

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Служба безопасности ЧТПЗ

2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
В.Р. Гасияров

2017 г.

Разработка мехатронной системы установки для сварки наружных швов под
флюсом в условиях ПАО «ЧТПЗ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ – 15.03.06.2017.266.ПЗ (ВКР)

Консультант
Профессор, д.э.н.
Е.В. Кучина

2017 г.

Руководитель работы
Ст. преподаватель
С.С. Воронин

2017 г.

Нормоконтролер
Преподаватель
Е.А. Маклакова

2017 г.

Автор работы
студент группы П-456
Максим Сергеевич Фоменко

2017 г.

Ст. преподаватель
С.С. Воронин

2017 г.

Челябинск 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Институт Политехнический институт
Факультет Механико-технологический
Кафедра Мехатроники и автоматизации
Направление 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»
Профиль Мехатроника

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____ В.Р. Гасияров
подпись

«__» _____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПОЛНЕНИЕ ВЫПУСКНОЙ
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА**

Студенту группы П-456 Фоменко Максим Сергеевич
(Ф.И.О. полностью)

1 Тема работы

утверждена приказом по университету от _____ 201_ г. № _____
(утверждена распоряжением по факультету от _____ 201_ г. № _____)

2 Срок сдачи студентом законченной работы _____

3 Исходные данные к работе материалы производственной практики

4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Введение

1. Анализ технологического процесса и выбор основного оборудования.

1.1. Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма

1.2. Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма

1.3. Требования к приводам и системе автоматизации

1.4. Выбор системы привода

1.5. Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы (диаграммы перемещения)

1.6. Выбор основного силового оборудования

1.7. Защиты привода, расчет уставок защитных устройств

2. Разработка САУ

2.1. Разработка архитектуры систем автоматизации

2.2. Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

2.3. Выбор и разработка функциональной схемы САУ привода проектируемого агрегата

2.4. Разработка контура регулирования технологических координат

2.5. Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода

3. Техничко-экономические расчеты

- 3.1. Краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции
- 3.2. Расчёт производственной программы цеха (расчет фактического годового фонда рабочего времени и производительности оборудования)
- 3.3. Расчёт сметы капитальных затрат (расчёт стоимости приобретенного оборудования, затрат на монтаж оборудования, величины транспортных расходов, заготовительно-складских расходов, затрат на запасные части и расходов на комплектацию оборудования)
- 3.4. Расчет РСЭО (затраты на содержание и эксплуатацию оборудования потери электроэнергии, расчет амортизационных отчислений, затраты на ремонты и обслуживание электрооборудования)
- 3.5. Расчет затрат на материалы и на оплату труда со страховыми отчислениями
- 3.6. Расчет прибыли и показателей рентабельности
- 3.7. Расчет срока окупаемости проекта
- 3.8. Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов
- Заключение

5 Перечень графического и иллюстративного материала

- 1. Кинематическая схема и технические характеристики механизма
- 2. Тахограммы (диаграмма перемещения) и нагрузочные диаграммы проектируемого привода
- 3. Требование к проектируемому приводу и системе автоматизации
- 4. Архитектура САУ
- 5. Функциональная схема САР и характеристики выбранного оборудования
- 6. Функциональная схема проектируемой САУ
- 7. Математическая модель проектируемой САУ
- 8. Результаты моделирования типовых режимов работы привода
- 9. Технико-экономические показатели

Всего 9 листов

Согласовано:

Консультант по экономике и
управлению производством:

подпись

Фамилия И.О.

Руководитель

подпись

Должность, звание

Фамилия И.О.

Дата выдачи задания « » _____ 201 г.

Задание принял к исполнению студент

подпись

Фамилия И.О.

АННОТАЦИЯ

Фоменко М.С. Разработка мехатронной системы установки для сварки наружных швов под флюсом в условиях ПАО «ЧТПЗ»
Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2017, 63 с., 18 ил., 5 табл., библиогр. список – 17 наим.

Целью данной работы является разработка мехатронной системы подачи сварочной проволоки на автоматизированном стане наружной сварки ПАО «ЧТПЗ» ТЭСЦ «Высота 239».

Основными задачами являются анализ технологического процесса и выбор основного оборудования, а также разработка системы автоматического управления электроприводом.

Анализ технологического процесса и выбор основного силового оборудования был произведен на основе данных об установленном оборудовании мехатронной системы подачи сварочной проволоки на стане наружной сварки ТЭСЦ «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ».

Разработка системы автоматического управления электроприводом рольганга производилась на основе модели электропривода, смоделированной с помощью программы Matlab 2014b.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	6
1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма.....	6
1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма.	13
1.3 Требования к электроприводу и автоматизации	16
1.4 Выбор системы привода	18
1.5 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы привода.....	24
1.6 Выбор основного силового оборудования.....	25
1.7 Защита привода. Защитные устройства	28
2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ.....	30
2.1 Разработка архитектуры систем автоматизации	30
2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат	33
2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата.....	35
2.4 Разработка структурной схемы система автоматизированного регулирования и моделирование типовых режимов работы привода.....	38
3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	47
3.1 Определение единовременных (капитальных) расходов	47
3.2 Определение текущих (эксплуатационных) расходов.....	48
3.3 Время работы и простоев оборудования.....	50
3.4 Сравнение экономических показателей новой и старой технологий	57
3.5 Обоснование целесообразности осуществления мероприятий	58
3.6 Сводная таблица технико-экономических показателей	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	61

ВВЕДЕНИЕ

«Высота 239» - цех по производству труб большого диаметра Челябинского трубопрокатного завода. Цех способен производить 900 000 тонн труб большого диаметра в год. Новое оборудование цеха позволяет изготавливать одношовные сварные трубы диаметром до 1 420 мм с толщиной стенки до 48 мм и длиной 12 и 18 метров, с наружным и внутренним покрытием. Характеристики продукции цеха "Высота 239" соответствуют всем требованиям потребителей (в том числе и перспективным) и могут использоваться в суровых климатических условиях (например, Восточной Сибири, где увеличивается объем разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений), при повышенной сейсмоактивности и при прокладке трубопроводов по дну морей.

В данной работе будет рассмотрена работа участка наружной сварки. В частности привод подачи сварочной проволоки, являющуюся электродом.

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма.

Более детально была рассмотрена работа участка сварки, в частности, основные агрегаты – стан внутренней и наружной сварки. 5-проволочная установка для сварки наружных швов под флюсом компании UHRHAN & SCHWILL, имеет автоматизированные приводы подачи сварочной проволоки. Всего установлено 5 приводов для подачи сварочной проволоки, каждый из них идентичен.

Первая дуга питается постоянным током, а все остальные переменным, сделано это для лучшего провара. Сварка может осуществляться как какой-либо дугой по отдельности, так и сразу пятью сварочными дугами (проволоками). Использование всех дуг одновременно целесообразно при сварке труб большой толщины.

1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма

В цеху работают такие основные участки как формовка, сварка, отделка, антикоррозионное покрытие. Ниже будет описана производственная линия изготовления труб.

1. Оборудование обработки листа

Листы подаются на рольганг. Отобранные выборочно листы укладываются цеховым краном на кантователь листов, где они подвергаются визуальному контролю и проверке размерности специальными приборами и оборудованием для выявления дефектов на листах.

Устройство ввода листов на линию. Листы снимаются поштучно листоукладчиком, которое оснащено вакуумной траверсой, со штабеля, в который листы были сложены цеховым краном, и кладутся на требуемую позицию на рольганг для листов.

Установка автоматического контроля геометрии

После ввода на технологическую линию, проводится измерение листа по длине, по ширине, по толщине, измерение волнистости и серповидность листа. Для оценки полученных данных используется электронная система регистрации данных. Если один из параметров, полученных в результате измерения, выйдет за пределы заданных значений, то появится сигнал для вывода этого листа с линии и закрытия шиберов дробемета.

После контроля геометрии лист подается на дробеметную установку. Для удаления прочно прилипшей грязи и окалины поступающий лист подвергается очистке верхней и нижней поверхности при помощи дробеметной установки. Для этого поверхности листа обрабатываются дробью при помощи сопел. Отбивание грязи происходит благодаря энергии соударения. В выходной части установки для струйной обработки грязи и остатки абразивного средства отсасываются с листа и сепарируются на фильтровальном узле.

Устройство вывода листа с дефектами из технологического потока. Отдельные листы можно выборочно снимать с линии порталным краном, либо возвращать противопотоком по рольгангу на листоукладчик для проведения выборочных индивидуальных измерений специальными приборами и приспособлениями.

2. Оборудование изготовления трубной заготовки

Устройство для приварки технологических планок. В самом начале производственного процесса к четырем углам листа в продольном направлении привариваются технологические пластины.

После преобразования листа в шлицевую трубу в процессе формовки, эти технологические пластины удлиняют сварной шов по обоим концам трубы. Выполняемая затем сварка шва начинается и заканчивается именно на этих технологических пластинах.

Установка изготовления технологических пластин. Во избежание возникновения дефектов сварки по причине использования различных материалов, технологические пластины должны изготавливаться из материала, аналогичного материалу трубы. Лист укладывается на стол машины для газовой резки. С помощью автомата для газовой резки из листа вырезают технологические пластины. На фрезерном станке снимают фаску с одного конца технологических пластин.

Кромкофрезерная машина. Кромкофрезерная установка предназначена для обработки продольных кромок листов при их подготовке под сварку. Стальные листы перед фрезерованием размещаются на загрузочном столе, представляющем собой простую сварную конструкцию. На этом столе производится предварительная центровка листов.

Кромкогибочный пресс. Кромкогибочный пресс сконструирован как два противоположных пресса с сообразной рамой и предназначен для одновременного пошагового загибания обеих кромок листа. Стальной лист постепенно транспортируется в прессе по рольгангам. После заключительного шага гибки, лист транспортируется выводным рольгангом с гибочного пресса.

Пресс шаговой формовки. Пресс служит для шаговой формовки листа для производства шлицевых труб в соответствии с техническими требованиями. Лист, подлежащий формовке, транспортируется на участке формовочного пресса на подъемно-опускаемом рольганге. Ролики рольганга - приводные. С обеих сторон формовочного пресса установлены манипуляторы, выполняющие транспортировку в поперечном плане и позиционирование листа при каждом ходе. Полученную шлицевую трубу приподнимает находящийся в гибочной траверсе опорный рольганг. Выводящая тележка выводит шлицевую трубу с пресса в продольном направлении.

Установка выборочного контроля. После формовки труба со шлицем поступает на стенд выборочного контроля. В состав оборудования стенда выборочного контроля входят: подъемно-поворотные ролики, инспекционная

площадка, специальные устройства и приспособления для измерения профиля заготовки.

3. Полуавтоматическое сварочное оборудование дуговой сварки.

Сборочно-сварочный стан. Сборочно-сварочный стан предназначен для сборки и сварки трубных заготовок и по всей длине технологических швов в среде защитного газа. Трубные заготовки подаются к входной стороне машины для сварки технологическим швом через рольганг. По окончании сварки трубной заготовки труба выводится со сборочно-сварочного стана выходным рольгангом

Маркирующее устройство. При помощи данного маркировочного устройства номер трубы наносится по обеим сторонам трубы, сваренной монтажным швом, что делает этот индивидуальный номер хорошо видимым в процессе дальнейшей обработки.

Машина для сварки внутреннего шва. На машине для сварки внутренних швов выполняется сварка внутреннего шва на тех трубах, которые уже прошли сварку непрерывного технологического шва. Для окончательной сварки шва в одном положении могут быть использованы одновременно до 4 сварочных головок.

Машина для наружной сварки труб. На машине для сварки наружных швов выполняется окончательная сварка шва на тех трубах, которые уже прошли сварку внутреннего шва на машине для сварки внутреннего шва. На тележке продольной подачи шов выверяется. Сварочное устройство устанавливается на планки. Начинается процесс сварки. Тележка продольной подачи доходит до своего конечного положения и готовая сваренная труба готова к транспортировке на следующий участок.

Оборудование участка охлаждения шва и чистки внутренней полости трубы. Для охлаждения сварного шва перед УЗК, трубы могут охлаждаться во время их движения либо душевыми соплами, установленными на балке и подающими воду на трубу снаружи, либо при использовании трубовращающего механизма - при одновременном впрыскивании воды во внутреннюю полость трубы; при этом - для улучшения стока воды, трубы находятся под угловым наклоном.

4 Оборудование контроля сварного шва металлической трубы. Оборудование участка ультразвукового контроля №1. Установка ультразвукового контроля применяется для контроля сварных швов прямошовных труб, сваренных под флюсом, для выявления продольных и поперечных дефектов в виде трещин, шлаковых включений, непроваров, пористости, чужих материалов и т.д. Для производства прямошовных труб большого диаметра предполагаются два ультразвуковых контроля на каждой трубе.

Оборудование контроля наружного сварного шва. После наружной сварки все трубы подвергаются проверке наружного сварного шва. Металлическую трубу по рольгангу передают на специально оборудованный стенд, где сварной шов с помощью вращающих трубу роликов устанавливают и осматривают. Этот контроль ведется с целью как можно раньше обнаружить очевидные дефекты сварки, например, зарубки, поры, нерегулярное прохождение шва.

Оборудование установки рентгеновского контроля № 1. Дефектные места на трубах, обнаруженные при ультразвуковом контроле, вслед за этим подвергаются рентгеновскому контролю. Труба находится в позиции ожидания перед помещением для рентгеновских испытаний. Те места дефектов, которые были установлены контрольной установкой УЗК, будут подвергнуты целенаправленной перепроверке на рентгеновской установке в режиме «реального времени». После окончания рентгеновского контроля труба выводится из установки выводным рольгангом.

Оборудование участка устранения дефектов сварного шва. После контрольного осмотра, ультразвукового и рентгеновского контроля сварного шва, выполняется устранение дефектов, обнаруженных в сварном шве. При устранении дефектов наружного шва работы выполняются электросварочным и газорезательным оборудованием на соответствующих стендах с использованием ремонтной тележки.

Машина плазменной резки №1. Машина для плазменной резки предусмотрена для отрезки технологических планок и дефектных кусков труб.

5 Участок экспандирования труб. Экспандер для механического расширения труб выполняет ступенчатое расширение прямошовных труб большого диаметра. В его задачу входит обеспечение точного выполнения требований к овальности, прямолинейности и диаметру труб, предписанных соответствующими техническими условиями. Полностью экспандированная труба транспортируется на моечную установку. Расширенная и очищенная труба укладывается на позицию передачи труб. Для контроля геометрии трубы после обработки на механическом экспандере предусмотрен измерительный стенд. Здесь трубы могут быть выведены с технологического потока с использованием рольгангов, после чего они укладываются на поворотные механизмы, на которых выполняется замер прямизны и округлости. Поворотные механизмы позволяют разворачивать трубу на требуемую позицию для проведения измерения.

Установка снятия усиления внутреннего и наружного шва. На этом участке валики внутреннего и наружного сварных швов должны быть удалены на каждом конце трубы на длину о. 150 - 370 мм.

