся скоростью:

Без груза:

$$M = 1,62 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

С грузом:

$$M = 24,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3) На участке торможения принимаем динамические моменты с противоположным знаком:

Без груза:

$$M = 1,62 - 1,475 = 0,145 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

С грузом:

$$M = 24,4 - 12,9 = 11,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для построения нагрузочной диаграммы и тахограммы привода тележки, необходимо обратить внимание на режим работы самой тележки. Тележка за полный цикл работы останавливается 3 раза на 10 секунд для подъема или опускания трубы. И работает постоянно, прерываясь только на выполнение обслуживающих работ. Значит режим работы постоянно кратковременный.

Нагрузочная диаграмма отображает зависимость суммарного момента от времени.

Тахограмма перемещения позволяет увидеть изменения линейной скорости во времени

Нагрузочная диаграмма и тахограмма перемещения передаточной тележки, представлены на рисунке 5. На ней отображена работа тележки в двух режимах. С грузом и без него

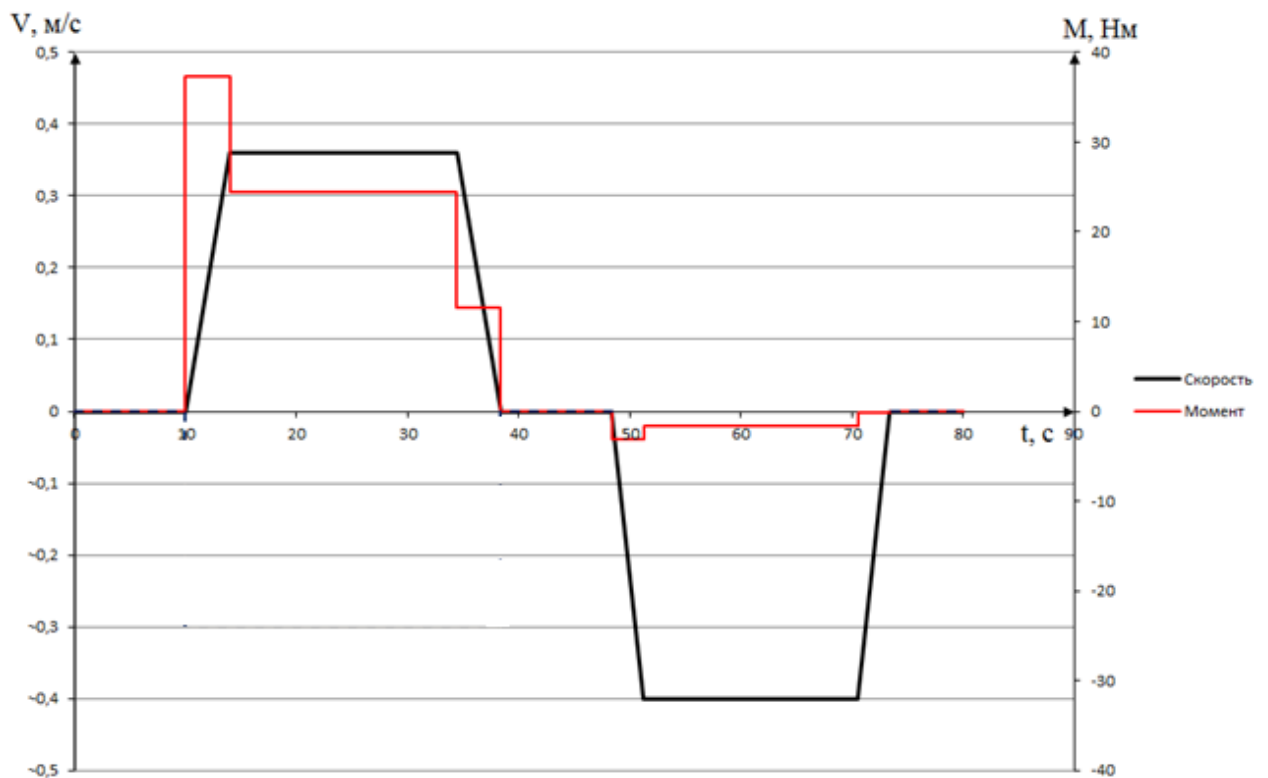


Рисунок 5 – Нагрузочная диаграмма и тахограмма перемещения тележки

1.7 Проверка двигателя по условиям нагрева и перегрузки

Используем метод эквивалентного момента для окончательной проверки двигателя.

Эквивалентное значение – это значение, при котором тепловые потери, в среднем за цикл работы, соответствуют реальным потерям двигателя при работе с переменной нагрузкой.

Если выполняется условие (2.17) то двигатель выбран правильно.

$$M_s < (0,75 \div 0,8)M_n \quad (17)$$

Номинальный момент рассчитывается по формуле:

$$M_n = \frac{P_n \cdot 9550}{n_n} \quad (18)$$

где P_H – номинальная мощность двигателя (Вт)

n_H номинальная скорость вращения двигателя в об/мин

$$M_H = \frac{4000 \cdot 9550}{1445} = 26,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Эквивалентный момент можно найти по формуле:

$$M_э = \sqrt{\frac{\sum_n M_n^2 \cdot t_n}{t_u}} \quad (19)$$

где t_n - время участков

M_n - значения момента на каждом участке

$$M_э = \sqrt{\frac{3,1^2 \cdot 2,86 + 37,3^2 \cdot 4 + 1,62^2 \cdot 19,3 + 24,4^2 \cdot 20,4 + 0,145^2 \cdot 2,86 + 11,5^2 \cdot 4}{53,06}}$$

$$M_э = 18,58 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Подставив значения (2.18) и (2.19) в (2.17) получим:

$$18,58 < 0,75 \cdot 26,4$$

$$18,58 < 19,80$$

Условие выполнено, значит, двигатель прошел проверку по нагреву.

Проверка по перегрузочной способности осуществляется при выполнении неравенства (20)

$$M_{\max} < \lambda \cdot M_n \quad (20)$$

где $\lambda = 2,3$ коэффициент перегрузки.

$$24,4 < 2,3 \cdot 26,4$$

$$24,4 < 60,72$$

Условием проверки по перегрузки выполнено, следовательно, выбор двигателя произведен верно. [9]

1.10 Выбор основного силового оборудования

Частотный преобразователь (ПЧ) электротехническое устройство, используемое для контроля скорости и/или момента двигателей переменного тока путем изменения частоты и напряжения питания электродвигателя [10].

Правильный выбор преобразователя частоты позволит сократить текущие производственные расходы и, одновременно, повысить производительность технологического оборудования.

Важнейшим параметром электропривода является его мощность. Именно поэтому перед тем, как выбрать частотный преобразователь для электродвигателя, следует определиться с нагрузочной способностью оборудования. Мощностные показатели ПЧ должны соответствовать значению номинальной мощности двигателя. При этом нагрузка на валу не должна подвергаться динамическим изменениям. ПЧ подбирается, исходя из следующих параметров:

1. Максимального значения тока, потребляемого электроприводом от преобразователя частоты.

2. Перегрузочной способности преобразователя.

3. Планируемого типа нагрузки.

4. Уровня, длительности и частоты появления перегрузок.

Проверка производится выполнением неравенства (21)

$$I_{\text{п}} \geq \frac{\lambda_{\text{д}}}{\lambda_{\text{п}}} n I_{\text{д}} \quad (21)$$

Исходя из вышеописанных условий, был выбран преобразователь частоты фирмы Lenze 8200 motec E82MV 752_4B [12], технические характеристики которого приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики преобразователя частоты

Мощность, кВт	7,5
Номинальный выходной ток, А	16,5
Максимально допустимый ток	70,5
Встроенный коммуникационный интерфейс	ProfiNET
Питающее напряжение, В	380
Перегрузочная способность	1,3
Рабочая температура, °С	-20...+60
Степень защиты	IP65
Приводные характеристики	диапазон регулирования крутящего момента 1:10 для 3...50 Гц, точность хода / вращения $\pm 0,1$ Гц

Подставив данные из таблицы в формулу получим:

$$16,5 \geq \frac{2,3}{1,3} \cdot 8,95$$

$$16,5 \geq 15,8$$

В состав силовой схемы преобразователя частоты (рисунок 2.4) входят:

1. Автоматический выключатель.
2. Сетевой фильтр.
3. Автономный выпрямитель напряжения (АВН).
4. Блок торможения.
5. Силовой фильтр
6. Автономный инвертор напряжения (АИН).
- 7.

