МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта	Кафедра Технологии и оборудование машиностроения

Направление подготовки — 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Магистерская программа — Металлообрабатывающие станки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему

Устройство для сварки опор заграждений

ПГУ 15.04.05.10.00.00 ПЗ
(обозначение ВКР)

Студент гр. 20ММм1	14.06.2022	Федюков Э.И.
	(подпись, дата)	(фамилия, инициалы)
Научный руководитель	14.06.22	Шаралапов А.Е.
	(подпись, дата)	(фамилия, инициалы)
Нормоконтролер		Липов А.В.
	(подпись, дата)	(фамилия, инициалы)
Рецензент к.т.н., ведущий конструктор ООО КБ «ПУЛЬСАР-ТЕЛЕКОМ»;		Белашов М.В.
(должность, место работы)	(подпись, дата)	(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от_____№___)

Заведующий кафедрой _____ Зверовщиков А.Е.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Работа защищена с оценкой отлично

(протокол заседания ГЭК от 24.06.2022 №10)

Секретарь ГЭК _____ Истомина Ю.В.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Пенза 2022

«Утверждаю»

_____

Заведующий кафедрой «ТОМ» А.Е. Зверовщиков

«_____»_____2022 г.

ЗАДАНИЕ

на магистерскую диссертацию

1. Студент гр. 20ММм1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта, направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Федюков Эдуард Иванович

2. Научный руководитель магистерской диссертации к.т.н., доцент Шаралапов А.Е.

3. Время проектирования с 1 мая 2022 г. по 20 июня 2022 г.

4. Место преддипломной практики ЗАО «ЦеСИС НИКИРЭТ», г. Пенза

5. Тема магистерской диссертации

Устройство для сварки опор заграждений

Тема утверждена приказом ПГУ № 817/о от 16.11.2020 г.

6. Техническое задание (цель проектирования, объект проектирования, его технические характеристики и т.п.)

Разработать конструкцию устройства для сварки опор заграждений

Устройство для сварки опор заграждений предназначено для приварки фланца к стойке заграждения. Профиль трубы заграждения 82х80 мм. Фланец квадратный 200х200 мм. С применением полуавтоматической сварки. Диаметр сварочной проволоки 1.2 мм. Система управления на базе Arduino.

7. Объем и содержание основной части работы

7.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчеты, обоснования, описания)

Обзор существующих устройств для сварки туб. Технологически процесс сварки. Расчет режимов сварки. Методы контроля сварных соединений. Проектировочные расчеты устройства. Проектирование автоматизированной системы управления.

7.2. Графическая часть (перечень и содержание чертежей, плакатов)

1. Цель работы, объект исследования. Плакат-1л. (А1).

2. Трехмерная модель изделия «Опора заграждения». Плакат-1л. (А1).

3. Чертежи заготовок «Профиль 82х80х2»; «Фланец»-1л. (А1).

4. Обзор существующих устройств для сварки. Плакат-2л. (А1).

5. Трехмерная модель разработанного устройства для сварки опор заграждений. Пл
4л. (А1).

6. Результаты расчетов. Плакат-3л. (А1).

7. Система управления устройством на базе Arduino. Плакат-1л. (А1).

8. Особые требования по выполнению разделов:

нет

9. Календарный график выполнения магистерской диссертации

Наименование этапов работы	Объем работы, %	Срок выполнения	Подпис руководит
1. Оформление пояснительной записки	85	до 16.06.2022 г.	
2. Оформление презентации	15	до 20.06.2022 г.	

Дата выдачи задания 10 июня 2022 г. Задание к исполнению принял

Руководитель работы 10 июня 202

Магистерскую диссертацию к защите допустить

Декан факультета промышленных технологий,
электроэнергетики и транспорта С.Ю. Ки

ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой
аттестации допустить

«____» _____ 202

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация «Устройство для сварки опор заграждений» содержит 67 страниц формата А4, 34 рисунка, 11 таблиц, использовано 8 источников литературы.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА, ЗАГРАЖДЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ, ОПОРЫ ЗАГРАЖДЕНИЙ.

Объектом проектирования является устройство для сварки опор заграждений.

Цель магистерской работы: разработать специализированное устройство для сварки опор заграждений, выдерживая размеры согласно конструкторской документации, а также максимально автоматизировать процесс сварки опор заграждений.

Публикации. По теме магистерской диссертации опубликована 1 научная статья в сборнике входящих в РИНЦ :

Устройство для сварки опор заграждений /А. Е. Шаралапов, Э.И. Федюков // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте : Сборник статей VIII Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием, Пенза, 17–18 марта 2022 года / Под научной редакцией В.В. Салмина. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 263-266. – EDN HYLSCM.