Стан для торцовки концов труб с автоматическим управлением. Установка служит для одновременной торцовки обоих концов труб для герметизации торцов трубы в целях испытания на гидроиспытательном прессе. Установка состоит из двух обрабатывающих стоек, расположенных друг против друга в одной линии с транспортным устройством на направляющей раме между ними. Установка имеет управление для автоматического режима работы и работает по принципу "Неподвижная труба - вращающийся инструмент".

6 Оборудование контроля сварного шва №2.

Гидростатический испытательный пресс. Гидроиспытательный пресс конструктивно выполнен в виде прессы со стяжным болтом. Четыре стяжных болта образуют одну раму вместе с наполнительной стороной и стороной сброса.

Оборудование установки ультразвукового контроля №2. Установка ультразвукового контроля №2 применяется для контроля сварных швов прямошовных труб, сваренных под флюсом, для выявления продольных и поперечных дефектов в виде трещин, шлаковых включений, непроваров,

пористости, чужих материалов и т.д. Второй контроль нужен в рамках контроля готовой трубы.

Установка рентгеновского контроля №2

Дефектные места на трубах, обнаруженные при ультразвуковом контроле №2, вслед за этим подвергаются рентгеновскому контролю. По этой причине в технологическом потоке на участке конечного контроля готовых труб предусмотрена установка рентгеновского контроля.

Оборудование участка устранения дефектов после гидростатического испытания. По окончании контрольного осмотра, ультразвукового и рентгеновского контроля сварного шва после гидростатического испытания металлических труб, выполняется устранение дефектов шва на трубе выявленных при проведении контрольного осмотра, ультразвукового и рентгеновского контроля. Данная работа выполняется на соответствующих стендах. Для этого предназначены 2 стенда с необходимым оборудованием.

Оборудование рентгеновской установки №3 для контроля концов труб. Все готовые трубы проходят рентгеновский контроль швов концов трубы. Рентгеновскому контролю подвергаются концы сварных соединений каждой трубы на участке 350 мм от ее торцов. После ультразвукового контроля труба подается в помещение для рентгеновских испытаний. Порядок прохождения испытаний аналогичен для рентгеновского контроля №1.

Машина плазменной резки №2. Машина для плазменной резки предусмотрена для отрезки дефектных концов труб.

Установка снятия усиления шва после обрезки трубы. На этом участке валики внутреннего и наружного сварных швов должны быть удалены на каждом конце трубы.

Установка для снятия фаски. Установка для снятия фаски одновременно производит снятие фаски и торцовку обоих концов труб при помощи копирующих инструментов. Установка состоит из двух обрабатывающих стоек, расположенных друг напротив друга в одной линии с транспортным устройством на направляющей раме между ними. Установка имеет управление для

автоматического режима работы и работает по принципу "Неподвижная труба - вращающийся инструмент".

Устройство магнитно-порошковой дефектоскопии. Для проверки фасок трубы на наличие трещин используется устройство магнито-порошковой дефектоскопии. На фаски наносится контрольный раствор из воды и контрольного концентрата. К контрольному концентрату добавлен железный порошок, с флуоресцентным слоем. Затем концы трубы намагничиваются ярмом магнита переменным током. При повышении напряженности поля в районе трещин, там скапливается железный порошок. Дефектоскопия проводится в „затемненной камере“, с ультрафиолетовым освещением.

Оборудование участка сдачи и приемки трубы. На этом участке готовые трубы подвергаются окончательному контролю, при этом, в основном, ведется проверка геометрии и размеров труб.

Затем на соответствующем оборудовании металлические трубы взвешивают и маркируют.

1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма.

Рассмотрим более подробно агрегат наружной сварки. Он состоит из: 5-дуговой головки для сварки наружных швов под флюсом, пульта управления, распределительного шкафа, двух источников тока US-DC-1000, четырех источников тока US-AC-1500, балки для подвески сварочной головки.

Для изучения работы и возможной модернизации был выбран механизм подачи сварочной проволоки и подача флюса. Сварка под флюсом представляет собой процесс сварки закрытой дугой, проходящий под защитным слоем флюса. Под слоем флюса образуется заполненная газом полость, защищающая дуги от контакта с кислородом окружающей среды. При расплавлении флюса образуется окалина, которая по окончании сварки, как правило, сама отваливается после охлаждения. Нерасплавленный флюс можно использовать повторно. При сварке под флюсом каждый отдельный проволочный электрод подается с помощью

собственной системы подачи проволоки и питается от собственного источника тока. Кроме того, каждый проволочный электрод можно регулировать по высоте и глубине, а также наклонять в сторону. Таким образом, при сварке шва проволочные электроды подаются один за другим на небольшом расстоянии от 12 до 50 мм и расплавляются в общей полости. Благодаря защите процесса сварки флюсом этот метод имеет высокий термический КПД. Первое токоподводящее устройство питается преимущественно постоянным током, чтобы добиться глубокого провара и ионизации для следующих дуг, питающихся от источников переменного тока.

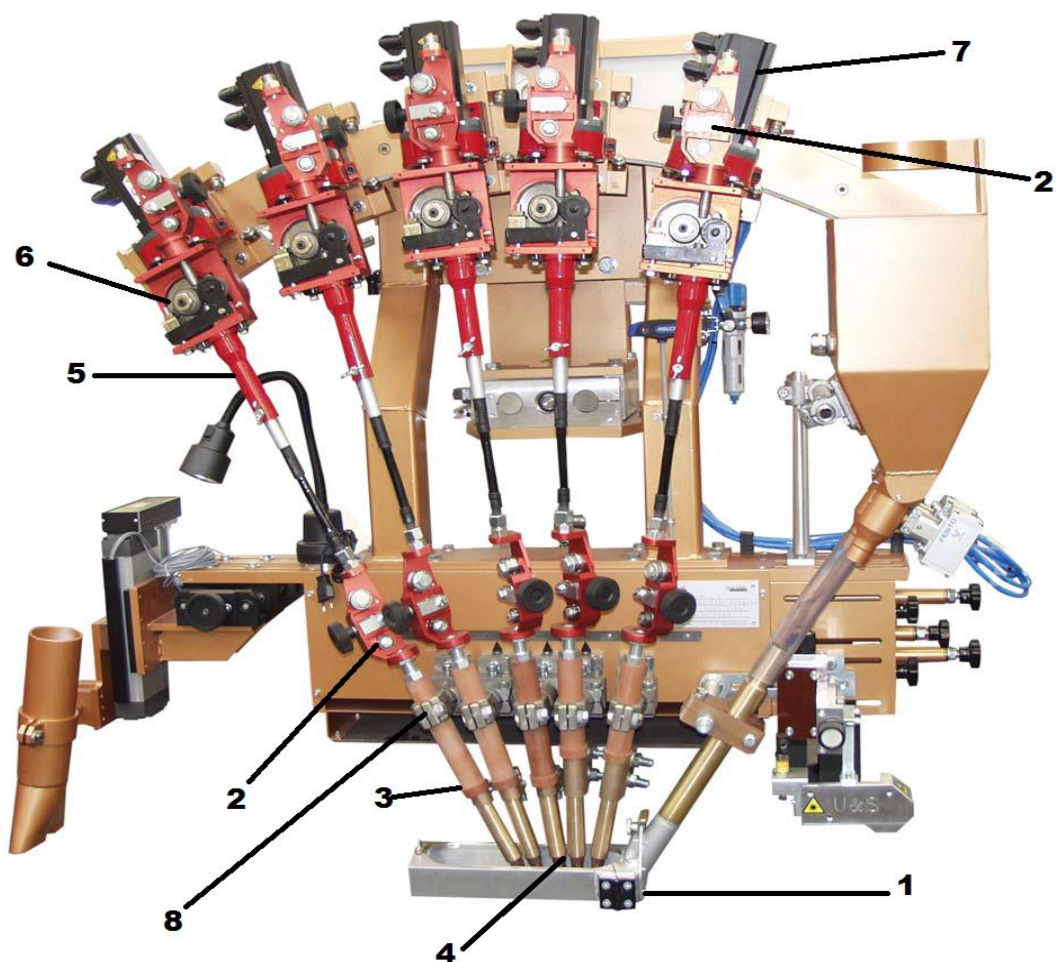


Рисунок 1 - Устройство сварочной головки: 1-Механизм подачи флюса; 2- Правильный механизм; 3-Токопроводящее устройство; 4-Токопроводящий мундштук; 5-Коменсаторная гильза; 6-Прижимной ролик; 7-Мотор-редуктор; 8-Поворотно-зажимное устройство

Механизм подачи проволоки состоит из бугеля с катушкой сварочной проволоки (на рис.1. не показан), проволокпроводов (на рис.1. не показан), мотор-редуктора (7) (конического) с прижимными роликами(6), правильных механизмов(2), компенсаторной гильзы (5), головки поворотного устройства (8), токопроводящего устройства (3), токопроводящего мундштука (4), подача флюса (1). Проволока подается из проволоочной бухты в правильный механизм, после чего с помощью подающих роликов мотор-редуктора поступает в правильный механизм (2), и далее в токоподводящее устройство, куда подключаются силовые кабели от источников сварочного тока.

Исполнительная часть привода механизма подачи проволоки состоит из мотор-редуктора и правильного механизма.

Изобразим кинематическую схему механизма на рисунке 2.

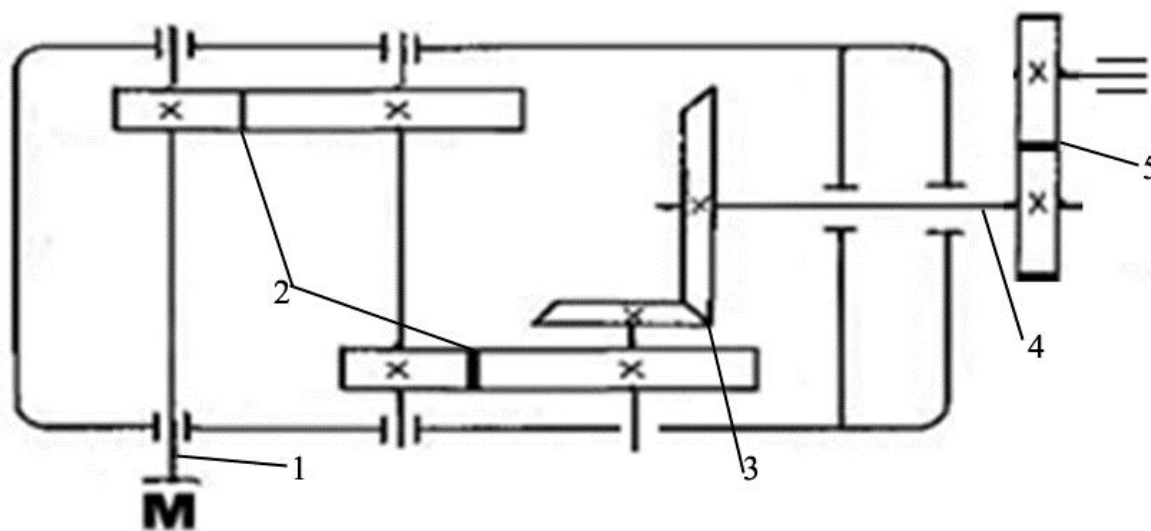


Рисунок 2 - Кинематическая схема механизма: 1-Входной вал редуктора; 2-Прямозубая передача, колеса зацепления; 3-Угловая передача; 4-Выходной вал редуктора; 5-Прижимной механизм подачи проволоки

Передаточное число редуктора составляет $i=142$. Трехступенчатый редуктор, в котором первые две ступени выполнены на цилиндрических колесах зацепления, третья ступень выполнена на конических колесах. Стоит отметить, что

быстроходная часть редуктора выполнена из текстолитовых шестерен для уменьшения веса и трения.

Редуктор закрытого типа, разборный, наполнен смазкой для меньшего трения. На рисунке 2 изображен редуктор, состоящий из входного вала редуктора (1), прямозубой передачи (2), угловой передачи (3); выходного вала редуктора (4); прижимного механизма подачи проволоки (5)

1.3 Требования к электроприводу и автоматизации

Исходя из условий работы сварочного агрегата, и учитывая особенности, можно сформулировать требования к приводам, обеспечивающим подачу сварочного электрода(проволоки). Применяемые в электроприводах комплектующие изделия должны соответствовать стандартам и ТУ на них, а также условиям их работы в составе электроприводов [10].

В качестве приводных двигателей необходимо использовать серийные двигатели, возможно использование двигателей в специальном исполнении. Условия применения двигателей в составе электроприводов должны быть оговорены в ТУ на двигатели конкретных типов.

Питание электроприводов должно предусматриваться от трехфазных сетей переменного тока частоты 50 Гц. Работа электропривода не должна приводить к отклонению качества электроэнергии питающей сети от требований (ГОСТ 13109).

Не создавать электрических и электромагнитных помех, и обладать необходимым уровнем помехоустойчивости.

Электроприводы должны обеспечивать нормальную безаварийную работу с сохранением номинальной мощности при: отклонениях напряжения питающей сети от номинального значения до $\pm 10\%$; отклонениях напряжения питания внутренних систем от $+10$ до -15% ; отклонениях частоты питающей сети до $\pm 2,5\%$, одновременном отклонении напряжения до $\pm 10\%$ и частоты до $\pm 2,5\%$ при

условии, что при работе с повышенным напряжением и пониженной частотой или с пониженным напряжением и повышенной частотой [16] сумма абсолютных значений отклонений напряжения и частоты не превышает 10 %.

Электроприводы должны сохранять работоспособность (без поддержания нормируемых параметров) при работе в аварийных режимах со следующими неоднократными отклонениями частоты питающей сети: в диапазоне минус (2,5—4,0) % продолжительностью не более 5 мин; в диапазоне минус (4,0—6,0) % продолжительностью не более 1 мин; в диапазоне минус (6,0—8,0) % продолжительностью не более 10 с.

Должен обеспечивать запас по крутящему моменту (минимум 3:1), для обеспечения стабильной подачи электрода и получения качественного сварного шва, т.к. в течении технологического процесса может происходить подклинивание проволоки. Номинальный необходимый момент составляет около 10 Н*м. Рабочая скорость подачи проволоки должна варьироваться от 100 см/мин до 300 см/мин. Ускорение привода должно составлять 3 м/с².

Стабильность выходных параметров привода. Наличие устройства имеющего обратную связь, для управления приводом [17].

Низкий процент статической ошибки этого устройства, обеспечение быстрого перерегулирования необходимых параметров. Обеспечение защиты привода от перегрузок.

После прекращения действий, указанных в условиях эксплуатации, изделия должны восстанавливать требуемую точность и номинальные параметры. Не создавать опасности при рабочем цикле для рабочего персонала и иметь возможность обслуживания.

Система автоматизации должна обеспечивать управление над контролируемым оборудованием на необходимом уровне для технологического процесса. Необходимо чтобы система соответствовала необходимым требованиям безопасности. Стоит понимать, что хорошо подобранная система автоматизации обеспечит не только защиту привода, но и от нее будет зависеть качество изготавливаемой продукции.