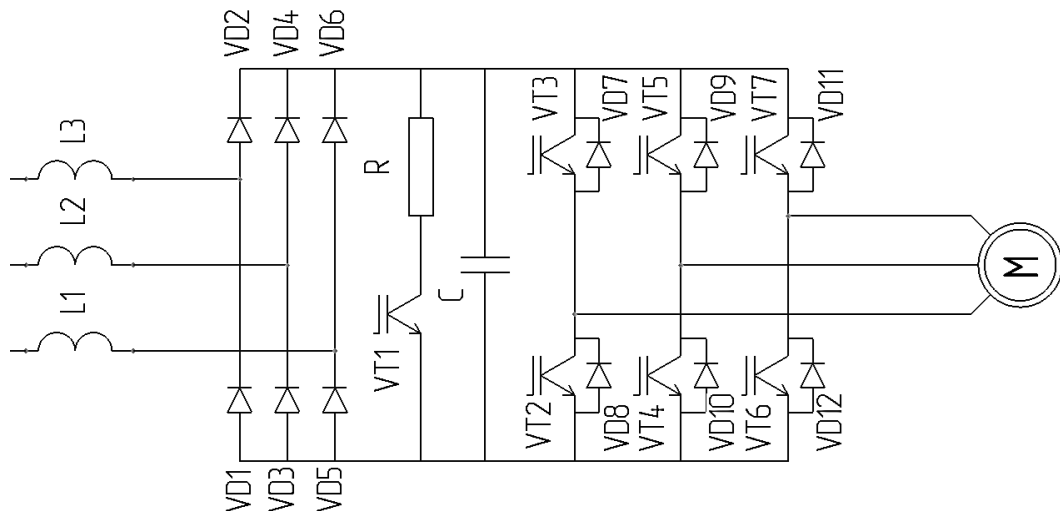


Рисунок 6 – Упрощенная схема силового модуля преобразователя частоты

1.11 Защита привода, расчет уставок защитных устройств

Средства защиты предусматриваются для того чтобы защитить электродвигатель от повреждений при нарушении нормальных условий работы, а также своевременно отключить неисправный двигатель от сети, предотвратить тем самым или ограничить тем самым развитие аварии.

Одним из наиболее действующих средств является электрическая защита двигателей, выполняемая в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ).

Характер повреждений определяет вид и параметры защитных устройств, существует несколько основных видов защит для электропривода:

1) Защита от коротких замыканий отключает питание в цепи при появлении токов короткого замыкания в силовой части или в цепи управления. Существует несколько устройств, предназначенных для размыкания цепи, при возникновении короткого замыкания. К ним относятся: электромагнитные реле, плавкие предохранители, автоматические выключатели с электромагнитным расцеплением. Действие этих устройств, происходит практически без временной задержки.

2) Защита от перегрузки предохраняет двигатель от недопустимого перегрева, в частности и при сравнительно небольших по величине, но продолжительных тепловых перегрузках.

К двигателю следует применить защитные действия в случае возникновения неполадок в работе. Функцию аварийного выключения выполняет автоматический выключатель, в нашем случае целесообразно установить именно его. Он обеспечит требуемую степень защиты.

Автоматический выключатель (АВ) выбирают по номинальному току $I_{н.выкл}$ выключателя и номинальному току расцепителя $I_{н.расц}$ и рассчитывают по формуле (22)

$$I_{н.расц} = \frac{I_n}{K_T} = \frac{8,95}{1} = 8,95 \text{ А} \quad (22)$$

где I_n – номинальный ток двигателя;

K_T – тепловой коэффициент, учитывающий условия установки АВ;

$K_T = 1$ - для установки в открытом исполнении; $K_T = 0,85$ – для установки в закрытых шкафах.

Из каталога автоматических выключателей выберем наиболее подходящий автомат Siemens 5SL6313-7 [13]

Также должно выполняться условие (23)

$$I_{\text{мгн.ср}} \geq k \cdot I_{\text{кр}} \quad (23)$$

где $K = 1,4$ – коэффициент, учитывающий неточность определения $I_{\text{кр}}$ в линии;

$I_{\text{кр}}$ - максимальный кратковременный ток;

$I_{\text{мгн.ср}}$ – ток мгновенного срабатывания.

Максимальный кратковременный ток можно найти по формуле (24)

$$I_{\text{кр}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}} \quad (24)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент перегрузки для пускового тока.

Проверка:

$$I_{\text{мгн.ср}} = 10 \cdot 13 = 130 \text{ А}$$

$$I_{\text{кр}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}} = 5,7 \cdot 8,95 = 51 \text{ А}$$

$$I_{\text{мгн.ср}} = 51 \cdot 1,4 = 71,4 \text{ А}$$

$$130 \geq 71,4 \text{ А}$$

Неравенство выполнено, значит, автомат выбран правильно

Таблица 5 – Характеристики автоматического выключателя

Отключающая способность	Характеристика отключения	Число полюсов	Номинальный ток
6 кА	C	3Р	13А

Так как кратность пускового тока 5,7 выбрана C характеристика отключения.

2 СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

2.1 Архитектура системы автоматизации передаточной тележки

Чтобы реализовать автоматическое управление конкретным приводным механизмом, нужно использовать систему автоматизации. Разработаем архитектуру системы автоматизации для электропривода, обеспечивающего движение передаточной тележки. В ходе технологического процесса труба должна перемещаться между станциями участка. Требованиями к электроприводу будут являться диапазон возможных скоростей перемещения и точность положения (регулирования по координате перемещения x). Эту задачу выполняют контроллер, частотный преобразователь, встроенный в приводной двигатель, а также датчики положения. Питается двигатель от преобразователя частоты LENZE E82MV752 4B001. В иерархии системы управления верхний уровень занимает система MES (Manufacturing Execution System). Эта система выполняет упорядоченную обработку информации о ходе изготовления продукции в различных цехах предприятия, обеспечивает управление качеством и предоставляет в реальном времени необходимую информацию для следующих уровней управления предприятием. Серверы технологических данных и автоматизированные рабочие места операторов технологического оборудования образуют SCADA-системы, верхний уровень АСУ ТП. SCADA – аббревиатура от английского Supervisory Control and Data Acquisition, что переводится как «сбор данных и диспетчерское управление». Серверы обеспечивают работу SCADA-системы, поддерживая протокол обмена данными с технологическими устройствами (контроллерами, интеллектуальными датчиками и исполнительными механизмами) и протокол работы с сетью персональных компьютеров.