Содержание

Аннотация 5
Введени..... 6
1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СВАРКИ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ 8
1.1 Сварка – понятие процесса 8
1.2 Виды и классификация сварки 8
1.2.1 Ручная дуговая сварка 8
1.2.2 Сварка в защитных газах..... 9
1.2.3 Сварочные автоматы 10
1.3 Промышленные устройства для сварки профильных труб 11
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СВАРКИ 17
2.1 Расчет режимов сварки..... 17
2.2 Контроль качества сварных соединений 20
2.2.1 Методы контроля сварных соединений..... 20
3 ПРОЕКТИРОВОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СВАРКИ ОПОР ЗАГРАЖДЕНИЙ 25
3.1 Выбор конфигурации устройства и принцип работы устройства 25
3.2 Расчет махового колеса 31
3.3 Расчет электродвигателя 32
3.4 Привод и его электромеханическая модель на основе обобщенной теории электрических машин 36
3.4.1 Расчётная динамическая модель электропривода устройства для сварки 46
3.5 Расчет станины устройства для сварки опор заграждений..... 52
4 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ 57
4.1 Система управления устройством для сварки опор заграждений 59
ЗАКЛЮЧНИЕ..... 63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 64
Приложение А 65
Приложение Б..... 66
Приложение В..... 67

Аннотация

Тема магистерской диссертации «Устройство для сварки опор заграждений». Современным перспективным направлением машиностроения является разработка и создание автоматических устройств. Основной сложностью является автоматизирование технологических процессов, которые прочно закрепились за ручным трудом, таких как выполнение сварных соединений за минимальное количество технологических операций.

Значимость проведенных исследований заключается в том, что они позволяют облегчить разработку автоматического устройства для сварки, что подтверждено собранным устройством для сварки.

В первой главе был проведен обзор существующих видов сварочного оборудования и установок. Рассмотрено оборудование для сварки металла, их преимущества и недостатки. Выделены ключевые преимущества полуавтоматической сварки.

Во второй главе детально рассмотрен технологический процесс сварки. Приведено описание выбранного оборудования, расчеты режимов сварки и методы контроля сварных соединений.

В третьей главе разработана конструкция установки для сварки. Проведен расчет махового колеса, расчет электродвигателя и расчет станины устройства.

В четвертой главе приводится описание системы управления устройством. Разработан алгоритм работы устройства.

Введение

ЗАО «ЦеСИС НИКИРЭТ» считается одним из передовых предприятий Российской Федерации в направлении создания специализированных комплексов по защите и охране специальных объектов.

При разработке проектов ЗАО «ЦеСИС НИКИРЭТ» пользуется всесторонним подходом, так как предприятие охватывает весь спектр работ по оснащению объектов, а так же анализирует и просчитывает все возможные угрозы и на основе результатов предоставляет готовое решение, приводит экономическое обоснование, производит монтажные и пусконаладочные работы. Персонал заказчика проходит обучение работниками предприятия ЗАО «ЦеСИС НИКИРЭТ». Предприятие дает гарантийные обязательства. Осуществляет как гарантийное, так и пост гарантийное обслуживание.

Для производства крупносерийных и массовых изделий характерно применение автоматизированных и автоматических производственных линий. При этом данное оборудование должно иметь гибкую настройку, чтобы охватить широкий перечень номенклатуры предприятия.

Для решения данной проблемы был проведен анализ существующих технологий как оборудования для крупносерийного и массового производства в целом, так и непосредственно способы сварки. Современное оборудование, включающее системы с программным управлением удобно при частой смене исполнений продукта, а надежность механических систем обеспечивает долговечность конструкции и бесперебойность работы.

Предприятием ЗАО «ЦеСИС НИКИРЭТ» проводятся опытно-конструкторские работы по созданию автоматического устройства для сварки опор заграждений. В данной диссертации осуществляется разработка устройства для сварки, проведения испытаний данной технологии и отработки алгоритмов и режимов работы устройства, что является одним из этапов ОКР.

Актуальность: Предприятие охватывает весь спектр работ, связанный с обеспечением безопасности периметра, в том числе физическое ограждение периметра сетчатыми заграждениями, несущими элементами которых являются тонкостенные профильные опоры.

В связи с этим, для предприятия является актуальной проблема создания оборудования для автоматической сварки опор заграждений состоящих из профильных труб, в том числе из профиля 82х80 с толщиной стенки 2 мм и фланца толщиной 8 мм.

Цель разработки: Проектирование устройства для сварки опор заграждений, снижение трудоемкости.

Научная новизна: Произведен расчет режимов сварки, расчет параметров приводящего механизма. Проведен статический анализ станины устройства в SolidWorks Simulation, позволяющий определить устойчивость к нагрузке.

Практическая ценность: Разработана конструкция устройства для сварки опор заграждений, проведенная работа позволяет снизить квалификацию рабочего, при этом, не снижая качества выпускаемых изделий. Минимизировано возникновение дефектов.

1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СВАРКИ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ

1.1 Сварка – понятие процесса

Сварка – это неразъемное соединение, получаемое при установлении межатомной связи между свариваемыми деталями при общем или местном нагреве, пластической деформации, а также при действии того и другого.

Сварное соединение – это неразъёмное соединение, произведенное при помощи сварки. В основном сваркой соединяются детали из металлов, пластмасс и их сочетаний.

При использовании сварки применяются различные виды энергии, такие как электрический ток, трение ультразвук, излучение лазера, пламя газа. Стремительно развивающиеся технологии позволяют использовать сварку не только на промышленных предприятиях, но и за его пределами, в полевых условиях, под водой и в космосе.