Автоматическая система управления технологическим процессом должна иметь: высокую информативность, чтобы оценить состояние техпроцесса, выбрать критерии и определить их важность; иметь возможность анализа технологического процесса, и вести диагностику оборудования с последующей наладкой и настройкой; возможность поиска оптимального режима ведения технологического процесса; достаточную точность по измерению параметров техпроцесса и их регулированию; возможность качественного ведения технологического процесса по заданному алгоритму. Точность статической ошибки должна составлять не более 5%.

Из этого следует что, АСУ должна защищать привод чрезмерного повышения тока/короткого замыкания, перегрузок по напряжению, обеспечивать необходимый момент на валу двигателя, скорость подачи проволоки в зависимости от заданных сварочных токов и напряжений.

1.4 Выбор системы привода

Исходя из требований к исполнительному механизму, таких как размеры, мощность, а так же требований к электроприводу необходимо выбрать привод который обеспечил бы нам необходимые требования с запасом по крутящему моменту, мощности, скорости.

Из требований известно, что средний момент, создаваемый на прижимных валах, при прохождении через его ролики сварочной проволоки равен около 10 Н*м.

При сварочном процессе необходимо достаточно точно управлять подачей электрода, для этого, помимо качественной автоматизации, требуется широкий диапазон регулирования скорости двигателя. Рабочая скорость подачи проволоки должна варьироваться от 100 см/мин до 300 см/мин.

Ролик прижимного механизма должен иметь диаметр от 4 см до 5 см. Был выбран 4,5 см. Т.к. при сварке будет использовано несколько приводов, то расчет проводится по наиболее высоким моментам и скоростям вращения.

Предварительное определение передаточного числа редуктора:

n -частота вращения 1/С; v -скорость перемещения сварочного электрода в М/С;

D_1 -диаметр прижимного шкива в Метрах.

$$n_{a \max} = \frac{v_{\max}}{D_1 \cdot \pi} \quad (1)$$

$$n_a = \frac{0,05}{0,045 \cdot \pi} \quad (2)$$

$$n_{a \max} = 0,3537(1 / C) = 21,22(\text{об} / \text{мин}) \quad (3)$$

По максимальной частоте вращения выходного вала и предполагаемой номинальной частоте вращения двигателя $n_N = 3000$ об/мин определяется приблизительное передаточное число редуктора.

$$i_{\text{предв}} = \frac{n_n}{n_{a \max}} \quad (4)$$

$$i_{\text{предв}} = \frac{3000}{21,22} = 141,37 = 141 \quad (5)$$

Выбранное передаточное число редуктора 141.

По выбранному передаточному числу редуктора определяется максимальная частота вращения входного вала редуктора $n_{e \max}$:

$$n_{e \max} = i \cdot n_{a \max} \quad (6)$$

$$n_{e \max} = 141 \cdot 21,22 = 2992,02 \quad (7)$$

Определение статического и динамического вращающих моментов

Динамический момент на участке t1:

Известно, что масса бухты сварочной проволоки составляет около 250 Кг, ускорение 3 М/С². КПД мотор-редуктора составляет около 89%.

$$M_{DYN1} = \frac{m \cdot a \cdot D_L}{\eta_L \cdot 2} \quad (8)$$

$$M_{DYN1} = \frac{250 \cdot 3 \cdot 0,045}{0,89 \cdot 2} = 18,96 \text{ Нм} \quad (9)$$

Динамический момент на участке t3:

Динамическому моменту на участке t3 способствует сила трения (КПД учитывается в числителе формулы), поскольку выполняется замедление.

$$M_{DYN3} = \frac{m \cdot (-a) \cdot \eta_L D_L}{2} \quad (10)$$

$$M_{DYN3} = \frac{250 \cdot (-3) \cdot 0,89 \cdot 0,045}{2} = -15 \quad (11)$$

Статический момент:

Статический момент рассчитывается по силе сопротивления качению и должен учитываться отдельно для каждого участка. При ускорении: $F_F=2215$

$$M_{stat1} = \frac{F_F \cdot D_L \cdot m}{\eta_L \cdot 2} \quad (12)$$

$$M_{stat1} = \frac{2215 \cdot 0,045 \cdot 0,25}{0,89 \cdot 2} = 13,9 \quad (13)$$

При замедлении:

$$M_{\text{stat}3} = F_F \cdot \frac{D_L}{2} \cdot m \cdot \eta_L \quad (14)$$

$$M_{\text{stat}3} = 2215 \cdot \frac{0,045}{2} \cdot 0,25 \cdot 0,89 = 11 \quad (15)$$

Определение максимального момента на выходном валу

При ускорении

$$M_{\text{amax}1} = M_{\text{stat}1} + M_{\text{dyn}1} \quad (16)$$

$$M_{\text{amax}1} = 13,9 + 18,96 = 32,86 \quad (17)$$

При замедлении

$$M_{\text{amax}3} = M_{\text{stat}3} + (-M_{\text{dyn}3}) \quad (18)$$

$$M_{\text{amax}3} = 11 - 15 = -4 \quad (19)$$

Выбор серводвигателя

Приведение максимального момента на выходном валу на вал двигателя

$$M_{\text{emax}} = \frac{M_{\text{amax}}}{i \cdot \eta_L} \quad (20)$$

$$M_{\text{emax}} = \frac{32,86}{141 \cdot 0,89} = 0,26 \text{ Нм} \quad (21)$$

Из каталогов был выбран привод STOBER ED302U. Редуктор производства UHRHAN SWILL. Данный привод способен выдавать 125 Нм крутящего момента.

$$J_{\text{mot}}=0,37 \cdot 10^{-4} \text{ кгм}^2; M_0=1.09 \text{ Нм}; N_n=3000 \text{ об/мин}$$

Был выбран электрический сервопривод STOBER ED302U. Соответствует стандартам EN 60034 / VDE 0530, IEC 34, IEC 72, IEC 85, VDE 0100, VDE 0110.5

Двигатель в нем установлен бесщеточный с постоянным магнитом, электронно-коммутируемый. Данный тип двигателя не является, строго говоря, двигателем постоянного тока [14]. Он использует импульсы постоянного тока, которые подаются на катушки статоров для создания вращающегося магнитного поля и работает при синхронной скорости. Механическая коммутация заменена в нем электронной, способной обеспечить быструю смену полярности на обмотках, и в результате высокую скорость вращения вала этого двигателя [17]. Для работы данного двигателя необходимо специальное устройство, без которого двигатель не сможет работать, оно будет получать сигнал из контроллера и преобразовывать его в нужную величину для двигателя. В зарубежной литературе Speed Controller или ESC (Electronic speed control). Для дальнейшего понимания, далее сервопреобразователь. В приводе имеется встроенный резольвер, внутренняя обратная связь. Рекомендуются производителем сервопреобразователь для данного двигателя выберем из каталога.

Был выбран POSIDYN SDS 4021 2 кВА/3А. Подключается такой преобразователь к сети с напряжением от 230В, до 480В $\pm 10\%$, 50/60Гц, имеет вход питания вспомогательного напряжения 24В. Номинальный ток, способный выдавать на выходе составляет 3А, которое питает три обмотки двигателя соединенных звездой, амплитудой 560В. Рассмотрим же, как подключается преобразователь, в плане электрической части.

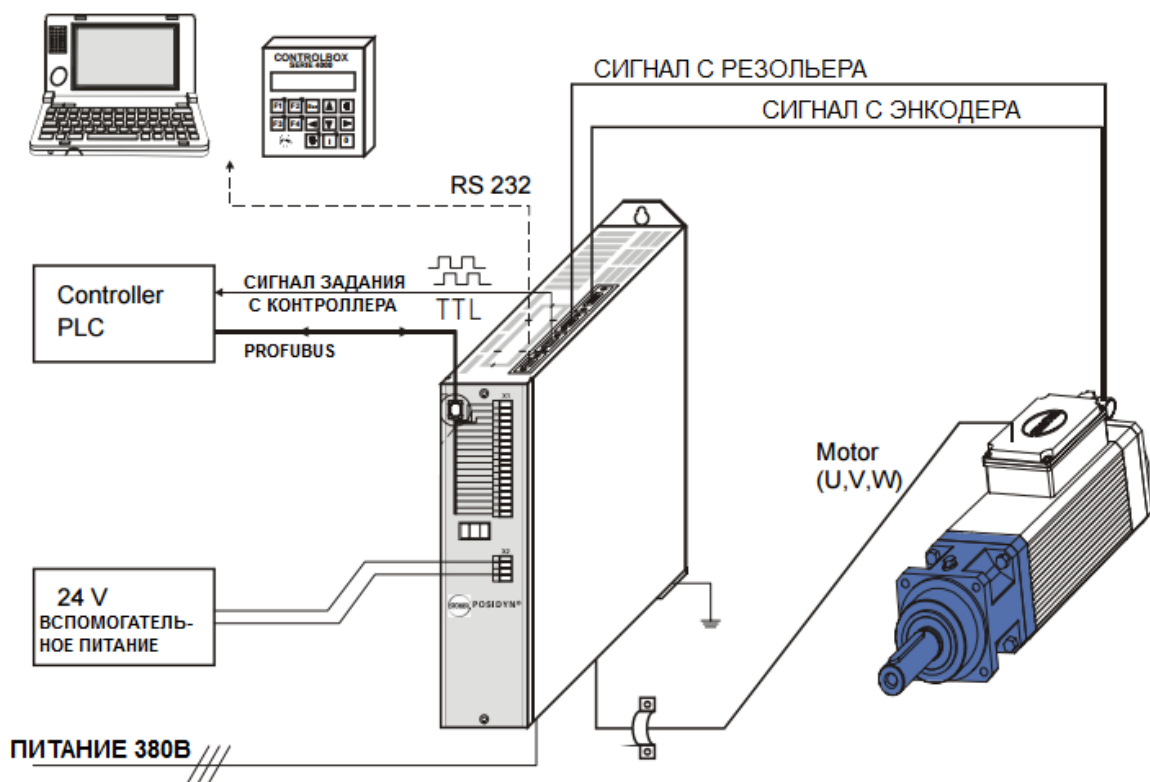


Рисунок 3 - Электрическая установка привода

Для отладки программы контроллера есть возможность подключения программатора по протоколу RS-232.

По требованиям к электроприводу выбран серводвигатель с запасом, т.к. номинальный крутящий момент, способный выдавать мотор-редуктор, равен около 70 Н*М. Момент создаваемый на валу привода равен около 10 Н*М. Необходимо обеспечить запас по времени работы механизма. Система автоматизированного управления, реализованная по шине PROFIBUS и система автоматизированного внутреннего управления реализованная в приводе STOBED 302 U подобраны с необходимой точностью настройки и перерегулирования.

1.5 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы привода

Определим время выхода на максимальную рабочую скорость

$$t = \frac{u_{\max}}{a} = \frac{0,05}{3} = 0,017\text{с} \quad (22)$$

На рисунке 4 изображена тахограмма привода подачи проволоки. В момент времени $T=0\text{с}$ частота $n=0$, в момент времени $T=1\text{с}$ двигатель набирает номинальную частоту $n=3000\text{об/мин}$. В момент времени $T=9\text{с}$ частота $n=3000\text{об/мин}$, при $T=10\text{с}$ $n=0\text{об/мин}$. Остановка двигателя так же как и выход на номинальную частоту происходит за 0.017 секунд. Одинаковые значения времени выбраны для равномерного износа оборудования.

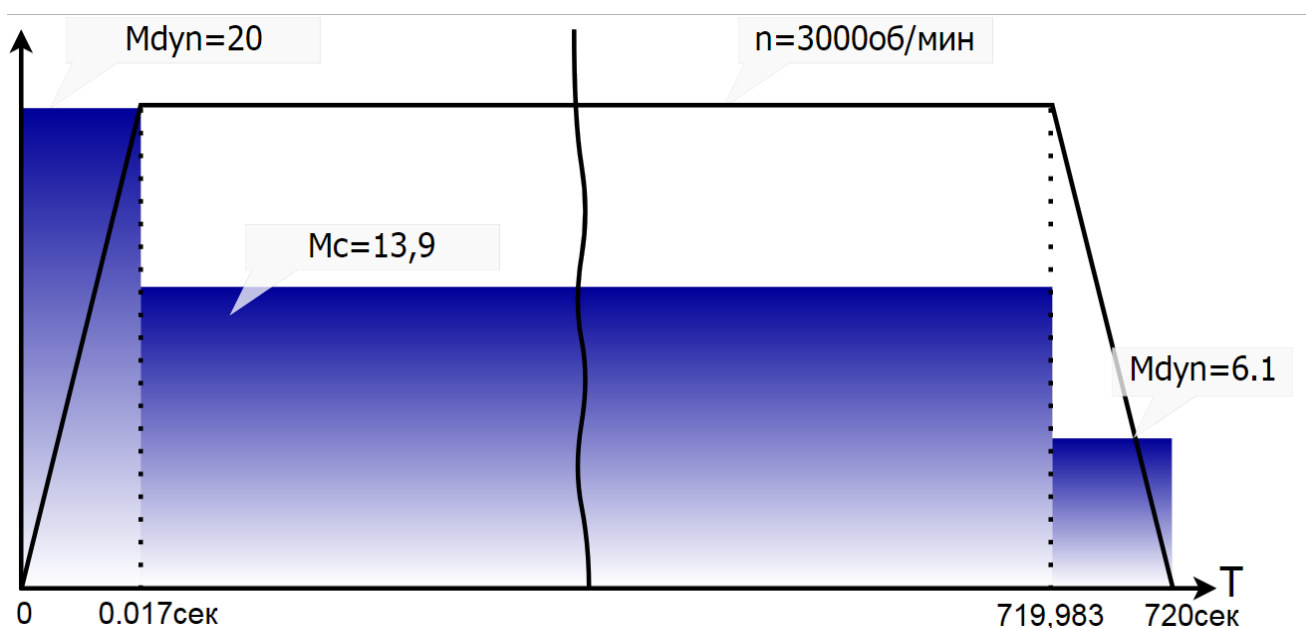


Рисунок 4 - Тахограмма привода

На рисунке 5 изображен график зависимости момента от частоты вращения двигателя STOVER ED302U без редуктора. Можем видеть, что максимальный КПД мотора достигается при 3000 об/мин и моменте 1 НМ. (M -крутящий момент; $M_{\text{мах}}$ -4 НМ максимальный крутящий момент)

Передаточное отношение редуктора составляет $i=141:1$.