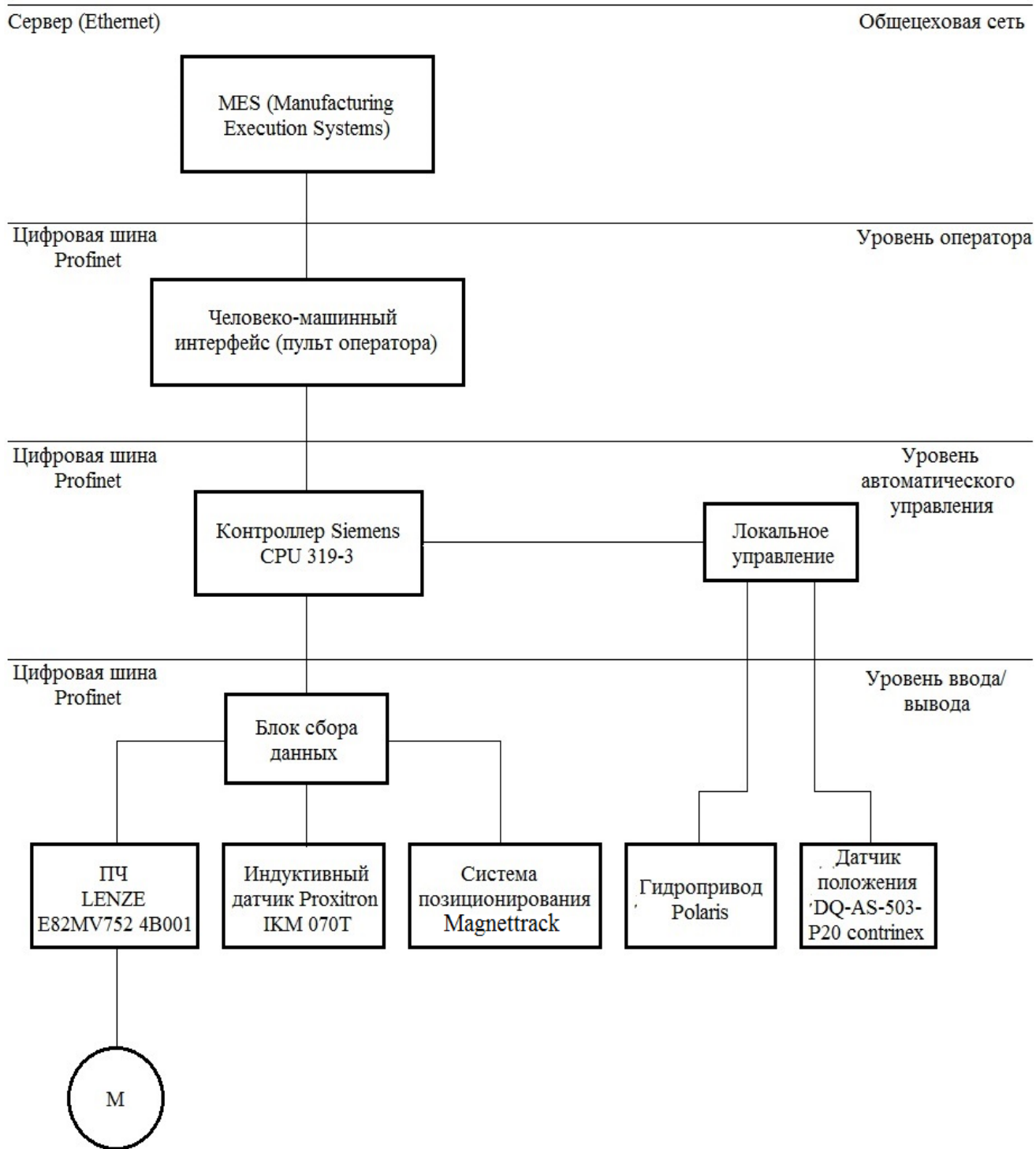


Рисунок 8 – Архитектура системы автоматизации.

2.2 Описание контроллеров и датчиков технологических координат

Для выбора программируемого логического контроллера рассмотрим серию Siemens Simatic S7-300.

Siemens Simatic S7-300 – это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения систем автоматизации низкой и средней сложности. Центральные процессоры S7-300 оснащены набором встроенных входов и выходов, а также набором встроенных функций, что позволяет применять эти процессоры в качестве готовых блоков управления.

Контроллеры SIMATIC S7-300 имеют модульную конструкцию и включают в свой состав:

Модуль центрального процессора (CPU). В зависимости от степени сложности решаемой задачи в контроллерах могут быть использованы различные типы центральных процессоров, отличающихся производительностью, объемом памяти, наличием или отсутствием встроенных входов-выходов и специальных функций, количеством и видом встроенных коммуникационных интерфейсов и т.д.

Сигнальные модули (SM), предназначенные для ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов с различными электрическими и временными параметрами.

Коммуникационные процессоры (CP) для подключения к сетям PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface или организации связи по PtP (point to point) интерфейсу.

Функциональные модули (FM) способны самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, позиционирования, обработки сигналов. Функциональные модули снабжены встроенным микропроцессором и способны выполнять возложенные на них функции даже в случае отказа центрального процессора ПЛК.

Интерфейсные модули (IM) обеспечивают возможность подключения к базовому блоку (стойка с CPU) стоек расширения ввода-вывода. Контроллеры SIMATIC S7-300 позволяют использовать в своем составе до 32 сигнальных и функциональных модулей, а также коммуникационных процессоров, распределенных по 4 монтажным стойкам. Все модули работают с естественным охлаждением.

Модули блоков питания (PS), обеспечивающие возможность питания контроллера от сети переменного тока напряжением 120/230В или от источника постоянного тока напряжением 24/48/60/110В.

Система ввода-вывода программируемого контроллера S7-300 может включать в свой состав две части: систему локального и систему распределенного ввода-вывода. Система локального ввода-вывода образуется модулями, устанавливаемыми непосредственно в монтажные стойки контроллера. Система распределенного ввода-вывода включает в свой состав станции распределенного ввода-вывода и приборы полевого уровня, подключаемые к контроллеру через сети PROFINET, PROFIBUS DP и AS-Interface. В зависимости от типа используемого центрального процессора системы локального ввода-вывода программируемых контроллеров S7-300 могут включать в свой состав до 8 или до 32 сигнальных, функциональных и коммуникационных модулей. Все модули устанавливаются в монтажные стойки контроллера, функции которых выполняют профильные шины S7-300.

Из серии Siemens Simatic S7-300 установим CPU 319-3 (рисунок 9).



Рисунок 9 – Программируемый логический контроллер CPU 319-3

CPU 319-3 PN/DP - это центральный процессор S7-300 с большим объемом памяти программ. Он находит применение в системах автоматизации, широко использующих как систему локального, так и систему распределенного ввода-

вывода. Он может использоваться в качестве центрального контроллера производственной линии или для автоматизации машин, предъявляющих повышенные требования к скорости обработки информации.

Большой объем памяти программ позволяет использовать для программирования центрального процессора

Более того. CPU 319-3 PN/DP является идеальной платформой для решения технологически ориентированных задач. Например:

- Задач управления перемещением и позиционированием с использованием пакета Easy Motion Control.
- Задач автоматического регулирования с использованием блоков STEP 7 или программного обеспечения Standard/ Modular PID control.

Использование пакета S7-PDIAG позволяет создавать мощные системы технической диагностики программируемых контроллеров с центральными процессорами CPU 319-3 PN/DP.

Мощные коммуникационные возможности и наличие трех встроенных коммуникационных интерфейсов позволяет создавать разветвленные сетевые структуры с минимальным использованием дополнительных коммуникационных компонентов.

В качестве станции удаленного ввода-вывода используем Siemens Simatic ET-200.

Станция ET 200S (рисунок 10) предназначена для построения систем распределенного ввода-вывода на основе сетей PROFIBUS DP или PROFINET IO. Она ориентирована на работу в системах распределенного ввода-вывода программируемых контроллеров SIMATIC S7, но может использоваться в сочетании с программируемыми контроллерами других производителей, способных поддерживать функции ведущего DP устройства или контроллера PROFINET IO. Станция имеет степень защиты IP 20 и должна устанавливаться в шкафы управления.

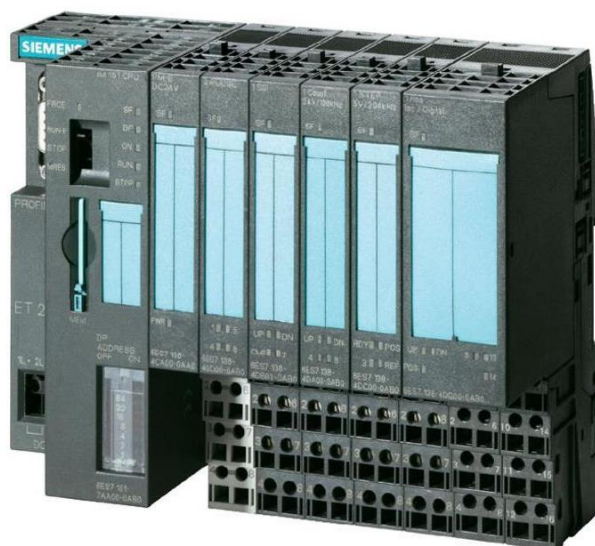


Рисунок 10 – Станция удаленного ввода-вывода ET 200S

Широкий спектр модулей, гибкие возможности конфигурирования, монтажа и программирования делают ET 200S универсальной периферийной системой ввода-вывода. Модульный принцип построения станции обеспечивает максимальную адаптацию аппаратуры к требованиям решаемых задач с получением минимального количества избыточных каналов ввода-вывода.

В сочетании с интеллектуальными интерфейсными модулями станция способна выполнять функции S7- совместимого программируемого контроллера и работать автономно или в составе комплексных систем автоматизации с поддержкой сетевого обмена данными.

При модернизации системы управления конфигурация станции может быть легко изменена установкой дополнительного набора модулей. Эти операции требуют минимального времени на монтаж, программирование и конфигурирование. Станция ET 200S способна работать в системах реального масштаба времени. Скорость обмена данными в сети PROFIBUS DP может достигать 12 Мбит / с , в сети PROFINET IO – 100 Мбит / с в режимах RT и IRT. В обеих сетях может быть обеспечена поддержка изохронного режима.

Бесконтактные датчики положения обеспечивают высокое быстродействие и большую частоту включений механизма. Определенным недостатком этих

датчиков является зависимость их точности от изменения напряжения питания и температуры. В зависимости от требований, выходным аппаратом этих устройств может быть, как бесконтактный логический элемент, так и электрическое реле.

В схемах точной остановки электроприводов, бесконтактные датчики могут использоваться как для подачи команды на переход к пониженной частоте вращения, так и для окончательной остановки, в данном случае индуктивный датчик подает сигнал о наличии трубы на позиции.

Индуктивные датчики положения Proxitron IKM 070T.

Работа этих датчиков основана на принципе изменения индуктивного сопротивления катушек со стальным сердечником при изменении воздушного зазора в магнитной цепи.