Сварочные процессы сопровождаются опасностями, такими как возгорание, поражение током, отравлением различными газами, поражением зрительных органов, поражением дыхательных органов и брызгами раскаленного металла.

1.2 Виды и классификация сварки

1.2.1 Ручная дуговая сварка

В ручной дуговой сварке как источником энергии является электрическая дуга.

Широко распространена как в бытовых условиях, так и в промышленных, применяется при сварке углеродистых сталей, низколегированных, легированных, жаропрочных, жаростойки сталей, а также чугуна и цветных металлов.

В ручной дуговой сварке зажигание дуги происходит при касании электродом свариваемого металла, при касании металла электродом

происходит замыкание, в результате чего электрод нагревается до высоких температур и загорается сварочная дуга, горение дуги поддерживается весь период сварки, до замены электрода или окончания сварки.

Ручная дуговая сварка делится на два основных вида:

- Сварка на переменном или постоянном токе;
- сварку однофазной и трёхфазной дугой.

Рисунок 1 - Ручная дуговая сварка

1.2.2 Сварка в защитных газах

Сварка в защитных газах представляет собой разновидность дуговой сварки. В процессе сварки сварочная проволока подается автоматически в горелку и одновременно с этим происходит обдув сварочной ванны защитным газом.

Используемы защитный газ полностью защищает сварочную ванну от воздействия воздуха, который негативно воздействует на процесс сварки вплоть до полной остановки сварочного процесса.

Полуавтоматическая сварка является достаточно простым оборудованием. Обладает не большим количеством настроек параметров сварки. Имеет простой роликовый механизм подачи проволоки в зону сварки. При несоблюдении режимов сварки может быть вызвана масса проблем, например, такие как: прожоги, оплавление наконечника и прочие дефекты.

Рисунок 2 - Механизированная сварка

1.2.3 Сварочные автоматы

Существует несколько основных видов:

− Электродуговая автоматическая сварка – процесс сварки производится закрытой или открытой дугой. Она может иметь одну или несколько дуг, один или несколько электродов. Во время сварки открытой дугой, расплавляемый металл защищает шлак и газ, который выделяется во время плавления обмазки электрода, который в свою очередь защищаете от кислорода и азота, содержащегося в воздух.

− Газоэлектрическая автоматическая сварка является одной из разновидностей электросварки, горение дуга при такой сварке происходит в атмосфере газов, таких как углекислый газ, водород, гелий или аргон.

− Автоматическая электрошлаковая сварка — относительно новый способ сварки в отсутствии дуги, принцип основывается на нагреве расплавленного шлака, через который в свою очередь проходит

электрический ток. Для данного вида сварки необходимо использование ванны с шлаком глубиной 10-50мм. Для данной сварки не является обязательная обработка кромок. Наиболее подходящими является сварка с зазором 25-40 мм и в вертикальном положении. За один проход можно сварить металл практически неограниченной толщины.

Рисунок 3 – Сварочный автомат

1.3 Промышленные устройства для сварки профильных труб

1) Установка УСН 15-100/80-150А GMAW.

Установка для автоматической сварки наружных кольцевых швов приварки фланцев, патрубков к корпусу трубопроводной арматуры и внутренних кольцевых швов сварки стаканов и седел в корпус УСН 15-100/80-150А (п,ф-к/ст) GMAW.

Установка предназначена для автоматической сварки наружных кольцевых (стыковых, угловых, тавровых, нахлесточных) швов приварки патрубков и фланцев к корпусу трубопроводной арматуры и внутренних кольцевых швов в варки стаканов и седел в корпус трубопроводной

арматуры.

Установка может быть использована для сварки произвольных изделий, параметры которых не превышают технические характеристики установки.

Способ сварки – автоматический плавящимся электродом в смеси защитных газов на основе аргона с подачей в зону дуги токоведущей проволоки, сплошной или порошковой, одной горелкой.