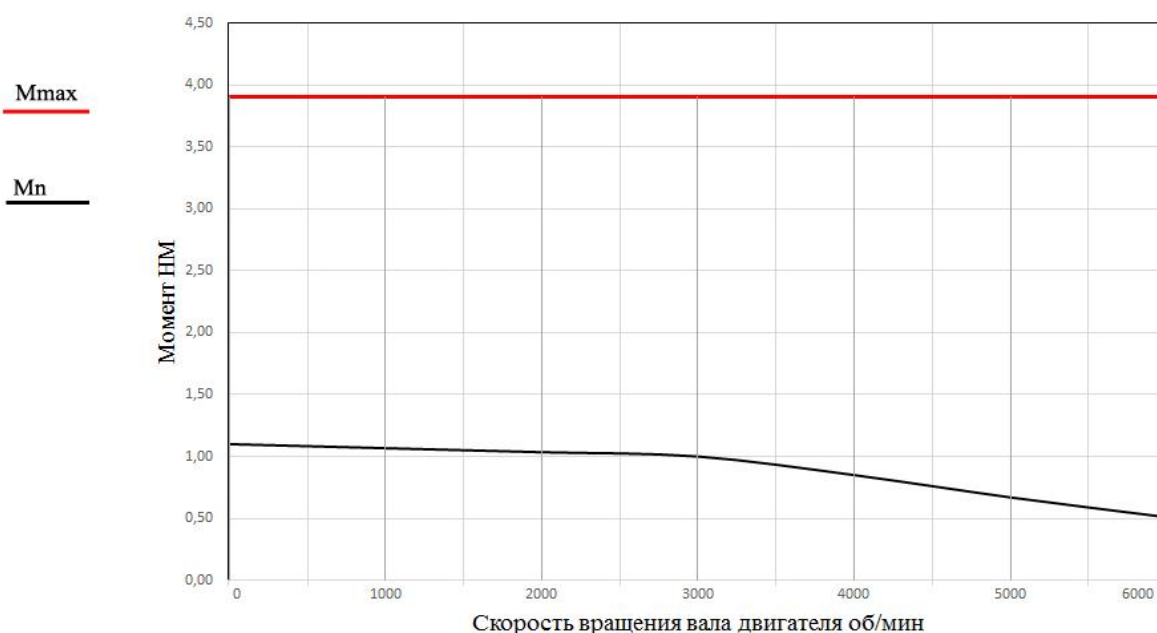


Рисунок 5 - Зависимость момента от скорости вращения двигателя

1.6 Выбор основного силового оборудования

Основным силовым электрическим оборудованием являются источники тока, сервоприводы подающие проволоку, сервопреобразователи. Определяющими параметрами при выборе источников тока являются номинальная величина тока которую способен выдать трансформатор, возможность точного регулирования через аналоговый или цифровой выход ПЛК. Известно, при сварке несколькими дугами, для лучшего провара [13], можно чередовать последовательное и переменное напряжение сварочных дуг. Было принято решение о работе первого электрода на постоянном напряжении. Максимальные токи при сварке постоянным напряжением могут достигать до 1200А. При этом токи при сварке на переменном напряжении остальных четырех могут достигать 1400А.

Были выбраны источники тока от производителя «LINCOLN ELECTRIC». Данная фирма является лидером на рынке устройств для автоматической и полуавтоматической сварки. Для постоянного тока использован трансформатор в паре с выпрямителем модели US-DC 1000. Остальные четыре сварочные

источники были использованы модели US-AC 1500. Данные источники имеют возможность регулирования параметров с помощью аналогового входа (0В-5В). Для точного регулирования источники имеют возможность работать в двух режимах. Для US-AC1500: MIN Terminal - 30В-44В, 240А-600А; MED Terminal – 38В-44В, 460А-1060А; MAX Terminal – 44В, 890А-1500А. Характеристики источников тока отображены в таблице.

Таблица 1 – Основное силовое оборудование

Мотор-редуктор подачи проволоки (Stöber ED 302 U)	Электрическое напряжение	400 В
	Мощность	0.31 кВт
	Частота вращения	3000 об/мин
	Передаточное отношение	I=142:1
Источник тока(выпрямитель) US-DC 1000 для сварочной головки 1	Диапазон тока и напряжения	150- 1300А 16В-46В
	Напряжение питания	380/415/440/460, 3фазн, 50-60 Гц
	Размер(ширина глубина высота)	560x1000x780
	Коэффициент cos Phi	0.75-0.87
	Выходной ток при 400В	112А
	КПД	86%
	Вес	372Кг
	Температурный предел	45

Таблица 2 – Основное силовое оборудование

Источники тока (трансформатор) US- АС 1500 для сварочных головок 2 - 5	Диапазон тока и напряжения бору	240 - 1500 А 30В-44В
	Напряжение питания	380 / 415 / 440 / 460 В / 1- фазн. / 50 - 60 Гц
	Размеры (ширина x глубина x высота)	580 мм x 1210 мм x 1460 мм
	Коэффициент мощности $\cos \Phi$	0,73 - 0,81 / 50 - 60 Гц
	Входной ток при 400 В	310 А
	Кпд	78 - 82 %
	Вес	820 кг
	Температурный предел	45 С
Частотный преобразователь (сервопреобразователь) POSIDYN SDS 4021	Номинальная нагрузка	2 кВА
	Номинальный ток (эффективное значение, \pm 3%)	3 А
	Макс. выходной ток (Макс. Не более 5 сек, \pm 3%)	6 А

1.7 Защита привода. Защитные устройства

Одним из требований к системе электропривода является безопасность его эксплуатации. С этой целью в силовую часть устанавливается ряд защитных устройств [1].

Автоматический выключатель используется для защиты силовой части электропривода от короткого замыкания и токов перегрузки [5]. Автоматический выключатель выбирается по номинальному току выключателя и номинальному току расцепителя [2]. Защита привода осуществляется по контролю момента, и тока. Защита по току осуществлена на автоматах, и сервопреобразователе. Т.е. при коротком замыкании или при превышении допустимого предела по току на приводе, срабатывает автомат и размыкает цепь. Защита по току, осуществленная на сервопреобразователе, защищает не весь привод, а только лишь двигатель. Например, значение тока на двигателе достигает предельного значения, после чего сервопреобразователь принимает решение об отключении двигателя.

Защита по контролю момента осуществлена через систему автоматизированного регулирования. Для большего понимания изобразим структурную схему привода (рисунок 7).

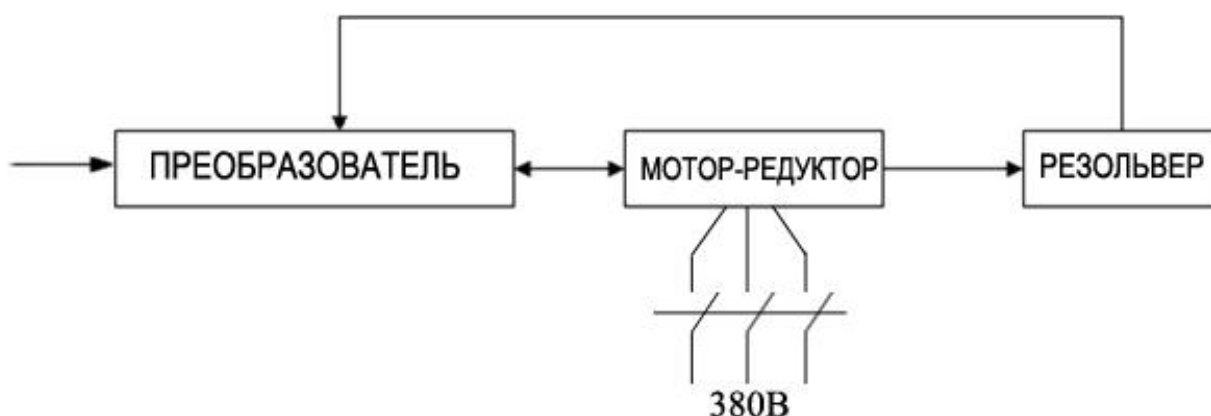


Рисунок 6 - Структура привода

Резольвер постоянно передает данные о моменте и частоте вращения в сервопреобразователь, последний в свою очередь сравнивает измеренные параметры с заданными. Если параметры, полученные с резольвера, отличаются от заданных, то сервопреобразователь корректирует частоту вращения двигателя нужным образом. При достижении критических значений момента, сервопреобразователь принимает решение об остановке двигателя. Следует отметить, что Z5 это название цифровой системы сварки(программного обеспечения), которая в том числе автоматически составляет файлы обеспечения качества в формате Excel® „xls“. Для каждого сварного шва трубы в фоновом режиме во время работы на жестком диске сохраняется файл Excel®. Этот файл содержит все механические, электрические и сварочные параметры настройки для полного описания процесса сварки.

2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

2.1 Разработка архитектуры систем автоматизации

Необходимо обеспечить качественный сварочный шов, без дефектов, раковин, непроваров. Шов должен быть одинаковой толщины и плотности на всем промежутке свариваемой детали (трубы), и соответствовать требованиям заказчика. Для этого необходимо обеспечить качественный контроль за процессом сварки, в частности за скоростью подачи сварочной проволоки в зависимости от приложенного напряжения на токоотводах. Все это обеспечивает хорошо отлаженная автоматизированная система. Для предотвращения образования дефектов в начале и конце сварочного процесса, характеризующихся переходными процессами, с двух сторон привариваются технологические планки. После окончания процесса трубу передают на следующий агрегат, где происходит отрезание планки. Требования к АСУ ТП описано в соответствующем пункте. Данный привод, по сути, является мехатронной системой.

Иерархическая схема исполнительного механизма представляет из себя комплекс технических систем.

Нижний (полевой) уровень – это уровень управления технологическими параметрами промышленного агрегата, который содержит датчики технологических параметров, реле, и исполнительные механизмы [11]. Данная система связана сетью Profibus – DP. Profibus – DP представляет из себя открытую систему шин, соответствующую стандарту IEC 61784 – 1:2002 Ed1 CP 3/1 с протоколом передачи «DP» (децентрализованная периферия). Profibus это открытая промышленная сеть, созданная компанией Siemens для промышленных контроллеров Simatic [6]. Данный протокол гарантирует быстрый и циклический обмен данными между CPU контроллера и периферийными устройствами. Profibus – на физическом уровне использует стандарт RS – 485 со скоростью передачи до 12 Мбит/с [14]. ProfiNet - это открытый Industrial Ethernet стандарт для

промышленной автоматизации. Благодаря ProfiNet, устройства могут обмениваться информацией начиная с полевого уровня и до уровня управления [7]. ProfiNet допускает общесистемные коммуникации, поддерживает общезаводскую разработку и использование IT стандартов вплоть до полевого уровня. Системы полевых шин, таких как ProfiBus, могут быть легко интегрированы без изменения существующих устройств. ProfiNet объединяет в себе лучшие характеристики таких шин как ProfiBus и Ethernet [9]. От промышленного Ethernet сеть ProfiNet позаимствовала высокую скорость передачи данных, возможность беспроводной передачи информации по Wi-Fi и возможность построения гибкой топологии сети. Быстрые Input/output коммуникации, безопасность и возможность диагностики [17].

Первый уровень - физический уровень. Является первым уровнем сетевой модели OSI. Этот уровень считается электрической и физической средой для передачи данных [8]. На этом уровне описываются способы передачи бита через физические линии связи, которая соединяет сетевые устройства.

Вторым уровнем сетевой модели OSI является канальный уровень или уровень SCADA объединяет вместе АРМы операторов и технологов и АРМы управленческого персонала. SCADA (Super Visory Control and Data Acquisition) – это диспетчерское управление, а также сбор данных. Он используется для обнаружения и исправления ошибок, возникающих на физическом уровне, и передачи данных узлам, которые находятся в том же сегменте локальной сети. Этот уровень отвечает за доставку кадров между устройствами в одном сегменте. Используются коммутаторы или мосты [10]. Компьютеры объединены информационной сетью Ethernet. Ethernet – это пакетная технология передачи данных, определяемая стандартом IEEE группы 802.3. Эта информационная сеть второго уровня АСУ ТП независима от контроллеров и устройств нижнего уровня. Этот уровень называют уровнем непосредственного управления через сеть. Выше уровня управления АСУ ТП расположены системы АСУП [12].

Третьим уровнем сетевой модели OSI является сетевой уровень. Здесь используется система организации производства (MES), осуществляющая

обработку информации о ходе производства, изготовленной продукции в разных цехах. Он используется для определения пути передачи данных [15]. Данный сетевой уровень сетевой модели OSI отвечает за трансляцию логических адресов в физические, коммутацию и маршрутизацию. Используется устройство маршрутизатор.

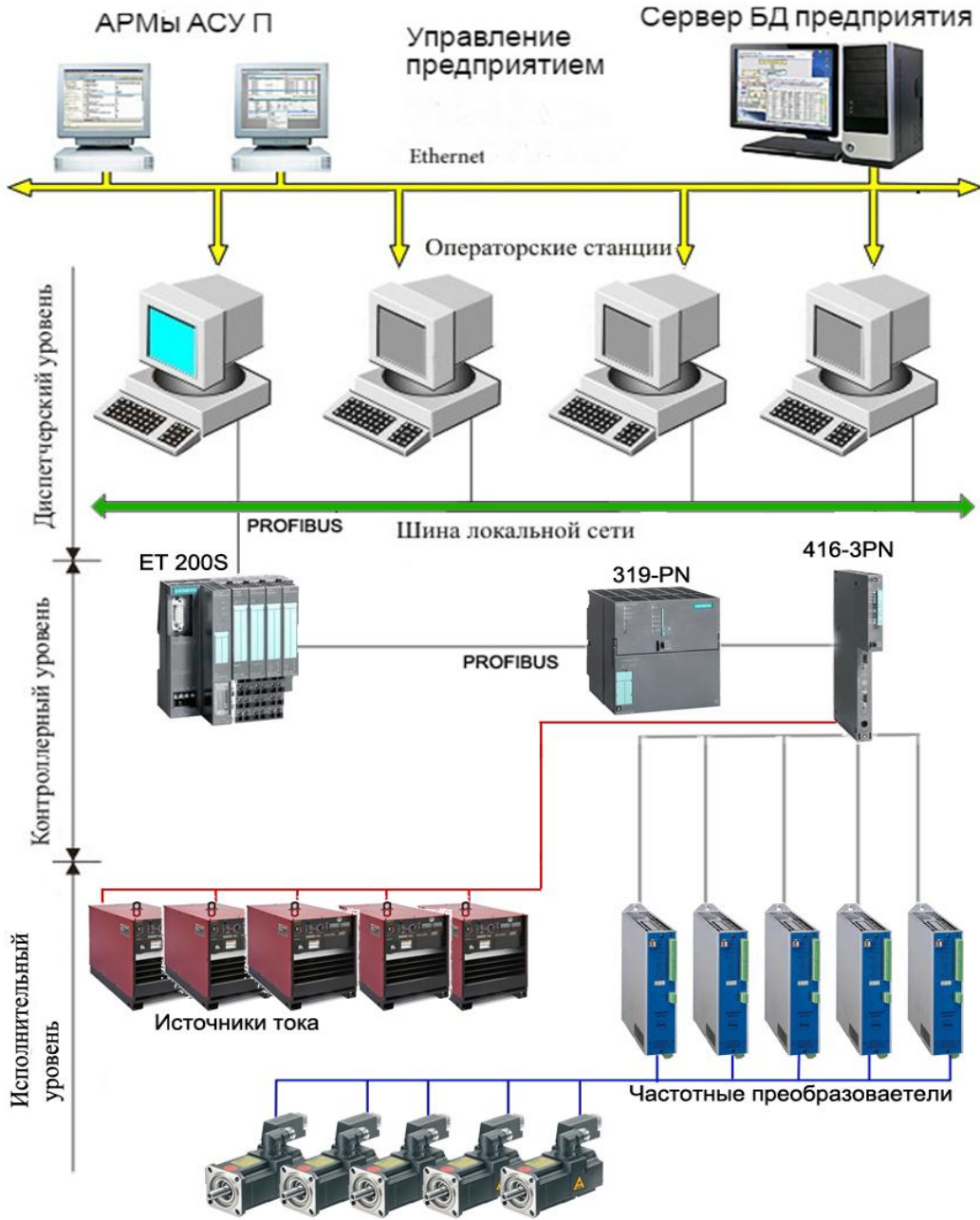


Рисунок 7 - Архитектурная схема

2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

На агрегате установлены сервопривод модели Stober ED302U. Данный сервопривод состоит из частотного преобразователя модели POSIDYN SDS 4021, бесщеточного двигателя с резольвером на валу двигателя и редуктора. Как уже было отмечено выше, он является, по сути, мехатронной системой. Скорость подачи сварочного электрода главным образом зависит от напряжения сварочной дуги. При изменении значений напряжения сварки, необходимо корректировать скорость подачи. Например, при падении напряжения дуги ниже прописанного в техническом задании, необходимо уменьшить скорость вращения вала исполнительного двигателя проволокоподачи.