- Расстояние срабатывания 100 мм.
- Температура окружающей среды до +100°C.
- Напряжение питания 20 - 260 В.

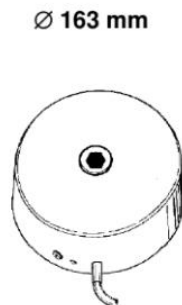


Рисунок 11 – Индуктивный датчик положения Proxitron IKN 070T.

Датчик положения DQ-AS-503- P20 contrinex



Рисунок 12 – Индуктивный датчик положения DQ-AS-503- P20 contrinex

Таблица 6 – Технические характеристики индуктивного датчика

Тип применения	Высокого давления
Rated operating distance sn	3 мм
Монтаж	Монтаж заподлицо
Рабочее давление (применимо для всех стран)	≤ 500 бар
Пиковое давление (применимо для всех стран)	1000 бар
Гистерезис	номинал 10%
Repeat accuracy norm	≤ 5% sr
Диапазон напряжения источника питания UB	10... 30 В постоянного тока
Permissible ripple content	≤ 20 % UB
Выходной ток	≤ 200 мА
Падение напряжения	≤ 2 В
Ток питания холостого хода	≤ 10 мА
Остаточный ток	≤ 0,1 мА
Частота переключения	≤ 500 Гц
Светодиод	-
Диапазон температуры окружающей среды TA	-25... + 80 °C
Диапазон температуры окружающей среды TA (США)	-13... + 176 °F
Temperature drift of sr	≤ 15 %
Защита от короткого замыкания	Встроено
Защита от изменения полярности	Встроено
Перезагрузка включения питания	Встроено
Степень защиты	IP 68
Материал корпуса	Нержавеющая сталь V4A
Подключение	Соединитель S12

Концевой выключатель ХСК-J10513Н29



Рисунок 13 – Концевой выключатель ХСК-J10513Н29

Таблица 7 – Технические характеристики концевой выключателя

Размеры	77 x 44 x 40 мм
Материал корпуса	металл
Крепежные отверстия	30 x 60 мм
Скорость срабатывания	1,5 мс
Максимальный переменный ток	3 А
Максимальный постоянный ток	0,27 А
Максимальное переменное напряжение	240 В
Максимальное постоянное напряжение	250 В
Механический ресурс	30 миллионов коммутационных циклов
Рабочая температура	- 25...+70С
Кабельный ввод	резьбовой ISO M20 x 1.5, 1/2" NPT, M125P, Pg13.5

Для управления асинхронным двигателем установлен преобразователь частоты LENZE E82MV752 4B001

Встроенный преобразователь 8200 motec с мощностью 7,5 кВт обладает следующими конструктивными и техническими особенностями и преимуществами:

- выдерживает продолжительную нагрузку на малой частоте вращения (напр. Start-/Stop-режим)

- высокая надежность благодаря термнезависимой системе

- установка либо на двигатель, либо настенный монтаж

- возможность обработки процесса (например, при помощи ПИД - регулятора, входящего в стандартную комплектацию)

- удобство в обслуживании благодаря съемной электронной коробке

Для решения различных задач по применению имеется ряд устройств.

Модули шин и модули входов/выходов позволяют различным образом интегрировать преобразователь 8200 motec в приводную автоматизированную систему.

Преобразователь 8200 motec был разработан специально для интеллектуальных приводов. Он обладает высоким КПД и позволяет осуществить как специальные, так и гибкие перестраиваемые приводные решения с учетом оптимизации процесса и простоты управления.

С преобразователями частоты серии 8200 Motec, имеющими степень защиты IP65 хорошо подходит для решения децентрализованных приводных задач. Преобразователи этой серии монтируются непосредственно на клеммную коробку двигателя или поблизости на корпусе машины, что является преимуществом при выборе месторасположения для монтажа преобразователей. Силовое питание изолировано от цепей управления использованием специальных разъемов. При необходимости обслуживания, требуется отвинтить только четыре винта для демонтажа радиатора или электроники. Сменные функциональные модули расширения обеспечивают простую интеграцию 8200 Motec в мир управления и автоматизации вашей машины или завода.

Преобразователи серии 8200 Motec обладают многими возможностями преобразователей серии 8200 Vector: управление, диагностика, функциональные возможности и поведение приводов идентичны. Это оказывается выгодным в случае комбинирования централизации и децентрализации. Для управления Вы можете использовать на выбор или панель управления и настройки ПЧ, или ПК с использованием программного обеспечения GDC easy.



Рисунок 14 – преобразователь частоты LENZE E82MV752 4B001

Таблица 8 – Технические характеристики преобразователя частоты

Мощность	7.5
Напряжение в сети	400 V (3 x 320...550 V ± 0 %) (45...65 Hz)
Габариты 8200 motec (д х ш х в) [мм]	325 x 211 x 163 (223 ¹⁾)
Частота коммутации	2, 4, 8, 16 kHz
Вид защиты	IP65 / Nema 4 / IP54 ¹⁾
EMV (Степень устранения помех А и В по EN 55011)	встроено согласно стандарта

Продолжение таблицы 8

Температура окружающей среды	-20...+ 60 С (от +40 ... +60 С с уменьшением мощности)
Стандартные технические характеристики	РТС-вход, ПИД - регулятор, встроенный тормозной транзистор, автонастройка , программируемый релейный выход, S-рампы, активизация нулем или единицей, запрещенные частоты, фиксированная скорость, четыре набора параметров с возможностью переключения в режиме online, пароль, биполярная установка
Режим управления	Векторное управление, U/f-управление (линейное, квадратичное), управление моментом
Приводные характеристики	1,8 x M _{ном} (60 с), диапазон регулирования крутящего момента 1:10 для 3...50 Гц, диапазон регулирования числа оборотов 1:50 с M _{ном} (50Гц), точность хода / вращения ± 0,1 Гц

Система позиционирования на основе магнитострикционных преобразователей линейных перемещений или, как их еще называют: измерители пути, датчики линейного положения, получили самое широкое распространение в различных отраслях промышленности для автоматизации производственных процессов. Определение положение объекта, движущегося вдоль одной оси – очень часто встречающаяся задача в автоматизации. При этом, положение необходимо чаще всего определять в самых тяжелых условиях эксплуатации: постоянной вибрации, ударных нагрузках, при высоком давлении, низких или высоких температурах, высокой влажности. Деревообрабатывающие станки, гидроцилиндры, инжекционное литье, резка различных материалов, подвижная техника. Под все эти варианты подходят измерители, функционирующие на магнитострикционном принципе

измерения. На сегодня, самыми популярными на рынке являются датчики линейных перемещений от компаний Balluff (Германия), бренд Micropulse, и MTS Sensors (США), бренд Temposonics

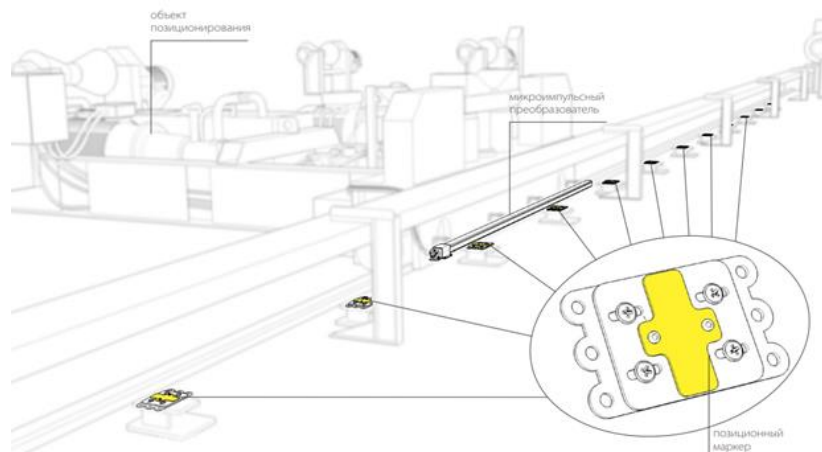


Рисунок 15 – Система позиционирования Balluff magnettrack

Микроимпульсный преобразователь: генерирует электрические импульсы и снимает показания с магнитострикционной волны для определения абсолютного положения интервального маркера.

Номинальная длина преобразователя: длина чувствительной поверхности преобразователя. Для обеспечения оптимального соответствия каждому процессу применения системы magnettrack доступен широкий ряд стандартных длин чувствительных поверхностей от 500 до 4500 мм, который определяется необходимой дистанцией позиционирования и размерами объекта. Дальность позиционирования до 700м. точность позиционирования 1мм в статике 10мм в динамике

Крепежные зажимы: необходимы для крепления преобразователя к объекту позиционирования. Содержат изоляционные втулки, которые необходимы для электрической изоляции преобразователя от объекта позиционирования.