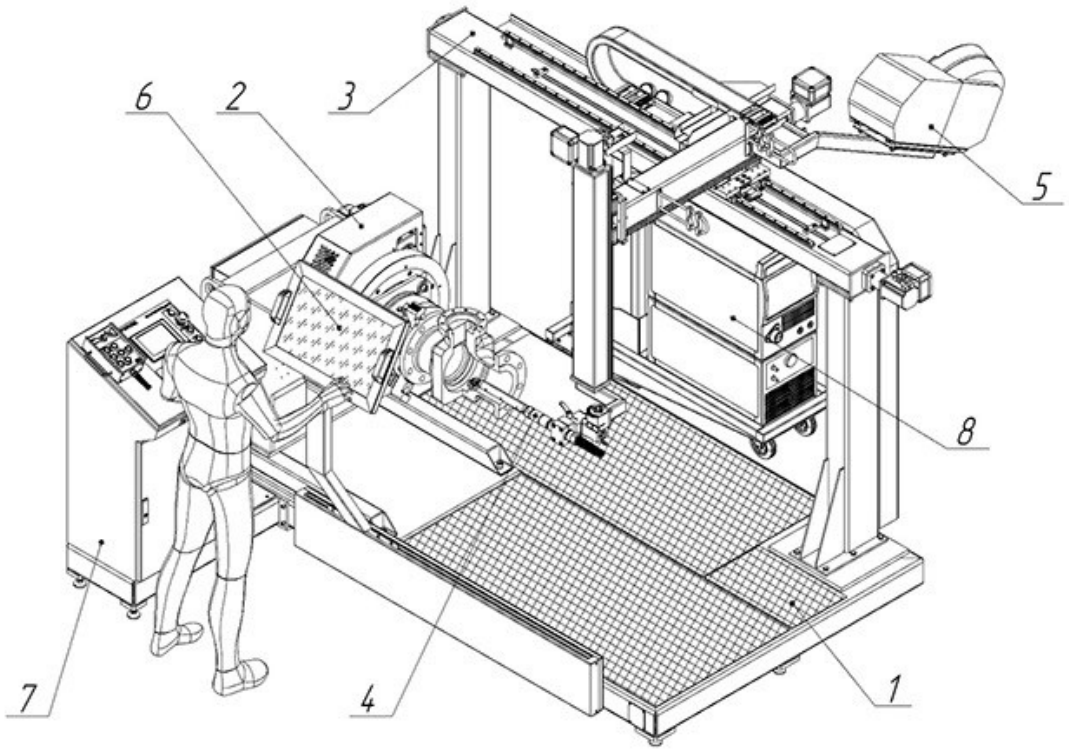


Рисунок 4 – Общий вид установки

Состав:

1. Рама-основание.
2. Вращатель с токарным патроном.
3. Система позиционирования.
4. Сварочная горелка.
5. Механизм подачи проволоки.
6. Защитный экран.

7. Шкаф-пульт управления.

8. Инверторный сварочный аппарат.

Таблица 1 – Технические характеристики

– Диапазон условных проходов трубопроводной арматуры, на которой будут свариваться наружные швы, мм		15-100
– Диапазон условных проходов трубопроводной арматуры, на которой будут свариваться внутренние швы, мм		80-150
– Диапазон условных проходов трубопроводной арматуры, на которой будут свариваться внутренние швы, мм		200
– Строительная длина свариваемых изделий, мм		90…500
– Наибольший радиус описываемой окружности при вращении свариваемых изделий вокруг оси магистрального прохода, мм		550
– Диапазон диаметров свариваемых наружных кольцевых швов, мм		30-120
– Диапазон диаметров свариваемых внутренних кольцевых швов, мм		80-150
– Расстояние от торца магистрального патрубка или фланца до внутреннего сварного шва, не более, мм		300
– Частота вращения шпинделя вращателя, об/мин		0,1-6,3
– Крутящий момент на шпинделе вращателя, создаваемый приводом вращения, Н×м, не менее		600
– Диаметр электродной проволоки, мм		1,1;1,2
– Диапазон регулирования сварочного тока, А		5-350
–Продолжительность включения при температуре окружающей среды 40°С		300А/60%; 270А/100%
–cos φ		0,99
– КПД, %		88
– Напряжение холостого хода, В		80
–Ёмкость бака блока охлаждения, л.		4,5
– Ток питающей сети:		
	напряжение, В	380
	частота, Гц	50
– Потребляемая мощность, кВт		Не более 30

2) Система автоматической сварки E Z Arc.

Система E.Z.Arc представляет собой комбинацию широкого диапазона позиционеров и роликоопор с различными компонентами для автоматизации сварки тел вращения.