Для обработки сигнала с датчиков, и управления частотными преобразователями требуется контроллер, на котором можно было бы реализовать программу слежения за технологическими координатами и их регулирования в реальном времени. Требуется высокая скорость обработки информации и обслуживание системы распределенного ввода-вывода. Для решения этих задач были выбраны программируемые логические контроллеры PLC-319-PN и PLC-416-3PN соединенные последовательно. Сигнал поступает от операторской станции на PLC319, который управляет скоростью подачи свариваемой трубы, отправляет данные о сварке в регистратор PC CP 5613 и передает задание на PLC416. PLC-416-3PN выполняет функции формирования сигнала задания для приводов подачи проволоки, источников тока сварки. На 416 контроллере реализована фирменная программа контроля сварки Z5, разработанная специально для сварки в условиях «ЧТПЗ», цеха «Высота 239». Данные о процессе сварки протоколируются с помощью PC CP 5613, для отчетности и предварительной оценки качества сварного шва. Все протоколируемые данные доступны операторам. Цифровая система сварки Z5 автоматически создает файлы с основными технологическими данными, необходимыми для первичной оценки качества сварного шва. Файл в формате Excel® „xls“. Для каждого сварного шва трубы в фоновом режиме во время

работы на жестком диске сохраняется файл Excel®. Этот файл содержит все, электрические и сварочные параметры настройки для полного описания процесса сварки.

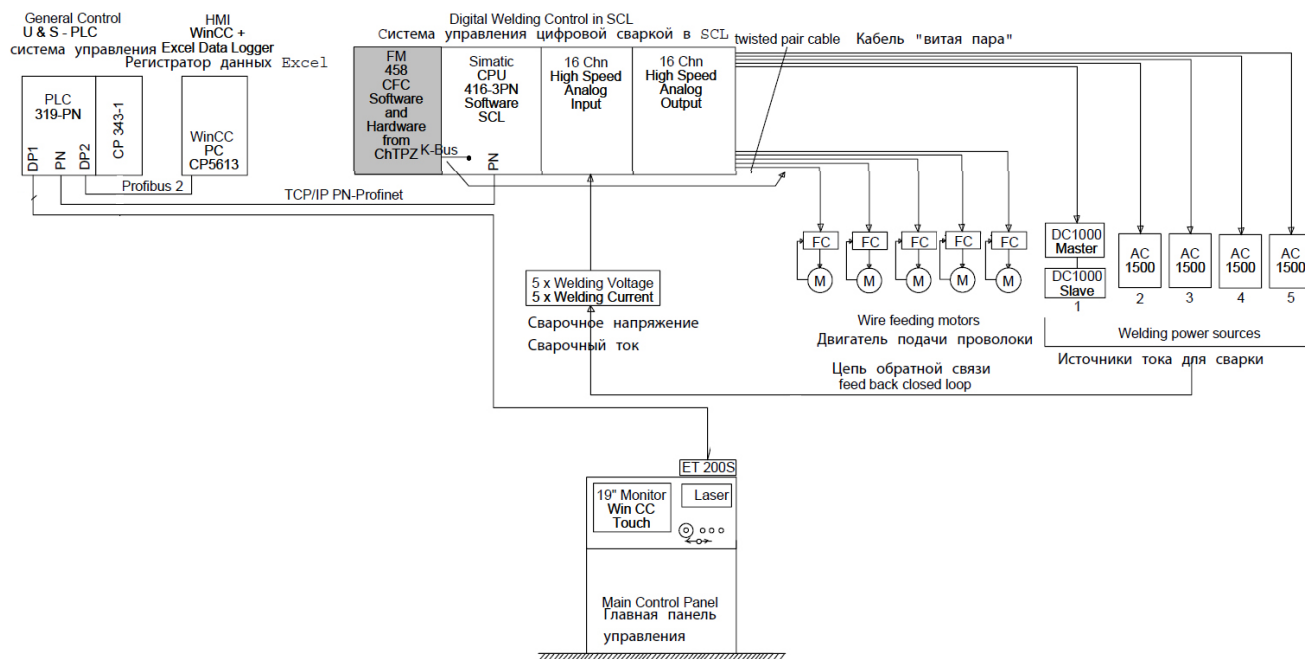


Рисунок 8 - Структура сети цифровой сварки

Датчики – устройства, информирующее о величине замеряемой координаты привода путем взаимодействия с данной координатой и преобразования реакции на это взаимодействие в электрический сигнал [18]. Иными словами, преобразует измеряемый сигнал электропривода в электрический сигнал, для последующего использования в обратной связи. В электроприводе регулируемые являются механические и электрические координаты. К механическим координатам относятся величины, характеризующие механическое движение, перемещение, скорость, ускорение, момент силы. Электрические величины (координаты) – ток, эдс, напряжение. Для контроля положения и частоты вращения используются различные датчики. Прежде всего, эти датчики можно классифицировать по следующим критериям: датчики с абсолютной информацией о положении, например, резольверы. Датчики приращений с инкрементной информацией о положении. Например, TTL-датчики, sin-/cos-датчики. Для управления

синхронными двигателями с возбуждением от постоянных магнитов необходимы данные об абсолютном положении ротора. Поэтому с двигателями такого типа применяются, как правило, датчики абсолютного отсчета. Если требуется, чтобы после включения привода его положение было известно сразу, без выхода в 0-позицию, также целесообразно использовать датчик абсолютного отсчета.

Для получения информации о технологических данных выберем следующие датчики: Резольвер привода подачи проволоки. Служит для измерения скорости вращения привода и момента на выходе двигателя. Далее полученные данные передаются в сервопреобразователь и с помощью математических вычислений определяются параметры на входе редуктора. Токоизмерительные шунты и трансформаторы тока: служат для измерения выходного тока сварки в режиме реального времени. Замер напряжения сварки в режиме реального времени производится прямым подключением к аналоговому входу контроллера PLC-416-3PN.

2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата

Сервопреобразователь был выбран POSIDYN SDS 4021. . Подключается такой преобразователь к сети с напряжением от 230В, до 480В $\pm 10\%$, 50/60Гц, имеет вход питания вспомогательного напряжения 24В. Номинальный ток, способный выдавать на выходе составляет 3А, которое питает три обмотки двигателя соединенных звездой.

Стоит отметить, что все данные, такие как, сварочный ток, напряжение, момент постоянно передаются на экран оператора. Все данные полученные во время сварочного процесса сохраняются на сервер.

ПЛК 319 и 416 расположены удаленно от пульта управления, управляющие сигналы передаются по PROFIBUS через станцию удаленного ввода вывода.

Рассмотрим более подробно автоматизированную структуру привода.

Защита привода осуществляется по контролю момента, и тока. Защита по току осуществлена на автоматах, и сервопреобразователе. Т.е. при коротком замыкании или при превышении допустимого предела по току на приводе, срабатывает автомат и размыкает цепь. Защита по току, осуществленная на сервопреобразователе, защищает сам преобразователь от перегрузки по потребляемому току. Например, значение потребления тока двигателя достигает предельного значения, после чего сервопреобразователь принимает решение об отключении двигателя. Защита по контролю момента осуществлена через систему автоматизированного регулирования.

Резольвер постоянно передает данные о моменте и частоте вращения в сервопреобразователь, последний в свою очередь сравнивает измеренные параметры с заданными. Если параметры, полученные с резольвера, отличаются от заданных, то сервопреобразователь корректирует частоту вращения двигателя нужным образом.

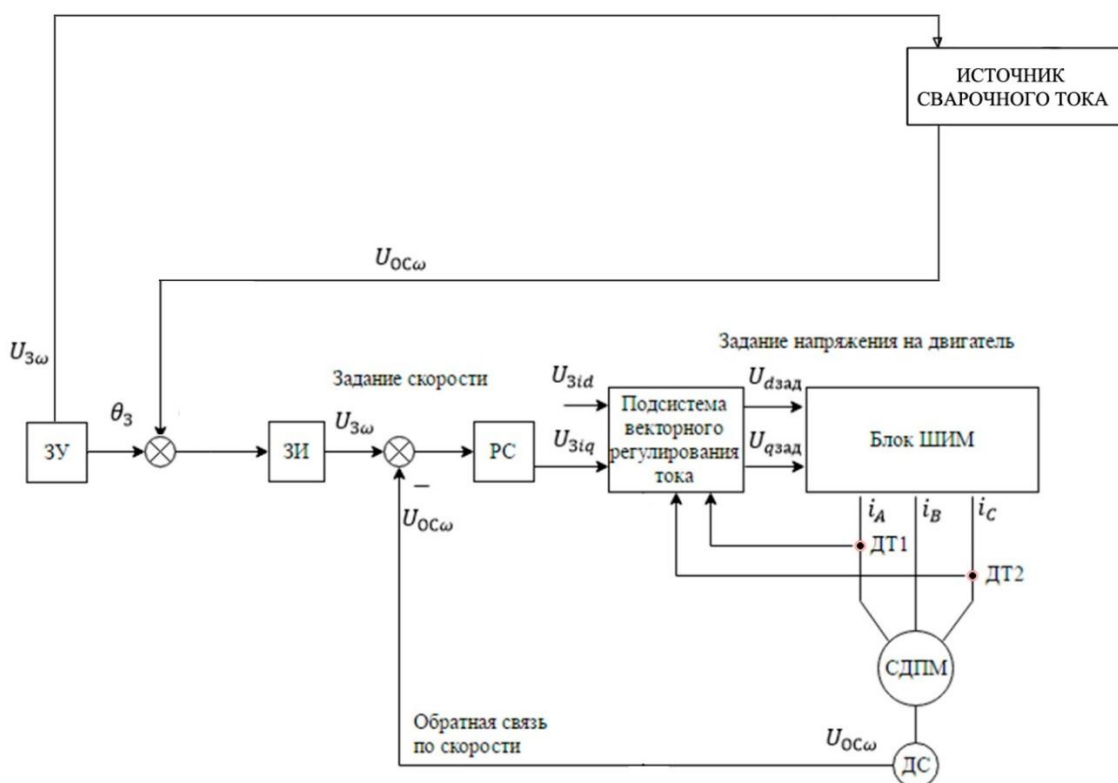


Рисунок 9 - Система подчиненного регулирования

Корректировка задания с контроллера на преобразователь осуществляется с помощью обратной связи по напряжению сварочной дуги. Снятое напряжение сварки поступает на аналоговый вход контроллера, который в свою очередь высчитывает исходя из этих данных задание на сервопреобразователь. На рисунке 9 изображена система подчиненного регулирования. Можно наблюдать что присутствует задающее устройство(ЗУ), задатчик интенсивности(ЗИ), блок регулирования скорости(РС)

На рисунке 10 изображен технологический процесс подачи проволоки. На первом этапе (оперативный уровень, WIN CC 19”) оператор задает параметры указанные в технической карте(напряжение, ток, диаметр проволоки, для каждой из сварочных дуг). Для разных труб прописываются разные технические параметры в карте. После чего данные передаются по шине PROFIBUS(средний уровень) на ПЛК(построен на CPU319 серии). Данные обрабатываются для дальнейшей передачи по шине(средний уровень) PROFINET на следующий ПЛК (построен на CPU416 серии).

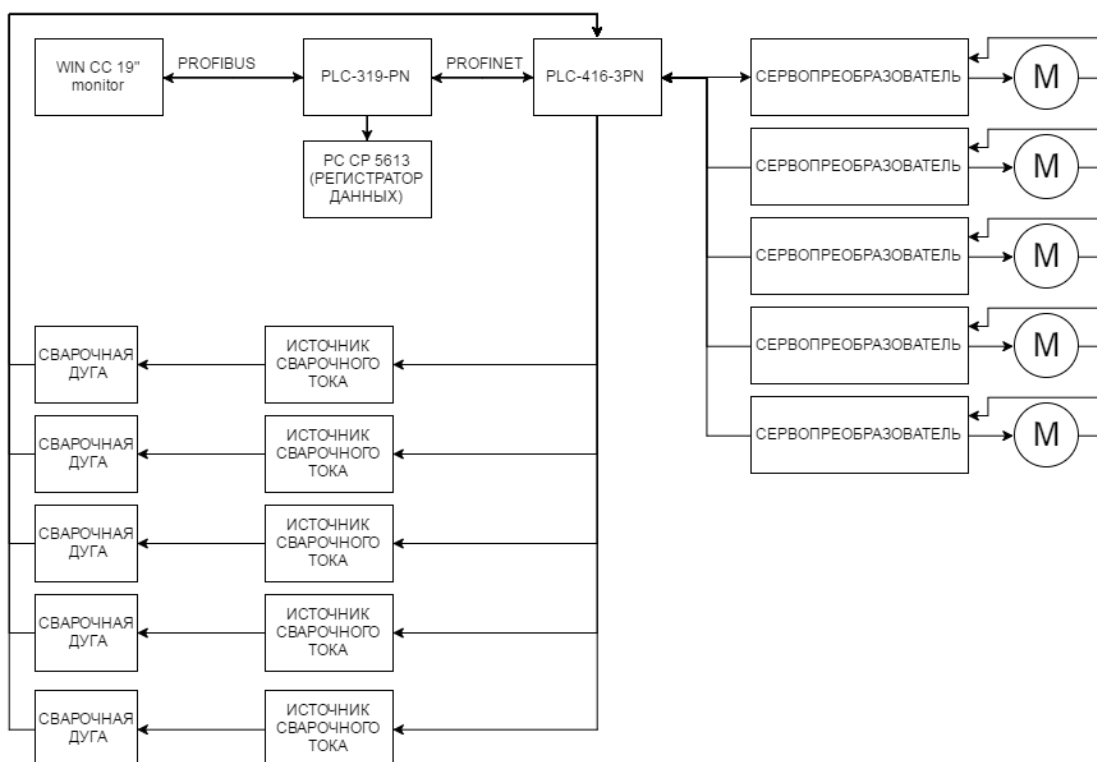


Рисунок 10 - Структурно-функциональная схема механизма

2.4 Разработка структурной схемы система автоматизированного регулирования и моделирование типовых режимов работы привода

В синхронном электродвигателе обмотка возбуждения, расположена на статоре, запитывается постоянным напряжением. Она создаёт потокосцепление и вращается вместе с ротором со скоростью [5]. В нашем случае, синхронный электродвигатель имеет возбуждение от постоянных магнитов, расположенных на роторе. В электроприводах с большим диапазоном регулирования скорости применяют способ управления синхронным электродвигателем по сигналам датчика положения ротора, привязанного к магнитной системе машины. В этом случае синхронный электродвигатель оснащён постоянными магнитами, расположенными на роторе, а управление скоростью производят изменением амплитуды(действующего значения) напряжения на обмотках статора. В этом режиме в синхронном двигателе поддерживают пространственный угол между векторами потокосцепления ротора и статора, близким к 90^0 , а скорость магнитного поля практически совпадает со скоростью вращения ротора.