Позиционный маркер: содержит пассивный магнит, сообщает преобразователю свою абсолютную позицию, а в паре с соседним маркером

образует сигнатуру под преобразователем, позволяя последнему определять его абсолютное положение относительно всей трассы.

Так как в данной работе рассмотрена тележка поперечного транспорта трубы шириной в 1300 мм, с максимальной длиной перемещения в 10м, то наиболее целесообразно выбрать Balluff magnettrack CPF-0020-01- P1000-PM-15-30 с максимальной дистанцией позиционирования 20 м и длиной преобразователя 1000мм.

Данная система обеспечит высокую точность позиционирования и длительное использование без обслуживающих работ.

Таблица 9 – Технические характеристики системы позиционирования

Максимальная дистанция позиционирования	20 м
Рабочий диапазон удаления преобразователя от маркера	15 мм
Максимальное рабочее расстояние маркера	35 мм
Минимальное рабочее расстояние маркера	20 мм
Максимальная амплитуда колебаний объекта в плоскости чувствительной поверхности	± 15 мм
Рабочая длина преобразователя	900 мм
Точность позиционирования	1 мм
Максимальная скорость движения объекта позиционирования	3 м/с
Вибрация по IEC 60068-2-6	20 g, 10..2000 Гц
Степень защиты по IEC 60529	IP 67
Материал исполнения	Анодированный алюминий

Продолжение таблицы 9

Тип выходного сигнала	Profinet
Версия интерфейса	Profinet I/O
Частота обновления выходного сигнала преобразователя	1,1 КГц
Напряжение питания	10 ... 30 В DC
Потребляемый ток	≤ 120 мА
Защита от неправильной подачи напряжения питания	ЕСТЬ
Защита от перенапряжения	ЕСТЬ

2.3 Описание функциональной схемы САР привода тележки

Объектом регулирования является привод транспортной тележки, предназначенной для перемещения труб между технологическими станциями линии внутреннего покрытия. Задачей автоматического регулирования является:

- поддержание скорости перемещения транспортной тележки, установленной регламентом производственного процесса, диапазон скоростей 1:10;
- обеспечение остановки тележки в заданной позиции с точностью не менее ± 10 мм;
- обеспечение плавного пуска и торможения при перемещении тележки с ограниченными значениями ускорения на уровне $0,09 \text{ м/с}^2$, при движении с грузом.

В связи с особенностями технологического процесса и требованиями, предъявленными к мехатронной системе, возникает потребность в регулировании таких координат как скорость и положение. Для выполнения требований, связанных с регулированием скорости и выполнения точности останова наиболее целесообразным принципом управления данной системой будет являться скалярный принцип частотного управления с замкнутой системой подчиненного

регулирования по скорости и положению (рисунок 16). Принцип подчиненного регулирования состоит в том, что для каждой из регулируемых переменных - тока, скорости и, положения - организуют свой контур регулирования, содержащий объект регулирования, регулятор и отрицательную обратную связь по регулируемой координате. Регуляторы контуров соединяют последовательно, причем выходной сигнал регулятора внешнего контура является заданием для внутреннего контура. В системах электропривода внутренним контуром является контур тока. Задание на ток вырабатывается регулятором скорости. Системы регулирования положения строятся, как трехконтурные, где внешний контур положения управляет контуром скорости. [14]

Управляющим воздействием на входе схемы является сигнал задания на регулятор положения. Основным возмущающим – момент сил сопротивления. Входными сигналами датчиков являются перемещение тележки и ток на обмотке статора.

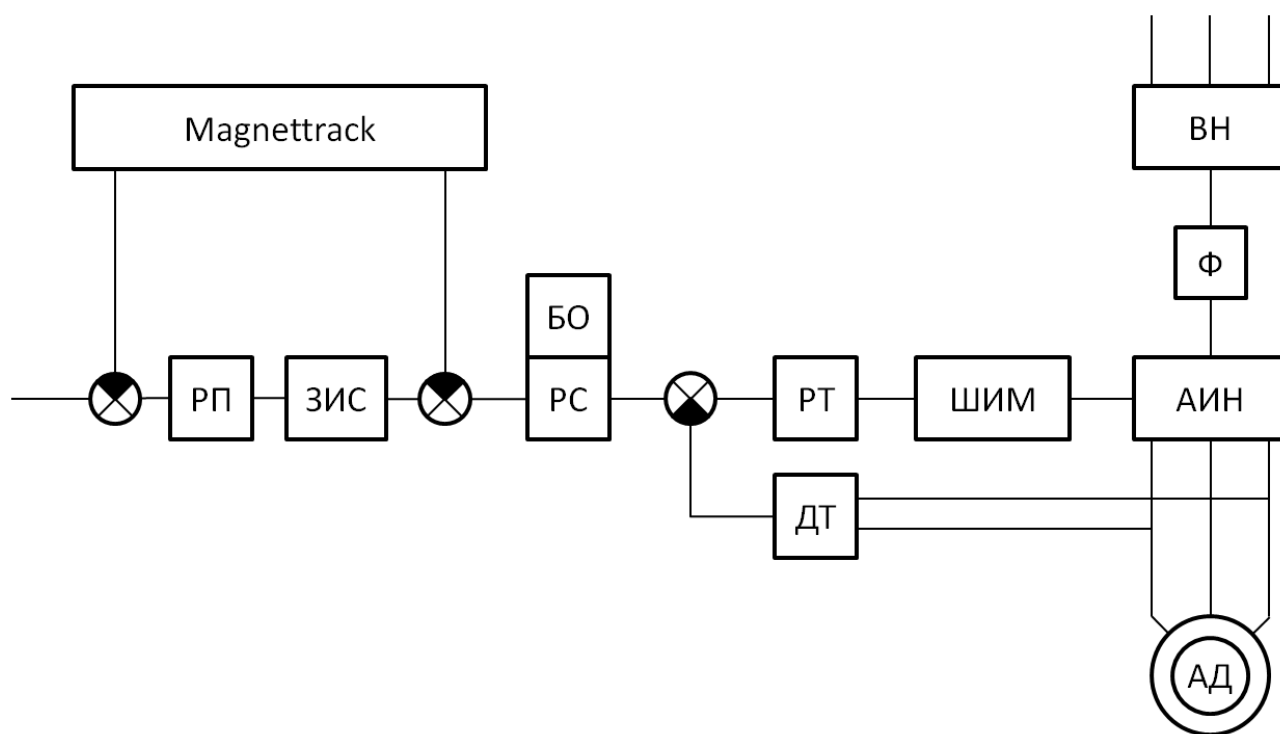


Рисунок 16 – Функциональная схема скалярного управления с регулированием по скорости и перемещению: ДП – датчик положения; РП – регулятор положения; БО – блок ограничения; РС – регулятор скорости; ДТ – датчик тока; РТ – регулятор тока;

2.4 Разработка и моделирование структурной схемы САУ

Структурная схема системы автоматического управления передаточной тележки состоит из внутреннего оптимизированного контура регулирования момента (ОКМ), включающий в себя преобразователь частоты, статорную цепь асинхронного двигателя и регулятор момента, настраиваемый на модульный оптимум[14]

В (25) вышеперечисленные элементы приведены в виде оптимизированного контура момента (ОКМ). В этом случае он представляет собой колебательное звено с временными характеристиками, соответствующими настройке на модульный оптимум. В теории автоматического управления, ввиду малости постоянной времени T_μ , допускается проводить аппроксимацию внутреннего оптимизированного контура, в этом случае он примет вид,(26). Наименьшей постоянной времени T_μ обладает преобразователь частоты, так как он является наиболее быстродействующим исполнительным элементом в системе «ПЧ-АД». Значение постоянной времени принимается равным $T_\mu=0,005$ с

$$\frac{1/k_{\text{ом}}}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1} \quad (25)$$

$$\frac{1/k_{\text{ом}}}{2T_\mu p + 1} \quad (26)$$

Коэффициент обратной связи по моменту $K_{\text{ом}}$ рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{ом}} = \frac{U_{y \max}}{M_{\max}} = \frac{10}{60} = 0,167 \quad (27)$$

где: $U_{y \max}$ – максимальное напряжение сигнала управления

M_{max} – максимальный момент двигателя

Исходя из требований технологического процесса, регулятор скорости должен обеспечивать нулевую статическую просадку по скорости. В этом случае, регулятор скорости должен иметь пропорционально-интегральную структуру (ПИ), со следующей передаточной функцией:

$$W_{pc}(p) = \frac{T_{pc}p + 1}{T_{ирс}} = K_{pc} + \frac{K_{pc}}{8T_{\mu}p} \quad (28)$$

где K_{pc} коэффициент регулятора скорости, равный:

$$K_{pc} = \frac{J \cdot K_{ом}}{4T_{\mu} \cdot K_{ос}} = \frac{0,68 \cdot 0,268}{4 \cdot 0,05 \cdot 0,0131} = 38,8 \quad (29)$$

где $K_{ос}$ – коэффициент обратной связи по скорости:

$$K_{ос} = \frac{U_{y\max}}{\omega_{\max}} = \frac{10}{76} = 0,0131 \quad (30)$$

Для управления перемещениями передаточной тележки используется регулятор положения. Возникает необходимость обработки каждого заданного перемещения при определённом значении коэффициента РП. Поскольку система достаточно простая и не нуждается в большом быстродействии необходимо и достаточно использовать регулятор, имеющий П структуру со следующей передаточной функцией

$$W_{рп}(p) = k_{рп} = \frac{\omega_n^2 \cdot k_m \cdot k_{оп}}{2 \cdot \varepsilon_{доп}} = \frac{76^2 \cdot 0,005}{2 \cdot 19} = 0,76 \quad (31)$$

На рисунке 17 представлена структурная схема САР, сделанная в среде MATLAB.