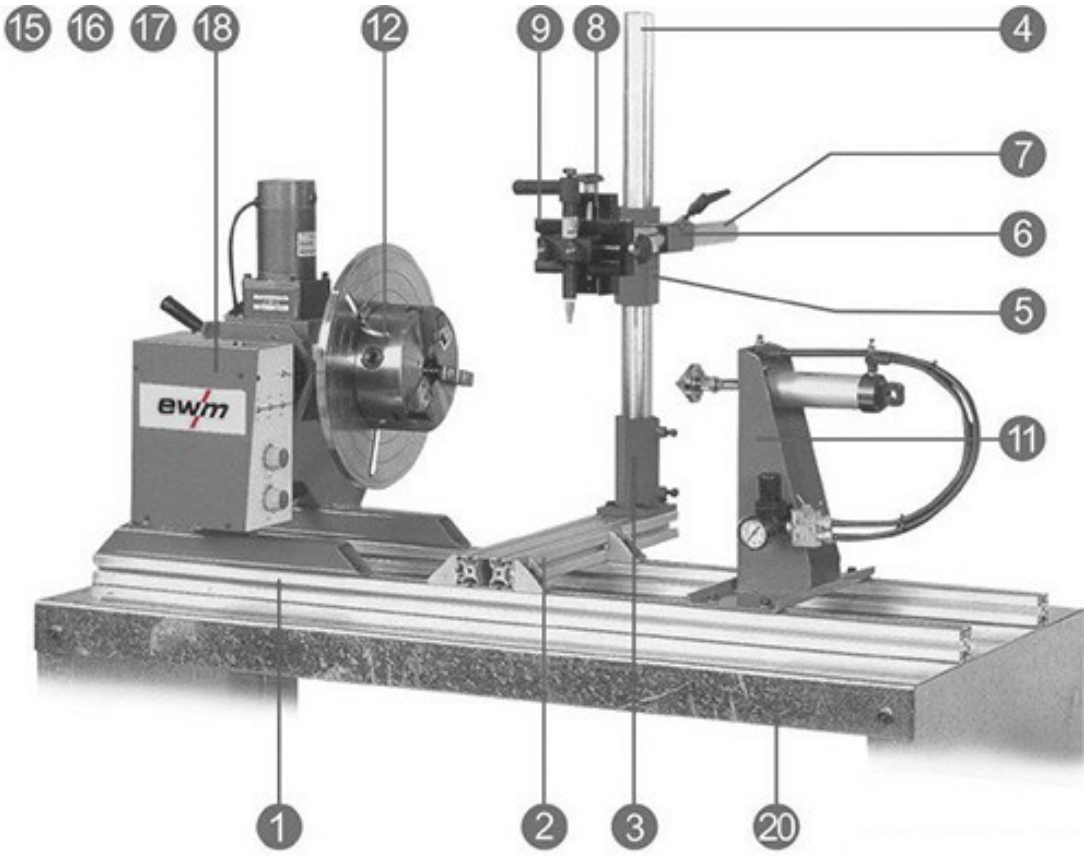


Рисунок 5 – Общий вид установки

1. Направляющая (600 мм, 1200 мм, 1500 мм, 1800 мм).
2. Монтажная рейка (500 мм, 650 мм).
3. Кронштейн основания.
4. Стойка.
5. Вертикальный кронштейн.
6. Крестовой кронштейн.
7. Горизонтальная балка.
8. Слайд.
9. Держатель горелки.

10. Опорные ролики.

11. Пневматическая задняя бабка.

12. Самоцентрирующийся зажим.

13. Пневматическая консоль для позиционирования горелки.

14. Блок управления.

15. Верстак.

16. Пневматическая задняя бабка с поддувом защитного газа.

3)Автомат для приварки фланцев АПФ-4Г.

Специальный автомат используется для приварки фланцев внутри и снаружи трубы всего за один проход сварочной горелки.

На установке установлено одновременно 4 сварочных горелки, работают они синхронно с обеих сторон трубы. Соответственно и время обработки одного изделия значительно сокращается, при этом качество остается на том же высоком уровне.

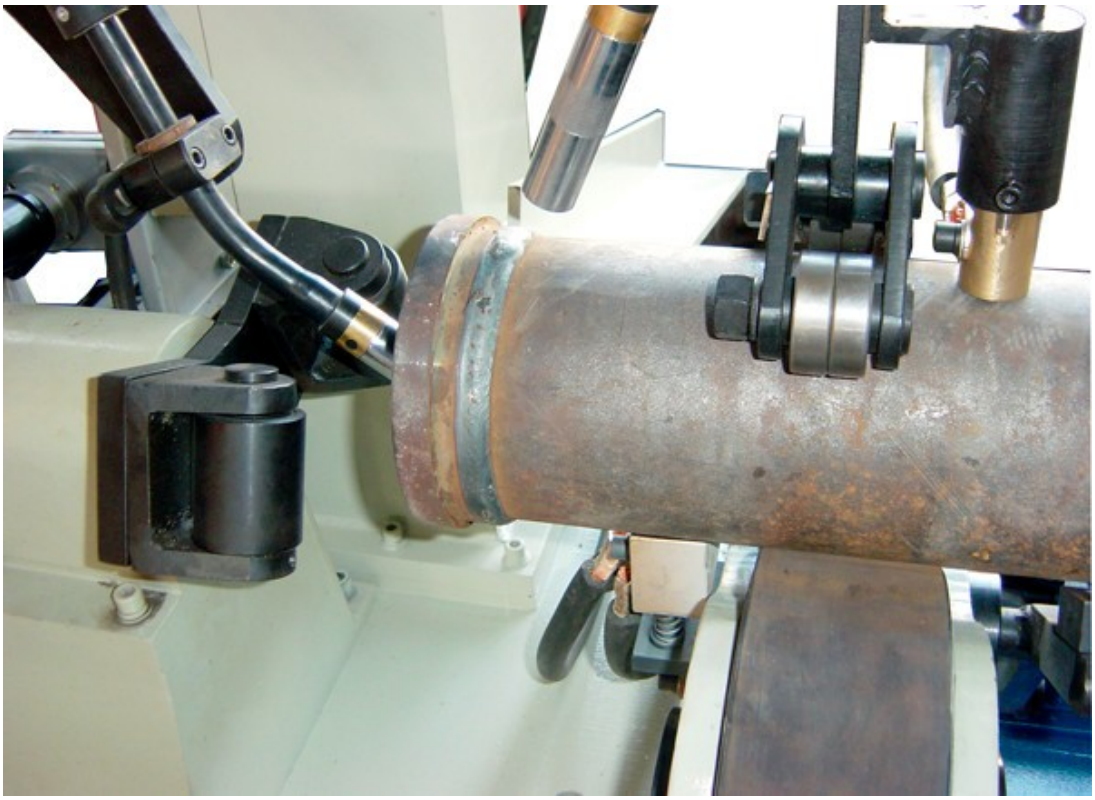


Рисунок 6 – Расположение горелок

На рисунке 6 показано как установлены сварочные горелки. Фиксация трубы производится при помощи роликов выполняющих функцию прижима.