Передаточная функция по отношению к управляющему воздействию имеет вид:

$$W_{\omega U I q}(p) = \frac{(Z_{\Psi d0})^{-1}}{(T_{\sigma 1} T_{m1} p^2 + T_{m1} p + 1)} \quad (23)$$

Уравнение обмотки статора СДПМ:

$$U = R \cdot I + \frac{d\psi}{dt} + j\omega_k \psi \quad (24)$$

где R – активное сопротивление обмотки статора;

U – напряжение на статоре;

ω_k - электрическая скорость вращения системы координат относительно статора.

Уравнение обмотки статора СДПМ в проекциях на оси d и q:

$$\begin{cases} U_{1d} = R \cdot I + \frac{d\psi}{dt} - \omega Z_{\pi} \psi \\ U_{1q} = R \cdot I + \frac{d\psi}{dt} + \omega Z_{\pi} \psi \end{cases} \quad (25)$$

С учётом того, что реальный трёхфазный синхронный электродвигатель можно свести с помощью трёхфазно-двухфазного преобразования к обобщённой двухфазной модели, электромагнитный момент СДПМ запишется так[4]:

$$M_e = \frac{mZ_{\pi}}{2} \operatorname{Im}\{\psi I\} \quad (26)$$

где m – число фаз статора электродвигателя;

Z_{π} – число пар полюсов;

ψ – сопряженный вектор потокосцепления статора.

Уравнение движения электропривода:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_c \quad (27)$$

где J – приведённый к валу электродвигателя момент инерции;

M_c – момент сил сопротивления.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_{1d}}{dt} = U_{1d} - \frac{R_1}{L_1} \psi_{1d} + \frac{R_1}{L_1} \psi_B + \omega Z_{\Pi} \psi_{1q} \\ \frac{d\psi_{1q}}{dt} = U_{1q} - \frac{R_1}{L_1} \psi_{1q} - \omega Z_{\Pi} \psi_{1d} \\ J \frac{d\omega}{dt} = \frac{m_1 Z_{\Pi} \psi_B}{2L_1} \psi_{1q} - M_c \end{array} \right. \quad (28)$$

Переходя к операторной форме записи, после преобразований получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} (T_{11}P + 1)\psi_{1d} = T_{11}U_{1d} + \psi_B + T_{11}\omega Z_{\Pi}\psi_{1q} \\ (T_{11}P + 1)\psi_{1q} = T_{11}U_{1q} - T_{11}\omega Z_{\Pi}\psi_{1d} \\ Jp\omega = \frac{mZ_{\Pi}\psi_B}{2L} \psi_{1q} - M_c \end{array} \right. \quad (29)$$

где p – оператор дифференцирования.

Электромагнитная постоянная времени:

$$T_{11} = \frac{L}{R} \quad (30)$$

Система уравнений позволяет построить структурную схему синхронного двигателя с постоянными магнитами на роторе [3]. За входные управляющие воздействия приняты частота вращения магнитного поля ω_0 и напряжения U . Основным возмущающим воздействием является момент M_c сил сопротивления, а выходной координатой скорость ω вращения ротора электродвигателя. Анализ уравнений и структурной схемы показывает, что синхронный двигатель с постоянными магнитами представляет собой нелинейный объект управления, что вызвано наличием множительных звеньев.

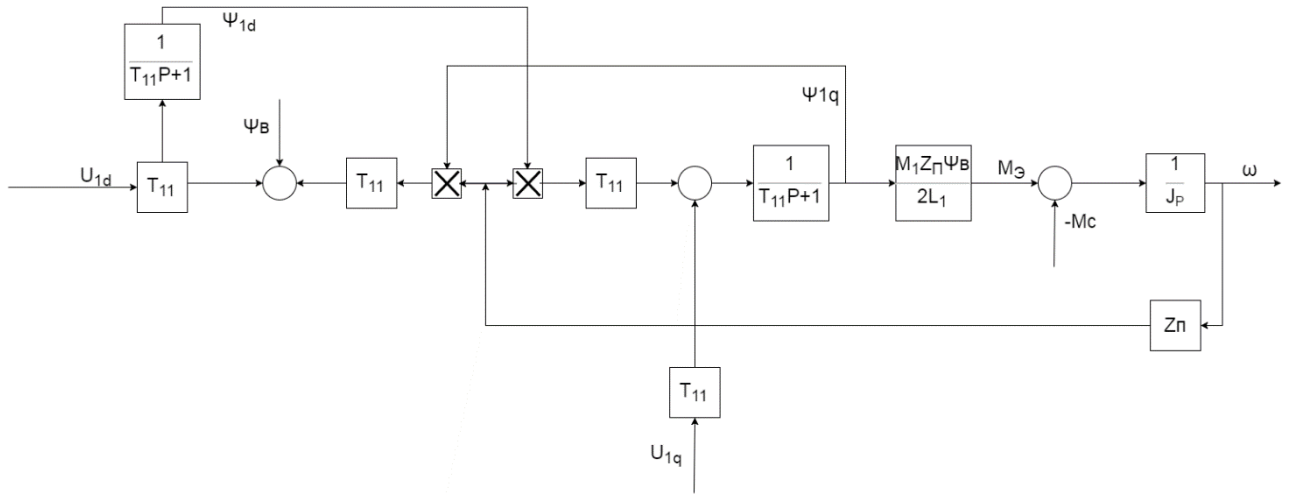


Рисунок 11 - Структурная схема синхронного электродвигателя с постоянными магнитами

Проведём линеаризацию системы уравнений методом разложения основных нелинейных зависимостей в степенной ряд Тейлора в окрестности некоторой рабочей точки:

$$\left\{ \begin{array}{l} (T_{11}P + 1)\psi_{1d0} = T_{11}U_{1d} + \psi_B + T_{11}\omega Z_{\Pi}\psi_{1q0} \\ (T_{11}P + 1)\psi_{1q} = T_{11}U_{1q} - T_{11}\omega Z_{\Pi}\psi_{1d0} \\ Jp\omega = \frac{m_1 Z_{\Pi}\psi_B}{2L_1} \psi_{1q0} - Mc \end{array} \right. \quad (31)$$

Приведенная ниже система уравнений позволяет найти передаточная функция синхронного электродвигателя с постоянными магнитами на роторе как по управляющим воздействиям ω_0 и U_1 , так и по отношению к основному возмущению Mc :

$$W_{\omega Mc}(P) = \frac{T_m(T_{\text{э1}}P + 1)}{j(T_{\text{э1}}T_{m1}P^2 + T_{m1}P + 1)} \quad (32)$$

Все передаточные функции по управляющим воздействиям, полученные выше, описывают движение синхронного электродвигателя «в малом» при частотном способе управления скоростью. В электроприводах с большим диапазоном регулирования скорости применяют способ управления синхронным электродвигателем по сигналам датчика положения ротора, привязанного к магнитной системе машины. Как правило, в этом случае синхронный электродвигатель оснащён постоянными магнитами, расположенными на роторе, а управление скоростью производят изменением амплитуды (действующего значения) напряжения на обмотках статора. В этом режиме в синхронном двигателе поддерживают пространственный угол между векторами потокосцепления ротора и статора, близким к 90, а скорость магнитного поля практически совпадает со скоростью вращения ротора. Структурная схема, позволяет получить передаточную функцию синхронного электродвигателя. Приравнивая нулю M_c и ω_0 , найдём передаточную функцию по отношению к управляющему воздействию U_{1q} :

$$W_{\omega M_c}(P) = \frac{(Z_n \Psi_{1d0})^{-1}}{(T_{\sigma 1} T_{m1} P^2 + T_{m1} P + 1)} \quad (33)$$

Анализ передаточной функции показывает, что динамические характеристики синхронного двигателя, работающего в режиме вентильного двигателя (бесколлекторного двигателя постоянного тока) аналогичны соответствующим характеристикам обычного электродвигателя постоянного тока. Структура, составленная на основе полного линеаризованного описание СДПМ соответствует структуре описания двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (Рисунок 12). Скорость синхронного двигателя в этом режиме пропорциональна напряжению, прикладываемому к статорным обмоткам.

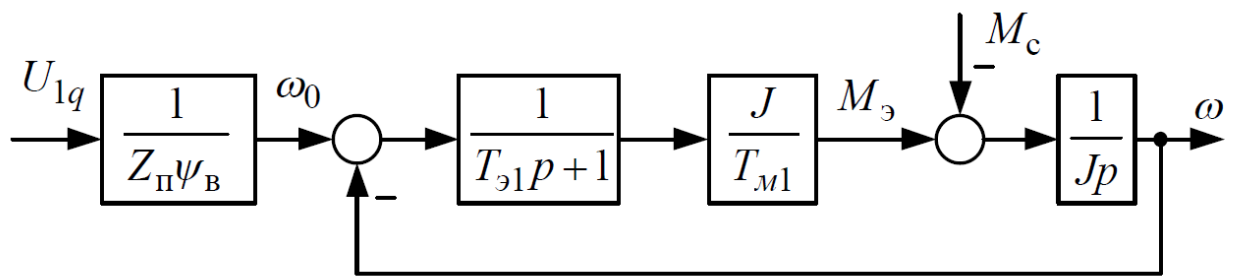


Рисунок 12 - Структурная схема линейризованного описания СДПМ

Произведем построение модели привода по данной структурной схеме(рисунок 13). Двигатель имеет следующие паспортные данные: $U=380\text{В}$, $n_n = 3000$ об/мин, $Z_{\text{п}} = 6$, $I_n = 1.63\text{А}$, $J_d = 0.317 \cdot 10^{-4}$ кгм², $R_s = 20.4\text{Ом}$, $L_d = 26.4\text{мГн}$.

Моделирование производится в программной среде Simulink, Matlab R2014b. Simulink – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы.

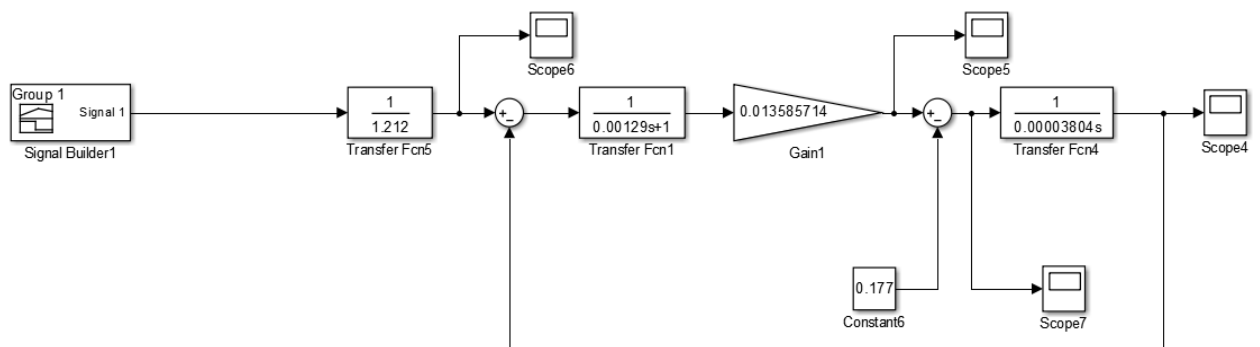


Рисунок 13 - Модель СДПМ в программной среде simulink

Модель была построена с помощью стандартных блоков, входящих в библиотеку Simulink, Matlab R2014b.

Была построена модель привода с максимально возможным создаваемым моментом 25НМ создаваемого на валу редуктора. В блоке «Constant6» прописывается момент, создаваемый нагрузкой на валу двигателя. Момент прописывается именно для вала двигателя, а не редуктора. Передаточное соотношение редуктора $i=141:1$. Соответственно момент на двигателе составил 0,177НМ. Т.к. все установленные на агрегате приводы подачи электрода идентичны, то была построена модель, в которой производилась подмена статического момента на валу двигателя. Ниже располагаются графики изменения момента и скорости, в зависимости от заданного сигнала.

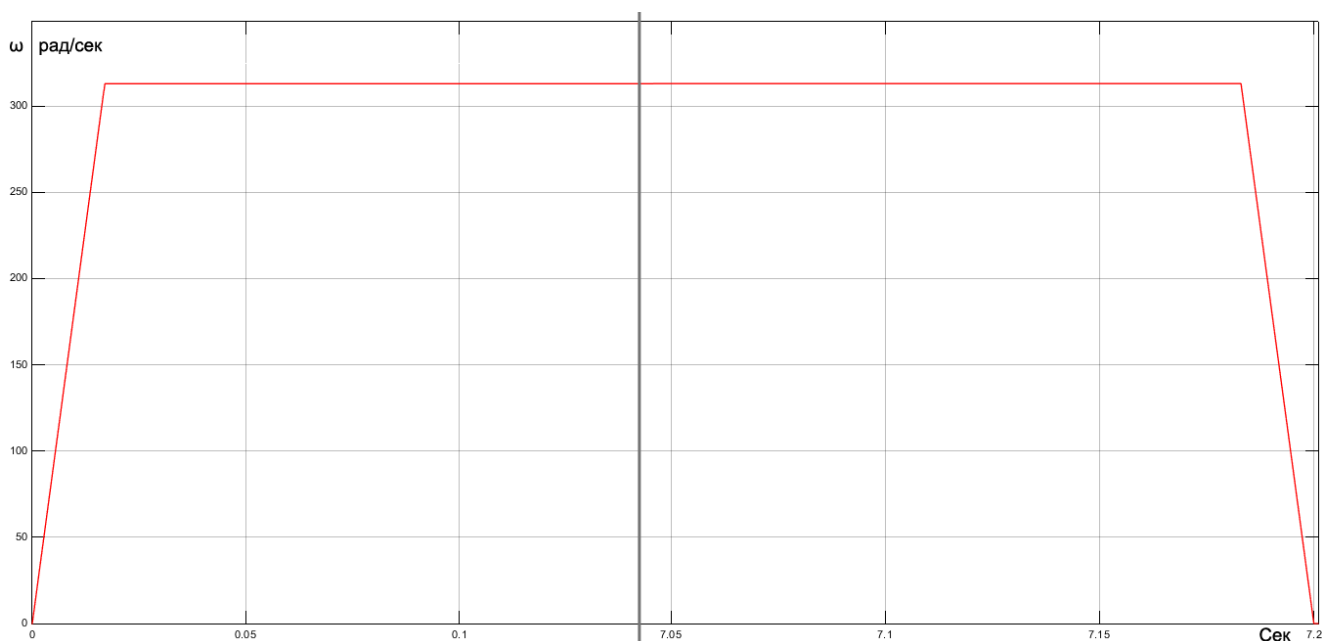


Рисунок 14 - Сигнал задания

На рисунке 14 изображен график сигнала задания скорости на привод. Данный сигнал формирует частотный преобразователь, исходя из сигнала задания сформированного ПЛК SIEMENS PLC416-3PN. Можно наблюдать, что в начале и в конце задания сигнал формируется плавно, нарастающий. Данный метод позволяет избегать перегрузок привода при старте, благодаря чему снижаются стартовые токи. Из этого можно сделать вывод, что так же уменьшается износ двигателя и редуктора. После возрастания сигнала до номинального, процесс далее идет линейно, и сигнал задания не меняется.