На рисунке 18 представлены сигналы обратной связи по: моменту, скорости, позиции.

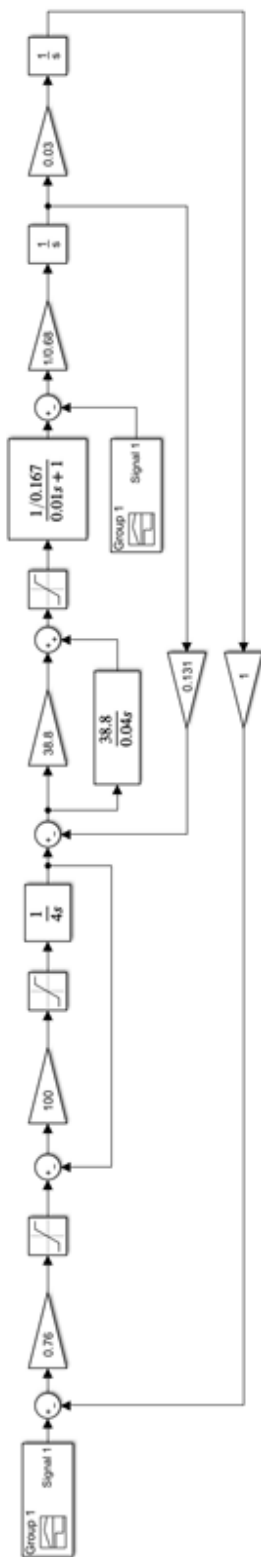


Рисунок 17 структурная схема САР

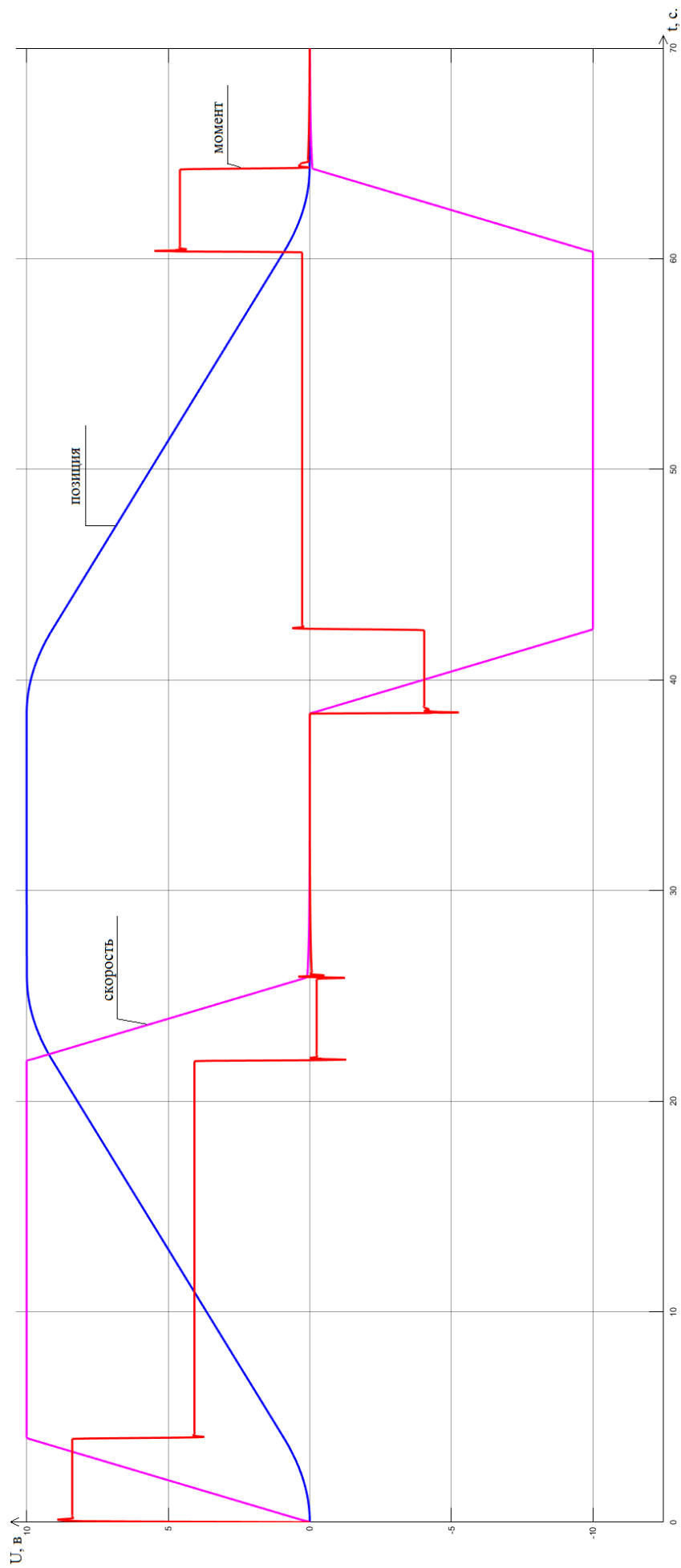


Рисунок 18 Результаты моделирования типовых режимов работы привода

3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

3.1 Краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции

ЧТПЗ – промышленная группа металлургического комплекса России, является одной из крупнейших отечественных компаний-производителей трубной продукции с общей долей рынка около 17%. Выручка компании превышает \$2 млрд, на заводах компании ЧТПЗ работает около 25 000 человек.

Сегодня основной продукцией компании являются:

- трубы электросварные диаметром 12 – 76 мм,
- трубы сварные большого диаметра 508 – 1422 мм (в том числе с покрытием: наружным и внутренним антикоррозионным, внутренним гладкостным),
- трубы бесшовные горячедеформированные диаметром 32 – 550 мм, в т.ч. нержавеющей диаметром 89 – 159 мм,
- трубы бесшовные холоднодеформированные диаметром 0,3 – 426 мм, в т.ч. нержавеющей диаметром 0,3 – 426 мм,
- насосно-компрессорные трубы диаметром 60 – 114 мм, обсадные трубы диаметром 114 – 178 мм и 245 – 426 мм, муфты к ним,
- профильные трубы,
- баллоны для сжатых газов,
- керамические флюсы для сварки и наплавки.

3.2 Расчет производственной программы цеха

Если за 2018 г. план цеха «Высота 239» по выпуску был равен 453600т, то фактический выпуск стали составил 458863,764т. Таким образом, план по выпуску готовой продукции перевыполнен на 1,16% , что говорит о хорошей работе цеха в отчетном году. В таблице 1 представлены данные цеха по выпуску продукции.

Таблица 10 - Производственная программа цеха

	План, т	Фактически, т	Фактически, шт
Отгрузка	453600	458863,764	97720
Стан «508-1420»			
Товарный выпуск	777000	71768,105	32167
НГП 1020		1896,723	615
НГП 1220		1106,273	173
НГП 1420	77700	11103,209	1167
НГП 530		19966,56	13664
НГП 630		9611,11	5088
НГП 720		12918,209	5940
НГП 820		13941,045	5334
НГП 914		0	0
УАПТ 630		51,490	26
Полуфабрикаты		389237,101	71045
Валовый выпуск	457500	461399,283	103240
УАПТ цеха «Высота 239»			
Товарный выпуск	375900	381245,422	65443
Итого	453600	454086,79	98111

Увеличения производительности, снижения себестоимости продукции и увеличения плана можно добиться за счёт: уменьшения производственного цикла, сокращения простоев, уменьшения времени на ремонты, сокращения брака, уменьшения расходов на энергетические затраты, затрат на ремонт оборудования.