Контроль сварочного процесса производится оператор. Рабочее место оператора снабжено ЖК-дисплеем и панелью управления.

В процессе сварки сварочные горелки установлены неподвижно. Имеется регулировка горелок по вертикали и горизонтали, а так же при необходимости можно изменить угол наклона горелок.

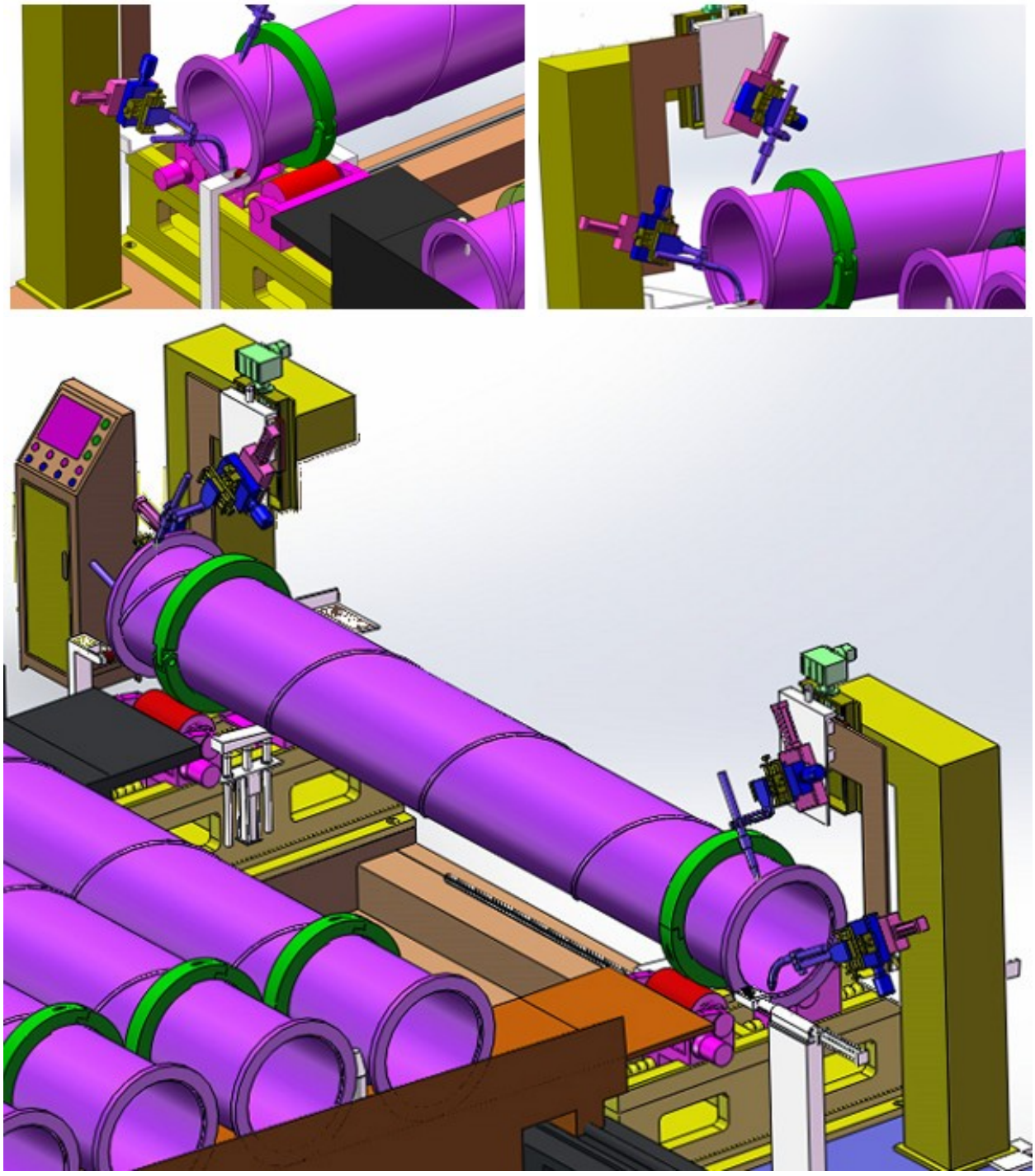


Рисунок 7 – Процесс сварки изделия

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СВАРКИ

2.1 Расчет режимов сварки

Детали изготовлены из материала Ст3.

Сталь – это сплав железа с углеродом. Ст3 – является конструкционной углеродистой сталью обыкновенного качества. Имеет широкое применение в промышленном производстве. Одна из самых распространенных марок металла. Из этой стали производится листовой материал, профильные трубы, круглые трубы, двутавры.

Химический состав Ст3 и ее свойства.