Поскольку данная система имеет обратную связь, то в данной системе присутствует процесс регулирования привода. На рисунке 15 изображен график изменения момента на выходном валу.

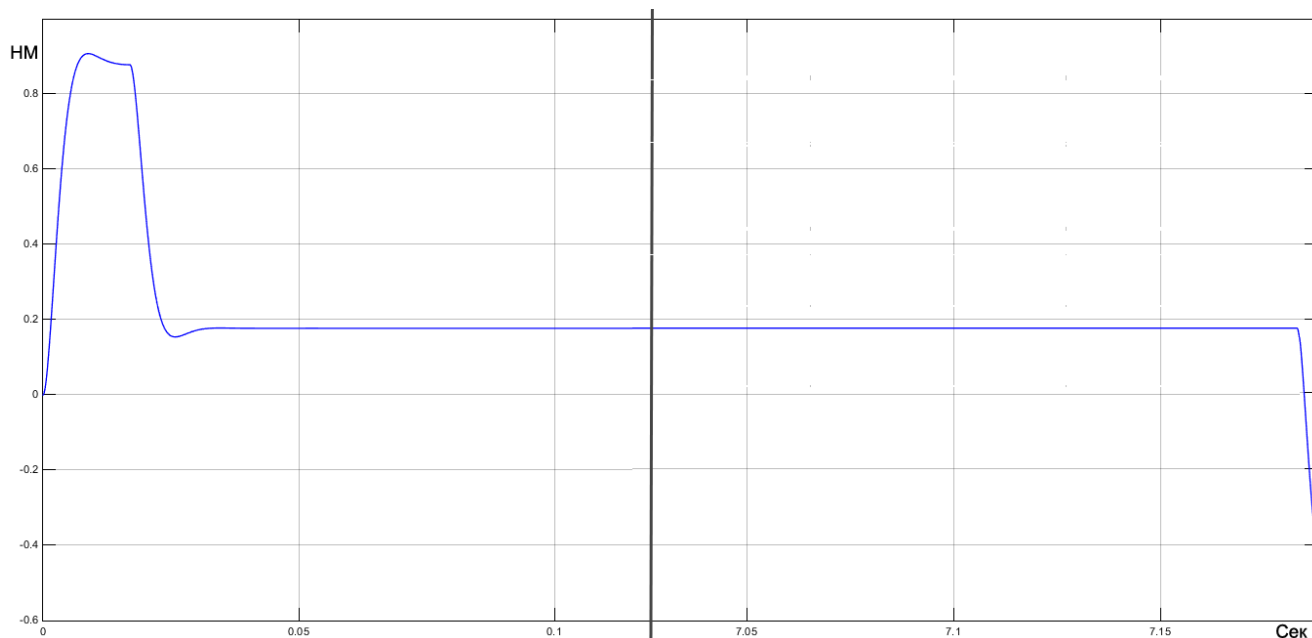


Рисунок 15 - Сигнал изменения момента

Из графика видно, что момент при старте резко возрастает до отметки 0,9НМ, что соответствует номинальным моментам двигателя STOBER ED302U. Происходит это из-за того, что проволочной бухте необходимо задать определенную скорость, и наибольшие усилия, нужно приложить при старте системы, для сдвига всей массы проволоки. После чего происходит резкий спад момента, который меньше статического. Данный процесс можно объяснить тем, что происходит резкий спад тока на обмотках статора, в следствии чего момент резко падает. Далее переходный процесс заканчивается и момент становится равным статическому. Трение подшипников двигателя и статический момент двигателя близок к нулю, в следствии этого его не учитывали.

Так же была снята характеристика скорости двигателя, представленная на рисунке 16. Из графика видно, что имеет место переходный процесс, связанный со скачком тока при старте

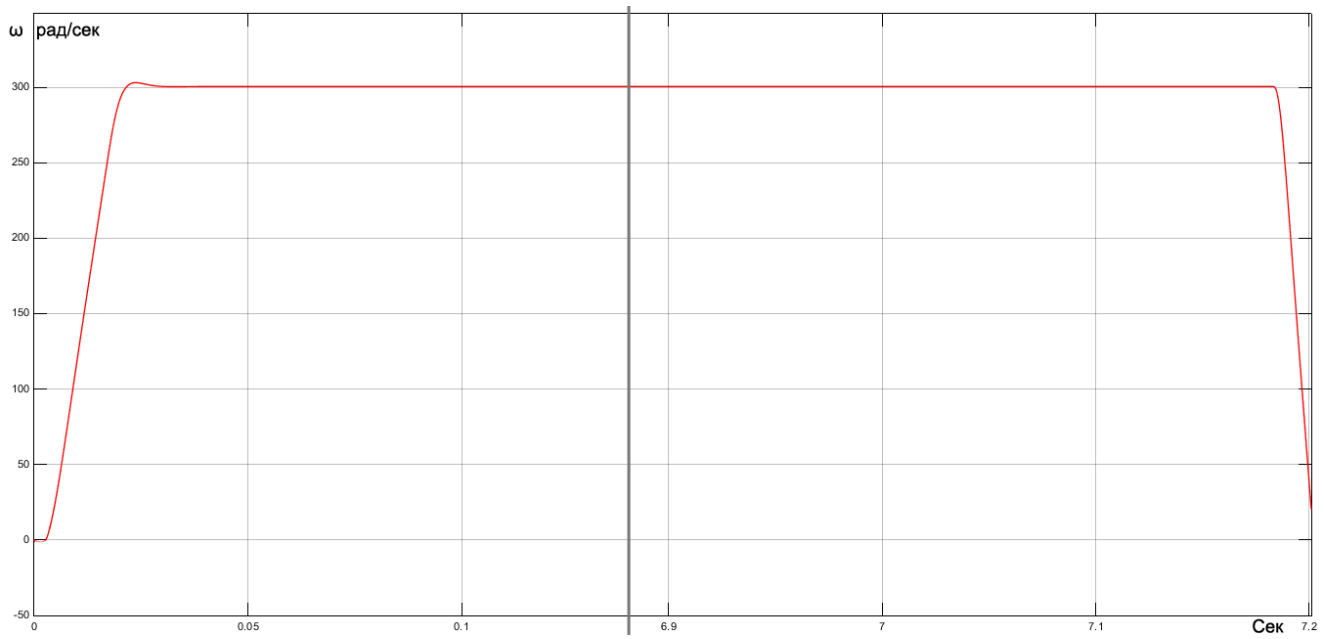


Рисунок 16 - Сигнал изменения скорости

Объединив график изменения момента и скорости можем получить выходную характеристику (рисунок17)

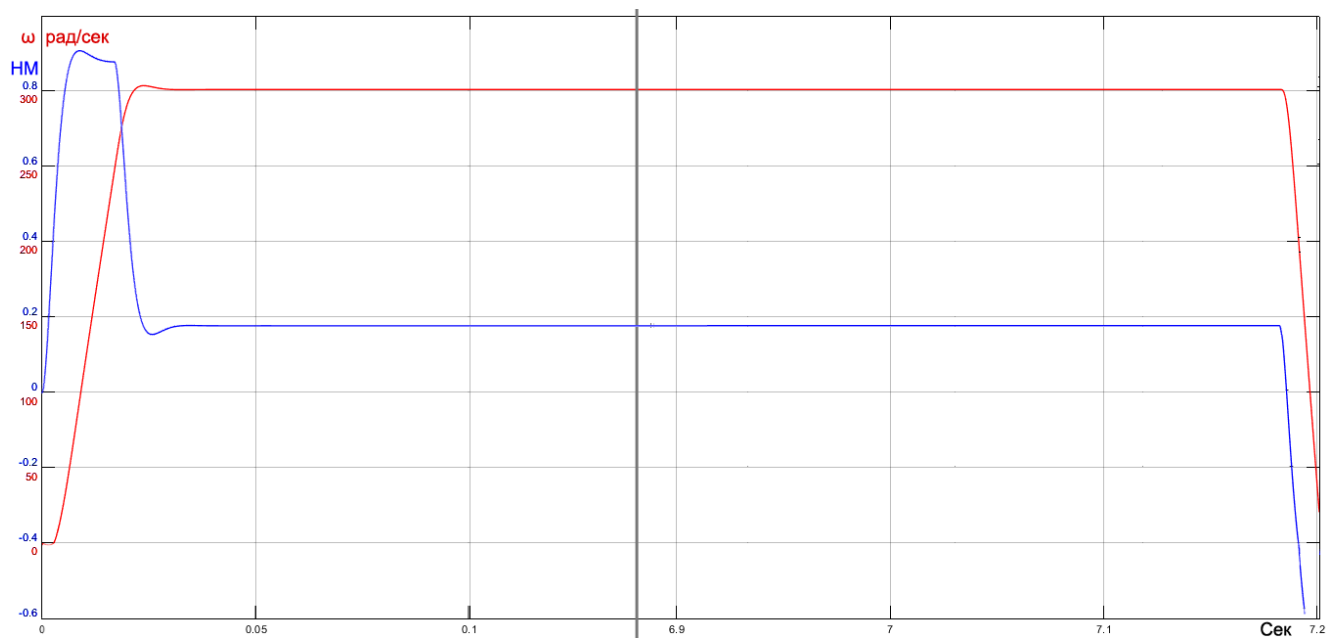


Рисунок 17 - Выходная характеристика

3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

3.1 Определение единовременных (капитальных) расходов

Технология включает в себя установку сервопреобразователей на новой серии. К единовременным затратам монтажа приводов и источников тока относятся расходы на приобретение оборудования, на его доставку, монтаж и наладку.

Таблица 3 – Стоимость в оборудования.

Приобретенное оборудование	Цена, руб.
Редукторный сервопрвод подачи сварочной проволоки Stober ED 302 U в количестве 5 штук	98395
Сервопреобразователь Posidyn SDS 5007A в количестве 5 штук	139800
ПЛК SIEMENS PLC319-PN	51900
ПЛК SIEMENS PLC416-3PN	35600
Станция ввода-вывода ET200S	15800
Регистратор данных CP 5613	30240
Итого	371735

Транспортные расходы возьмем в размере 10 % от стоимости оборудования.

Резерв на непредвиденные расходы будет составлять 5 % от суммы предыдущих затрат.

Затраты на монтаж оборудования возьмем в размере 10 % от стоимости оборудования, так как оборудование заказывается в комплексе со всем станом наружной сварки и доставляется в готовом для сборки виде.

Приведем закупаемое оборудование (таблица 3).

Общая величина капитальных затрат определяется следующей формулой:

$$K = C_{об} + T_p + Z_{смп} + Z_{нр} \quad (34)$$

где K – единовременные (капитальные) затраты;

$C_{об}$ – стоимость оборудования;

T_p – транспортные расходы;

$Z_{смп}$ – строительно-монтажные расходы;

$Z_{нр}$ – непредвиденные расходы.

Вычислим общую величину капитальных затрат:

$$K = 371735 + 37173,5 + 37173,5 + 110204 = 446082(\text{руб}) \quad (35)$$

Таким образом, единовременные затраты при введении оборудования составят 446082рублей.

3.2 Определение текущих (эксплуатационных) расходов

Текущие (эксплуатационные) расходы определим для двух случаев: для случая автоматизированной сварки при с ремонтно-обслуживающим персоналом, состоящим из трех узкопрофильных специалистов (старая технология) и для случая сварки на стане наружной сварки с ремонтно-обслуживающим персоналом из одного инженера по мехатронике и автоматизации (новая технология). После этих расчетов приведем сравнение текущих эксплуатационных расходов при старой и новой технологии.

Перечислим отличия новой и старой технологии сварки:

– инженер по автоматизации и электромонтер по эксплуатации и наладке электрооборудования заменены на одного специалиста широкого профиля, а именно на инженера по мехатронике и автоматизации.

Расходы на сырье и материалы

Определим расходы на сырье и материал для автоматической сварки наружного шва трубы.

Определим затраты на подводящие(кожухи) для сварочной проволоки. В качестве подводящих элементов используются проволкопроводы с внутренней металлизированной спиралью. Замена подводящих производится 4 раза в году. Годовые затраты на их замену будут составлять:

$$4 \cdot (250 \cdot 5) = 5000 \text{ руб} \quad (36)$$

где 250 – стоимость одного проволкопровода,

5 – количество сварочных дуг.

Тогда суммарные затраты на материалы: 5000 руб.

Следующим пунктом затрат на материалы являются затраты на замену смазочных материалов.

Для редукторных двигателей приводов ревизия, а, следовательно, и замена смазочного материала осуществляется раз в полгода, годовая норма расхода составляет 200 г.

Таким образом, суммарный расход смазочных материалов составит:

$$28 \cdot 0,4 + 0,2 = 11,4 \text{ кг/год} \quad (37)$$

Килограмм смазочного материала стоит 109 руб. Тогда годовые затраты на смазочный материал составят

$$11,4 \cdot 109 = 1242,6 \quad (38)$$

Тогда суммарные затраты на материалы(в год):

$$1242,6 + 5000 = 6242,6 \text{ руб.} \quad (39)$$

3.3 Время работы и простоев оборудования

Определим время работы стана наружной сварки за вычетом времени простоя.

Простой оборудования из-за отсутствия заказов на продукцию не будем рассматривать и будем считать, что цех на несколько лет вперед обеспечен заказами. Простоев оборудования из-за отсутствия сырья тоже нет, так как есть несколько предприятий, бесперебойно поставляющих стальные листы для изготовления труб.

Определим время плановых простоев:

Время плановых простоев определяется суммарным временем простоев при технических осмотрах, текущих и капитальных ремонтах. Порядок выполнения ремонтов определяется системой планово-предупредительных ремонтов.

Для стана наружной сварки предусмотрено проведение капитального ремонта каждый год. Между капитальными ремонтами каждые три месяца проводятся текущие ремонты. Технические осмотры проводятся каждые 2 недели. Структура ремонтного цикла приведена в рисунке 18.



Рисунок 18 – Структура ремонтного цикла стана наружной сварки.