Различают календарное, номинальное и фактическое время работы. Календарным временем считается все время нахождения агрегата в эксплуатации,

независимо от времени его ремонтов и простоев. Номинальное время определяется исключением из календарного времени простоев, связанных с капитальными и текущими ремонтами. Передаточная тележка относится к непрерывному производству. Фактическое время находится исключением из номинального времени внеплановых текущих простоев.

Фактическое время работы передаточной тележки:

$$T_{\phi} = T_{\kappa} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{тп}} = 8760 - 384 - 2494 = 5754 \text{ ч} \quad (32)$$

где T_{κ} – календарное время работы, ч;

$T_{\text{ппр}}$ – время, затраченное на планово-предупредительные ремонты, ч;

$T_{\text{тп}}$ – время, затраченное на текущие простои, ч.

Таблица 11 - Баланс времени цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ»

Календарное время $T_{\text{кал}} = 365$ суток = 8760ч.				
Плановые ремонты (ППР)		Номинальное время $T_{\text{ном}} = 324$ суток = 7792 ч.		
Капитальные ремонты $T_{\text{кр}}$	Текущие ремонты $T_{\text{тр}}$	Текущие простои		Фактическое время работы T_{ϕ}
ППР=16 суток=384 ч.		Внеплановые ремонты	Аварии	
		$T_{\text{тп}} = 2494$ ч		

По данным себестоимость тонны трубы составляет 50360 рублей. Произведенная продукция реализуется уже как готовое изделие с наценкой 6% от себестоимости, то есть по цене 53381,6 рублей. Тогда за годовой объём производства в 458863,764 тонн выручка цеха от реализации изготовленной продукции составит 24142,563 млн. рублей.

Замена системы позиционирования позволит сократить время простоев.

Магнитострикционная система позволяет осуществлять позиционирование до 7000 м, а ТПТ перемещаются не более чем на 30 м. в одном комплект системы входят маркеры рассчитанные на расстояние в 50м, таким образом можно считать что на 1 тележку необходимо и достаточно 1 комплекта системы позиционирования.

На данный момент на обслуживающие работы системы позиционирования ТПТ отводится в среднем 8ч в год. Поскольку система является бесконтактной и не оптической, то обслуживание ей не требуется. Диагностика проводится в ходе капитального ремонта. Таким образом, заменив систему позиционирования, мы уменьшим время простоев в среднем на 8 ч в год.

Поэтому определяем номинальное и фактическое время после реконструкции:

$$T_{\text{фм}} = 8760 - 384 - 2486 = 5762 \text{ ч}$$

Рассчитаем производительную мощность :

$$P = \frac{V_r}{T_{\text{ф}}} \quad (33)$$

где P – производственная мощность;

V_r - годовой объем производства, тонн;

$$P = \frac{458863,764}{5754} = 79,7$$

найдем годовой объём производства после реконструкции

$$V_r = P \cdot T_{\text{ф}} = 79,7 \cdot 5762 = 459501 \text{ т/год} \quad (34)$$

Результаты расчётов сведены в табл. 2.

Таблица 12 –производственная программа цеха до и после реконструкции

Показатели	Величина	
	До реконструкции	После реконструкции
Фактическое время, ч	5754	5762
Годовая производительность, т/год	454086,79	459501

После реконструкции годовой объем производства увеличится на 1%.

3.3 Расчет сметы капитальных затрат

Для определения экономической эффективности намеченных мероприятий необходимо определить сумму капитальных затрат на их внедрение.

Общая величина капитальных вложений включает суммарные затраты на приобретение, транспортировку и монтаж оборудования, и строительные работы:

$$K = C_{об} + T_p + z_{сmp} + z_{нр} + Д \quad (35)$$

где $C_{об}$ – стоимость оборудования;

T_p – транспортные расходы;

$z_{сmp}$ – затраты на строительно-монтажные работы;

$z_{нр}$ – непредвиденные расходы.

В таблице 3 показаны цены на монтируемое и демонтируемое оборудование.

Таблица 13 – Цены на оборудование

Наименование оборудования	Количество единиц, шт.	Оптовая цена за единицу, тыс.руб.	Общая стоимость, тыс.руб.
Новое оборудование			
система magnettrack	1	461,8	461,8
Прочее неучтённое оборудование	10%	–	46,18
Итого стоимость оборудования	–	–	507,98
Демонтируемое оборудование			
система BPS-34	1	166,5	166,5
Прочее неучтённое оборудование	10%	–	16,65
Итого стоимость оборудования	–	–	183,15

Перечень необходимого оборудования устанавливается на основании спецификации. Цены на основное оборудование принимаются из прейскуранта оптовых цен. Расчёт стоимости оборудования представлен в таблице 3.

Стоимость неучтенного оборудования (кабели, проводка и прочее мелкое оборудование) принимается в размере 10% от стоимости учтенного оборудования.

Затраты на монтаж $Z_{\text{смп}}$ определим в размере 10% от стоимости оборудования, транспортные расходы T_p – 10%, резерв на непредвиденные расходы – 5%:

$$Z_{\text{смп}} = C_{\text{об}} \cdot 0,1 = 50,8 \text{ тыс.руб} \quad (36)$$

$$T_p = C_{\text{об}} \cdot 0,1 = 50,8 \text{ тыс.руб} \quad (37)$$

$$Z_{\text{нр}} = C_{\text{об}} \cdot 0,05 = 25,4 \text{ тыс.руб} \quad (38)$$

Ценников на демонтаж оборудования не имеется. Затраты на демонтаж оборудования определяются как соответствующая часть от затрат на его монтаж. В этом случае часть затрат на демонтаж составит 30% монтажных работ:

$$Д = z_{\text{смп}} \cdot 0,3 = 183,15 \cdot 0,1 \cdot 0,3 = 5,5 \text{ тыс.руб} \quad (39)$$

Согласно формуле, общая величина капитальных вложений определена:

$$К = 507,98 + 50,8 + 50,8 + 25,4 + 5,5 = 640,48 \text{ тыс.руб}$$

3.4 Расчет СРЭО

Эксплуатационные расходы, связанные с работой электрооборудования, состоят, как правило, из следующих видов затрат:

- а) потерь электроэнергии (\mathcal{E});
- б) амортизационных отчислений (A);
- в) затрат на ремонты и обслуживание электрооборудования ($C_{\text{тр}}$).

Таким образом, затраты на эксплуатацию системы электропривода (C) можно рассчитать по формуле:

$$C = \mathcal{E} + A + C_{\text{тр}} \quad (40)$$

Эксплуатационные расходы рассчитываются за год.

Расчёт потерь электроэнергии определяется умножением себестоимости 1 кВт·ч энергии на количество теряемой энергии в течении года.

Стоимость потерь электроэнергии рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = P \cdot T_{\text{ф}} \cdot \text{Ц}_{\mathcal{E}} \quad (41)$$

где P – мощность на входе установки. Номинальная мощность установленного электропривода составляет 0,03 Вт;

T_{Φ} – фактическое время работы электрооборудования за год, ч;

$\Pi_{\mathcal{E}} = 3,3$ – себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

$$\mathcal{E} = 0,03 \cdot 5762 \cdot 3,3 = 570,4 \text{ руб}$$

Для демонтируемого оборудования:

$$\mathcal{E} = 0,01 \cdot 5754 \cdot 3,3 = 189,8 \text{ руб}$$

Расчёт годовой суммы амортизационных отчислений производится на основе капитальных затрат на оборудование и нормы амортизации для него.

Норму амортизации по оборудованию можно рассчитать по следующей формуле:

$$N_a = \frac{100}{T_a} = \frac{100}{15} = 6,67\%, \quad (42)$$

где N_a – норма амортизации оборудования, %;

T_a – нормативный срок службы оборудования, равный 15-ти лет для нового и демонтируемого оборудования, лет.

$$A = \frac{K \cdot N_a}{100} = \frac{640,48 \cdot 6,67}{100} = 42,72 \text{ тыс. руб} \quad (43)$$

Так как система является бесконтактной и не оптической, то траты на ремонт минимальны. Поскольку в комплекте предусмотрено запасное оборудование, то стоимость запасных частей примем 1%.