Химический состав в % стали Ст3сп	
C	0,14 - 0,22
Si	0,15 - 0,3
Mn	0,4 - 0,65
Ni	до 0,3
S	до 0,05
P	до 0,04
Cr	до 0,3
N	до 0,008
Cu	до 0,3
As	до 0,08
Fe	~97

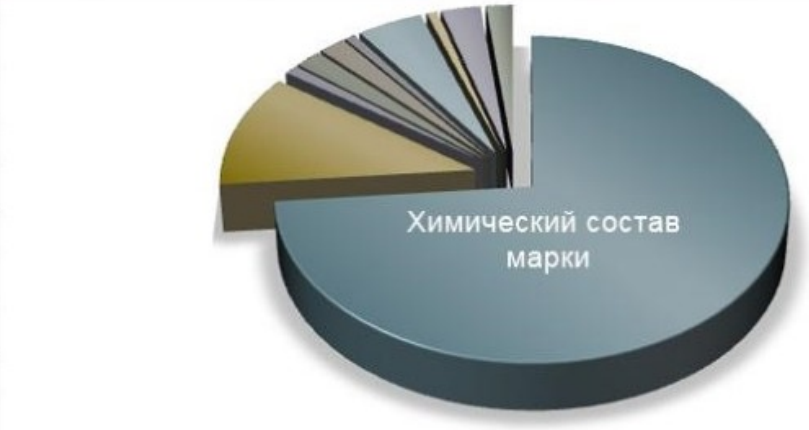


Рисунок 8 – Химический состав

Таблица 2 – Физические свойства металла

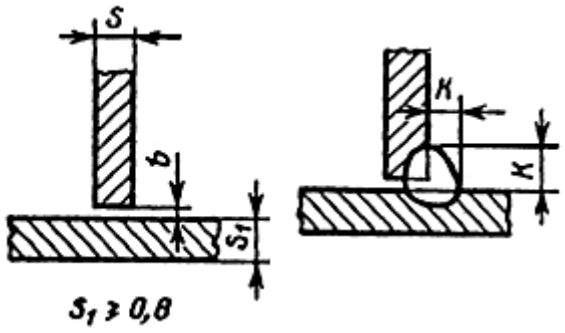
Предел текучести	Временное сопротивление разрыву	Относительное удлинение	Ударная вязкость при температуре:		Твёрдость НВ 10-1
			20 0С составляет	20 0С равняется	
205-255 МПа	370-490 МПа	22-26 %	108 Дж/см2	49 Дж/см2	131 МПа

Таблица 3 – Механические свойства металла

Марка стали	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение δ_5, %
Ст3кп	360-460	235	27
Ст3пс	370-480	245	26
Ст3сп	380-490	245	26
Ст3Гпс	370-490	245	26
Ст3Гсп	390-570	245	24

Произведем расчёт режимов сварки в среде защитных газов СО2. Сварное соединение Т1 по ГОСТ 14771-76.

Таблица 4 – Технические характеристики сварочного шва

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	s	b	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения			Номин.	Пред. откл.
Т1			ИНп, ИП, УП	0,8 - 3,0	0	+0,5

1) Необходимо определить величину сварочного тока, по формуле:

$$I_{\text{св}} = \frac{\pi \cdot d_э^2 \cdot \text{a}}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}2 \cdot 110}{4} = 115 \text{ А.}$$

где а – плотность тока в электродной проволоке, А/мм^2 (При сварке в CO_2 а=110…130 А/мм^2;);

$d_э$ – диаметр электродной проволоки, мм.

Принимаем $I_{св}$ = 110…120 А.

2) Напряжение дуги:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{\text{э}}^{0.5}} \cdot I_{\text{св}} \pm 1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1.2^{0.5}} \cdot 115 \pm 1 = 25.2 \text{ В}.$$

Принимаем $U_{\text{д}} = 25$ В.

3) Определим скорость сварки по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{(2 \dots 5) \cdot 10^3}{I_{\text{св}}} = \frac{(2 \dots 5) \cdot 10^3}{115} = 18 \dots 44 \text{ м/ч}.$$

Скорость сварки входит в предел скоростей 18…44 м/ч для полуавтоматической сварки.

Принимаем $V_{\text{св}} = 22$ м/ч, (0,6 см/с).

4) Расчёт погонной энергии принимая значения эффективного к.п.д. нагрева изделия сварочной дугой при сварке в CO_2 $\eta_{и=}0{,}80$.

$$q_n = \frac{0.24 \cdot I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{и}}}{0{,}6} = \frac{0{,}24 \cdot 115 \cdot 25 \cdot 0{,}8}{0{,}6} = 920 \text{ кал/см}.$$

5) Определяем коэффициент формы провара по формуле:

$$\psi_{\text{пр}} = k \cdot (19 - 0.01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{э}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}},$$

где k – коэффициент, зависящий от рода и полярности тока, $k = 0{,}79$;

$$\psi_{\text{пр}} = 0{,}79 \cdot (19 - 0.01 \cdot 115) \cdot \frac{1{,}2 \cdot 25}{115} = 0{,}79 \cdot 17{,}85 \cdot 0{,}261 = 3{,}68.$$

6) Глубина провара при сварке в защитном газе:

$$H = 0.0165 \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\psi_{\text{пр}}}} = 0{,}0165 \sqrt{\frac{920}{3{,}68}} = 0{,}0165 \cdot 15{,}82 = 0{,}261\text{см} = 2\text{мм}.$$

7) Ширина шва e (мм) определяется по формуле:

$$e = \psi_{\text{пр}} \cdot H = 3{,}68 \cdot 2 = 7{,}36 \text{ мм}.$$

8) Вылет электрода при сварке в смеси CO_2 в пределах 10-20 мм.