ТО – технический осмотр, выполняемый через 328 часов, продолжительностью 8 часов;

Т – текущий ремонт, выполняемый через 2144 часов работы, продолжительностью 16 часов;

К – капитальный ремонт, выполняемый через 8472 часа работы, продолжительностью 168 часов.

В ремонтном цикле 24 технических осмотров, 3 текущих ремонта и один капитальный ремонт.

Время простоя стана наружной сварки за год при ремонтах составляет:

$$24 \cdot 8 + 3 \cdot 16 + 168 = 408 \text{ ч.} \quad (40)$$

Время работы оборудования в году за вычетом простоев составит:

$$12 \cdot 180 - 408 = 1752 \quad (41)$$

Затраты на электроэнергию

Определим затраты на электроэнергию при автоматической сварке для приводов на сервопреобразователях Posidyn SDS 4021.

Для приводов вертикальной и горизонтальной корректировки выделим следующие потребители электроэнергии:

– сервопреобразователь Posidyn SDS 4021 с потребляемой мощностью 0,65 кВт;

Суммарная мощность, потребляемая механизмом:

$$5 \cdot 0,65 = 3,25 \text{ кВт} \quad (42)$$

При работе оборудования 1752 ч. в году и стоимости электроэнергии 3 руб/кВт. затраты на электроэнергию:

$$3,55 \cdot 1752 \cdot 3 = 17082 \text{ руб.} \quad (43)$$

Эксплуатационные расходы на заработную плату при старой технологии

За процессом автоматической сварки следит 1 технолог оператор. Посчитаем заработную плату технолога-оператора сварки. График работы оператора 8-часовой 5-дневный.

Месячная тарифная ставка оператора стана наружной сварки составит:

$$181 \cdot 180 = 32580 \text{руб.} \quad (44)$$

где 181 – часовая тарифная ставка оператора;

180 – среднегодовая норма часов в месяц;

Премияльная оплата труда (40 %):

$$32580 \cdot 0,4 = 13032 \text{руб.} \quad (45)$$

Уральский коэффициент (15 %):

$$(32580 + 13032) \cdot 0,15 = 6841,8 \text{руб.} \quad (46)$$

Таким образом, итоговой месячный фонд оплаты труда оператора технолога составит:

$$32580 + 13032 + 6841,8 = 52453,8 \text{руб.} \quad (47)$$

Годовой ФОТ составляет:

$$52453,8 \cdot 12 = 629445,6 \text{руб.} \quad (48)$$

Отчисления в социальные нужды установлены в размере 30 % от общего фонда заработной платы (22 % в пенсионный фонд РФ, 5,1 % в федеральный фонд

обязательного медицинского страхования, 2,9 % в территориальный фонд обязательного медицинского страхования). Таким образом, годовые отчисления на социальные нужды составят:

$$629445,6 \cdot 0,3 = 188833,68 \text{ руб.} \quad (49)$$

Годовые затраты на заработную плату одному оператору технологу составят:

$$629445,6 + 188833,68 = 818279,28 \text{ руб.} \quad (50)$$

Далее вычислим расходы на заработную плату ремонтно-обслуживающего персонала стана наружной сварки. Ремонтно-обслуживающий персонал стана будет состоять из трех работников: электромонтера по ремонту и наладке электрооборудования 5 разряда, слесаря-механика 5 разряда и инженера по автоматизации и наладке 2 категории. Рабочий график будет 8-часовой 5-дневный.

Тарифные ставки по заработной плате электромонтера и слесаря-механика одинаковые. Рассчитаем расходы на заработную плату электромонтера по ремонту и наладке электрооборудования 5 разряда.

Расчет проведем для 8-часового рабочего дня.

Месячная тарифная ставка ремонтника составит:

$$127 \cdot 1,2 \cdot 180 = 27432 \text{ руб.} \quad (51)$$

где 127 – часовая тарифная ставка рабочего 4 разряда;

1,2 – тарифный коэффициент рабочего 5 разряда;

180 – среднегодовая норма часов;

Премияльная оплата труда (40 %):

$$27432 \cdot 0,4 = 10972,8 \text{ руб.} \quad (52)$$

Уральский коэффициент (15 %):

$$(27432 + 10972,8) \cdot 0,15 = 5760,72 \text{ руб.} \quad (53)$$

Таким образом, итоговой месячный фонд оплаты труда электромонтера 5 разряда составляет:

$$27432 + 10972,8 + 5760,72 = 44165,52 \text{ руб.} \quad (54)$$

Годовой ФОТ составляет:

$$52753,78 \cdot 12 = 529986,24 \text{ руб.} \quad (55)$$

Годовые отчисления на социальные нужды составят:

$$529986,24 \cdot 0,3 = 158995,87 \text{ руб.} \quad (56)$$

Затраты на оплату труда одного электромонтера за год:

$$529986,24 + 158995,87 = 688982,12 \text{ руб.} \quad (57)$$

Для слесаря-механика затраты на оплату труда будут такие же, как и для электромонтера. 688982,12 руб.

Посчитаем расходы на оплату труда для инженера по автоматизации и наладке 2 категории.

Месячная тарифная ставка составляет: 35623 руб.

Премияльная оплата труда (40 %):

$$32220 \cdot 0,4 = 14249,2 \text{ руб.} \quad (58)$$

Уральский коэффициент (15 %):

$$(35623 + 14249,2) \cdot 0,15 = 7480,83 \text{ руб.} \quad (59)$$

Таким образом, итоговой месячный фонд оплаты труда инженера по автоматизации:

$$35623 + 14249,2 + 7480,83 = 57353,03 \text{ руб.} \quad (60)$$

Годовой ФОТ составляет:

$$51874,2 \cdot 12 = 688236,36 \text{ руб.} \quad (61)$$

Годовые отчисления на социальные нужды составят:

$$622490,4 \cdot 0,3 = 206470,91 \text{ руб.} \quad (62)$$

Затраты на оплату труда инженера по автоматизации за год:

$$622490,4 + 186747,12 = 894707,27 \text{ руб.} \quad (63)$$

Таким образом, расходы на оплату труда оператора-технолога и ремонтного персонала будут составлять:

$$818279,28 + 2 \cdot 688982,12 + 894707,27 = 3090950,79 \text{ руб.} \quad (64)$$

Текущие эксплуатационные расходы на заработную плату при новой технологии

При новой технологии, в отличие от классической, специальности электромонтера по ремонту и наладке оборудования и инженера по автоматизации заменяются новой широкопрофильной специальностью инженера по мехатронике и автоматизации 2 категории. График работы инженера-мехатроника будет 8-часовой 5-дневный. Такая кадровая перестановка обосновывается тем, что стан наружной сварки уже налажен и работает без серьезных перебоев и поломок. Таким образом, двух узкопрофильных специалистов можно заменить на одного широкопрофильного.

Посчитаем расходы на оплату труда для инженера по мехатронике и автоматизации 2 категории.

Месячная тарифная ставка составит: 34560 руб.

Премияльная оплата труда (40 %):

$$34560 \cdot 0,4 = 13824 \text{ руб.} \quad (65)$$

Уральский коэффициент (15 %):

$$(34560 + 13824) \cdot 0,15 = 7257,6 \text{ руб.} \quad (66)$$

Таким образом, итоговой месячный фонд оплаты труда инженера по мехатронике и автоматизации:

$$34560 + 13824 + 7257,6 = 55641,6 \text{ руб.} \quad (67)$$

Годовой ФОТ составляет:

$$55641,6 \cdot 12 = 667699,2 \text{ руб.} \quad (68)$$

Годовые отчисления на социальные нужды составят:

$$667699,2 \cdot 0,3 = 200309,76 \text{ руб.} \quad (69)$$

Затраты на оплату труда инженера по мехатронике и автоматизации за год:

$$667699,2 + 200309,76 = 868008,96 \text{ руб.} \quad (70)$$

Заработная плата оператора-технолога и слесаря-механика при новой технологии остается такой же как и при старой технологии и составляет соответственно 818279,28 руб. и 688982,12 руб.

Суммарные годовые затраты на заработную плату оператора-технолога, слесаря-механика и инженера по мехатронике и автоматизации при новой технологии будут составлять:

$$818279,28 + 688982,12 + 868008,96 = 2375270,36 \text{ руб.} \quad (71)$$

3.4 Сравнение экономических показателей новой и старой технологий

Таблица 4 – Текущие эксплуатационные расходы для ручной и автоматической сварки.

	Старая технология	Новая технология	Δ, руб.
Заработная плата	3090950,79	2375270,36	715680,43
Годовые затраты на материалы	6242,6	6242,6	0
Затраты на электроэнергию	31536	17082	14454
Амортизационные отчисления	55683,8	44608,2	11075,6
Суммарные затраты	3184413,19	2443203,16	741210,03

Как видно из таблицы, годовые эксплуатационные расходы после замены оборудования будут меньше на 741210,03руб.

3.5 Обоснование целесообразности осуществления мероприятий

Рассчитаем срок окупаемости (в годах) капитальных вложений на внедрении новой технологии сварки как отношение затрат на капитальные вложения (для 446082руб.) к среднегодовому приросту прибыли:

$$T_{\text{ок}} = \frac{KB}{\mathcal{E}_{\text{год}}} = \frac{446082}{741210,03} = 0,6 \text{ год} \quad (72)$$

где KB=446082руб.– затраты на капитальные вложения;

$\mathcal{E}_{\text{год}}=741210,03$ руб/год– годовая экономия после введения новой технологии;

Рассчитаем чистый дисконтированный доход:

$$\text{ЧДД} = \sum d \cdot a_t - k, \quad (73)$$

где k – капитальные затраты;

$\sum d$ – суммарные дисконтированные доходы (прибыль или экономия).

a_t – коэффициент дисконтирования:

$$a_t = \frac{1}{(1+i)^t}, \quad (74)$$

где i - норма дисконта (ставка дисконтирования);

t – номер шага расчета, или временного интервала реализации проекта (в данном случае $t = 1, 2, 3, 4, 5$).

Рассчитаем коэффициент дисконтирования:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1 = \frac{1}{(1+0,18)^1} = \frac{1}{1,18} = 0,85 \\ a_2 = \frac{1}{(1+0,18)^2} = \frac{1}{(1,18)^2} = 0,72 \\ a_3 = \frac{1}{(1+0,18)^3} = \frac{1}{(1,18)^3} = 0,6 \\ a_4 = \frac{1}{(1+0,18)^4} = \frac{1}{(1,18)^4} = 0,52 \\ a_5 = \frac{1}{(1+0,18)^5} = \frac{1}{(1,18)^5} = 0,44 \end{array} \right. \quad (75)$$

Чистый дисконтированный доход за расчетный период:

$$\text{ЧДД} = \left(\begin{array}{l} 741210,03 \cdot 0,85 + 741210,03 \cdot 0,72 + \\ 741210,03 \cdot 0,6 + 741210,03 \cdot 0,52 + 741210,03 \cdot 0,44 \end{array} \right) - 446082 = 1873905,39 \text{ руб.} \quad (76)$$

Индекс доходности рассчитывается путем деления суммарного дисконтированного дохода (прибыли или экономии) на объем капитальных вложений.

$$\text{ИД} = \frac{\sum d \cdot a_t}{k} \quad (77)$$

Рассчитаем индекс доходности:

$$\text{ИД} = \frac{1873905,39}{446082} = 4,2 \quad (78)$$

3.6 Сводная таблица технико-экономических показателей

Приведем сводную таблицу технико-экономических показателей.

Таблица 5 – сводная таблица технико-экономических показателей.

Вид затрат	Итог
Капитальные вложения(Руб.)	446082
Количество работников(Чел.)	3
Затраты на заработную плату(Руб.)	2375270,36
Затраты на сырье и материалы(Руб.)	6242.6
Затраты на электроэнергию(Руб.)	17082
Амортизационные отчисления(Руб.)	44608,2
Срок окупаемости	7 месяцев
Чистый дисконтированный доход	1873905,39
Индекс доходности	4,2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлен анализ технологического процесса трубоэлектросварочного цеха. Произведена разработка мехатронной системы подачи сварочной проволоки. Были произведены расчеты, связанные с выбором электропривода, построена нагрузочная диаграмма. На основе расчетов выбрано наиболее подходящее оборудование, в частности мотор-редуктор. Разработана система защиты привода, и защитного оборудования.

По части автоматизации рассмотрена архитектурная схема автоматизации стана наружной сварки, в частности управления приводами. Так как привод должен иметь обратную связь, то были выбраны необходимые контроллеры и датчики технологических координат. В качестве датчика обратной связи был выбран резольвер. Произведена разработка структурной схемы системы автоматизированного регулирования.

Была построена модель привода в программной среде MATLAB R2014b, SIMULINK. На основе построенной модели были получены графики, изображающие переходные процессы привода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фотиев, М.М. Электрооборудование прокатных и трубных цехов: Учебное пособие для вузов / Фотиев, М.М – М.: Metallurgy, 1995. – 256с.
2. Каталог синхронных двигателей с постоянными магнитами Stober ED/EK – http://us.stober.com/catalogs_tools/ (дата обращения 15.05.2017).
3. Поляков, В.Н. Системы управления электроприводами: методические указания к курсовому проектированию / В.Н. Поляков, Е.Г. Казаков. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. – 36 с.
4. Фомин, Н.В. Системы управления электроприводами: Учебное пособие / Фомин Н.В. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. - 350с.
5. Герасимов, В.Г. Электротехнический справочник. Том 4. 9-е издание / М.: МЭИ, 2004 – 435.
6. Гусев, Н.В. Автоматизация технологических комплексов и систем в промышленности: учебное пособие / Н.В. Гусев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 198 с.
7. Дементьев, Ю. Н. Электрический привод: учебное пособие / Ю.Н. Дементьев, А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 232 с.
8. Кочетков, В.П. Основы теория управления / В.П. Кочетков. – Ростов н/Д.: Феникс, 2012. – 81с.
9. Удут, Л.С. Проектирование автоматизированных электроприводов постоянного тока: учебное пособие по курсовому проектированию / Л.С. Удут, О.П. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152с.
10. Ковчин, С. А. Теория электропривода: Учебник для вузов / Ковчин, С. А., Сабинин Ю. А. - Л.: Энергоиздат, 1994. – 496с.

11. Усольцев, А.А. Электрический привод: Учебное пособие / А.А. Усольцев – СПб: НИУ ИТМО, 2012, – 238 с.
12. Математическое описание двигателя с постоянными магнитами – векторное-управление.рф/matematicheskoe-opisanie-sinxronnogo-dvigatelya-s-postoyannymi-magnitami.html (дата обращения 01.05.2017).
13. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 2,4. Герасимов В. Г. М: Издательство МЭИ, 2001.
14. Синхронный двигатель с постоянными магнитами – <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/pmsm/> (дата обращения 29.04.2017).
15. Ключев В.И. Теория электропривода: для вузов. – 2-е изд. перераб. И доп. – М.: Энергоавтомиздат, 2001. – 704с.
16. Терёхин, В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терёхин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 320 с.
17. Векторное управление электродвигателем «на пальцах» – https://geektimes.ru/company/npf_vektor/blog/269486/ (дата обращения 01.05.2017).