Следовательно, величина годовых затрат на эксплуатацию ТПТ:

$$C_{\text{ТПТ}} = A + C_{\text{рп}} = 42720 + 427,2 = 43147,2 \text{ руб} \quad (44)$$

Т.к простои на ремонт системы позиционирования будут отсутствовать, то требуется рассчитать изменения оплаты труда и страховых взносов за год.

$$\Delta \text{ЗП} = \text{ТС} \cdot \Delta T_{\text{п}} = 210 \text{ н} (2494 - 2486) = 1680 \text{ руб} \quad (45)$$

$$\Delta \text{СВ} = 0,3 \cdot \Delta \text{ЗП} = 1680 \cdot 0,3 = 504 \text{ руб} \quad (46)$$

Таким образом, общие отчисления за год изменятся на:

$$1680 + 504 + 253 = 2437 \text{ руб}$$

3.5 Расчет показателей предприятия

Прибыль является важнейшей составляющей показателя эффективности работы предприятия. Она определяется разностью выручки и затратами на производство.

Себестоимость – это стоимостное выражение суммы всех затрат, которые несет предприятие при производстве, хранении и сбыте продукции. А чистая прибыль является основным и главным показателем деятельности организации, на который она влияет.

Для оценки вклада в прибыль от реконструкции, необходимо определить чистую прибыль, которая приходится на долю ТПТ.

По данным себестоимость тонны трубы составляет 50360 рублей. Произведенная продукция реализуется уже как готовое изделие с наценкой 6% от себестоимости, то есть по цене 53381,6 рублей. Искомый процент, приходящийся на модернизируемый агрегат, составляет $K=2,1\%$. Тогда за годовой объем производства в 459153 тонн выручка цеха от реализации изготовленной продукции составит:

$$B_d = V_d \cdot Ц \cdot K = 454087 \cdot 53381,6 \cdot 0,021 = 509031 \text{ тыс. руб} \quad (47)$$

$$B_n = V_n \cdot Ц \cdot K = 459501 \cdot 53381,6 \cdot 0,021 = 515101 \text{ тыс. руб} \quad (48)$$

$$\Delta B = B_n - B_d = 515101 - 509031 = 6070 \text{ тыс.руб} \quad (49)$$

где 53381,6 С цена реализации продукции за тонну.

Себестоимость годового объема продукции составляет:

$$C_d = V_d \cdot C \cdot K = 454087 \cdot 50360 \cdot 0,021 = 480224 \text{ тыс.руб} \quad (50)$$

$$C_n = V_n \cdot C \cdot K = 459501 \cdot 50360 \cdot 0,021 = 485949 \text{ тыс.руб} \quad (51)$$

$$\Delta C = C_n - C_d = 485949 - 480224 = 5725 \text{ тыс.руб.} \quad (52)$$

Годовая чистая прибыль, получаемая от реализации произведенной продукции, определяется вычитанием налогов на прибыль из прибыли от реализации продукции:

$$\Pi_d = (B_d - C_d) \cdot 0.8 = (509031 - 480224) \cdot 0.8 = 23045 \text{ (тыс.руб)} \quad (53)$$

$$\Pi_n = (B_n - C_n) \cdot 0.8 = (515101 - 485949) \cdot 0.8 = 23321 \text{ (тыс.руб)} \quad (54)$$

$$\Delta \Pi = \Pi_n - \Pi_d = 23321 - 23045 = 276,6 \text{ (тыс.руб)} \quad (55)$$

Рентабельность – это доходность предпринимательской деятельности или предприятия. Под этим термином понимают интенсивность производства, поскольку она показывает уровень прибыльности предприятия по отношению к определенной базе. Предприятие тогда будет считаться рентабельным, если выручка от реализации продукции будет достаточна не только на покрытие производственных и реализационных затрат, но и позволит образовать прибыль.

Рентабельность продукции определяется отношением годовой прибыли от реализации продукции цеха к себестоимости реализованного годового объема продукции:

$$R = \frac{276,6}{5725} \cdot 100\% = 4,8\% \quad (56)$$

3.6 Расчет срока окупаемости проекта

Срок окупаемости – время, за которое необходимо для получения дохода после затрат, вложенных на инвестиции. В рамках данной работы срок окупаемости не должен превышать трех лет.

$$T_{\text{ок}} = \frac{640,48}{274,83} = 2,3 \text{ года} \quad (57)$$

3.7 Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов

Составим сводную таблицу технико-экономических расчетов, в которую занесем все рассчитанные данные а также изменения

Таблица 14 – Сводная таблица

Показатель	До реконструкции	После реконструкции	изменения
Годовой объем производства, т	454087	459501	5415
Фактическое время работы, ч	5754	5762	8
Капитальные вложения, тыс.руб.	-	640,48	640,48
Эксплуатационные затраты, Всего, руб	22896,3	43717,6	20821,3
в том числе:			
Потери электроэнергии; руб.	189,8	570,4	380,6
Амортизация; руб.	17102,5	42720	25617,5
Текущий ремонт и содержание электрооборудования руб.	3420	427,2	-2992,8
Заработная плата руб.	2437	0	-2437
Затраты на тонну продукции руб.	0,05	0,09	0,04
Себестоимость годового объема продукции тыс. руб.	480224	485949	5725
Прибыль, тыс. руб.	23045	23320	274,83
Рентабельность, %	4.8		
Срок окупаемости, г	-	2,3	2,3

По итогам расчетов рентабельность составила 4.8%. Срок окупаемости составил 2.3 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы было получено и выполнено индивидуальное задание по реконструкции мехатронной системы передаточной тележки поперечного транспорта трубы участка отделки цеха ТЭСЦ «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ»

Был произведен анализ технологического процесса. Представлена характеристика транспортной системы. Предоставлена характеристика и кинематическая схема транспортной тележки. В соответствии с требованиями к приводу и системе автоматизации, произведен выбор основного оборудования и защитных устройств привода.

Разработана архитектура системы автоматизации. Выбрана новая система позиционирования транспортной тележки. Разработана функциональная схема системы автоматического регулирования привода тележки. Произведены расчеты контуров регулирования. Разработана структурная схема системы автоматического управления, и произведено моделирование типовых режимов работы, используя пакет Simulink в среде MATLAB R2017b.

Представлена краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции. Произведен расчет производственной программы цеха и сметы капитальных затрат, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования. По результатам данные были представлены в виде сводной таблицы. Реконструкция приводит к увеличению прибыли предприятия за счет снижения времени на простой. Незначительное увеличение эксплуатационных затрат равных 0,04 рубля на тонну продукции не приведет к изменению себестоимости выпускаемой продукции 50360 рублей за тонну. Прибыль, получаемая от реконструкции, составляет 274830 рублей. Окупаемость агрегата 2,3 года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Цех «Высота 239» Челябинского трубопрокатного завода. – <https://chelpipe.ru/about/>
- 2 Транспортная система. Технологическая инструкция, – Челябинск – 2008г.
- 3 Зеленев А.Б. Электропривод механизмов прокатных станов/ А.Б. Зеленев, В.Г. Гулякин. – Харьков: Metallurgizdat, 1981. – 576с.
- 4 Борисов, А.М. Основы построения промышленных сетей автоматики: учебное пособие / А.М. Борисов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2012. – 108 с.
5. Гохберг М.М. Справочник по кранам: В 2-х т. Т. 2 / Под ред. М.М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988. – 559 с.
- 6 Ермоленко В.А. Расчет механизма передвижения тележки мостового крана/ В.А. Ермоленко. – М: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 28с.
- 7 Косматов В.И. Проектирование электроприводов металлургического производства/ В.И. Косматов – Магнитогорск: Редационно-издательский отдел МГМА им. Г.И. Носова, 1998. – 244с.
- 8 Мотор-редуктор F-87. – <https://www.flender.com/>
- 9 Драчев Г.И. Теория электропривода: учебное пособие часть 1. – Челябинск изд-во ЮУрГУ, 2005. – 209 с.
- 10 Герасимов В.Г. Электротехнический справочник. Том 4 / В.Г. Герасимов. – М.: МЭИ, 2004. – 696 с.
- 11 Лукин А.В., Косматов В.И. Преобразователь частоты для асинхронных электроприводов / А.В. Лукин. – Магнитогорск: Издательский центр МГТУ им. Г.И. Носова, 2005. – 49 с.
- 12 Преобразователи для двигателя 8200MOTEC <http://www.lenze-ru.com/8200Motec>
13. Автоматические выключатели <http://progressavtomatika.ru/siemens-5sl6.php>
- 14 Коротин А.М. Автоматизация типовых технологических процессов и установок / А.М Коротин – М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1988. – 324 с.

15 Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для студ. высш. учеб. Заведений / М.П.Белов. – М.: Изд-во издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.

16 Челябинский трубопрокатный завод (ЧПТЗ) Высота «239», ОАО. – <https://sudostroenie.info/predpriyatija/1050.html>

17 Определение экономической эффективности технических решений в дипломных проектах: методические указания / сост. Т.В. Попп. – Екатеринбург: УрГУПС, 2014. – 30 с.

18 Расчет сметы капитальных затрат. – <http://refleader.ru/jgepolotrbevrna.html>