9) Коэффициент наплавки $\alpha_{\text{н}}$:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} - (1 - \psi) = 9{,}55 - (1 - 3{,}68) = 12{,}23.$$

$$\alpha_{\text{р}} = 9{,}05 + 3{,}1 \cdot 10^{-4}\sqrt{I_{\text{св}}} \cdot \frac{I}{d_{\text{эл}}^2} = 9{,}5 + 3{,}1 \cdot 10^{-4}\sqrt{115} \cdot \frac{15}{1{,}2^2}$$

$$= 9{,}5 + 3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 10{,}73 \cdot 10{,}42 = 9{,}55.$$

10) Определим скорость подачи электродной проволоки:

$$V_{\text{пэ}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2 \cdot \gamma},$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки;

γ– удельный вес металла для стали γ=7,8 г/см^3.

$$V_{\text{пэ}} = \frac{4 \cdot 12{,}23 \cdot 115}{3{,}14 \cdot 1{,}44 \cdot 7{,}8} = \frac{5625{,}8}{35{,}27} = 159{,}51 \text{ м/ч}.$$

11) $F_{\text{н}}$ – площадь металла, наплавленного за данный проход (см^2);

$$F_{\text{н}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{св}}} = \frac{12{,}23 \cdot 115}{3600 \cdot 7{,}8 \cdot 0{,}6} = \frac{1406{,}45}{16848} = 0{,}08 \text{ см}^2 = 8 \text{ мм}^2.$$

Определяем высоту валика. $\mu_{\text{В}}$=0,73.

12) Высота валика (мм):

$$g = \frac{F_{\text{н}}}{0{,}73 \cdot e} = \frac{9}{0{,}73 \cdot 7{,}36} = \frac{9}{5{,}373} = 1.676 \text{ мм}.$$

13) Общую высота шва (мм):

$$C = H + g = 2 + 1{,}676 = 3{,}676 \text{ мм}.$$

14) Коэффициент формы усиления:

$$\psi_{\text{в}} = \frac{e}{g} = \frac{7{,}36}{1{,}676} = 4{,}4.$$

2.2 Контроль качества сварных соединений

2.2.1 Методы контроля сварных соединений

Основной задачей технического контроля является выявление недопустимых дефектов сварных швов и указания метода их исправления, а также проведения профилактических мероприятий предупреждающих возникновение дефектов.

Методы контроля.

Контроль производят на всех стадиях сварочного производства.

- Внешний осмотр и обмеры швов.
- Контроль плотности сварных швов.
- Рентгенографический контроль.
- Ультразвуковой контроль.
- Люминесцентный контроль.
- Металлографический контроль.
- Контроль коррозионной стойкости.
- Химический анализ основного, наплавленного и электродного металла.

Исходя из конструктивных особенностей опоры заграждения применяется для контроля сварочных швов следующие методы контроля:

Таблица 5 – Методы контроля сварных швов.

Метод контроля, вид испытаний	Нормативная документация на контроль	Нормативная документация для оценки качества	Объем контроля
ВИК	ГОСТ 3242-79, РД 03-606-03	ГОСТ Р 52630-2012	100%
Измерительный	ГОСТ 3242-79, РД 03-606-03		100%
РК	ГОСТ 14782-86		100%
УЗК	ГОСТ 14782-86		100%
Гидравлический	ГОСТ 22101-76		2 обр.

Пневматический	ГОСТ 22101-76		2 обр.
На статический изгиб	ГОСТ 6996-66, ОСТ 26-11-08-86		2 обр.
На ударный изгиб	ГОСТ 6996-66, ОСТ 26-11-08-86		3 обр.

Визуально измерительный контроль необходим для проверки подготовительных и сборочных операций, визуально осматривается сварное соединение в процессе сварки и по результатам сварки.

Визуально измерительный контроль позволяет своевременно обнаружить дефекты и предотвратить их появление.

Контроль радиографическим методом сварочных швов и соединений используется для выявления дефектов нефтяных и газовых трубопроводов, металлоконструкциях, различного оборудования в различных промышленных отраслях. Данный вид контроля проводится в случаях, когда дефекты могут быть скрыты или дефект обнаружен на поверхности и необходимо определить насколько глубокий он. В сварочном производстве встречаются такие дефекты как: шлаковые включения, непровары, газовые поры, подрезы, несплавления, трещины.

Основными преимуществами данного метода являются:

- быстрота в выявлении дефектов сварочных швов и соединений;
- точное определение места дефекта;
- позволяет без механического воздействия на металл определить параметры шва.

При радиографическом контроле не выявляют:

- несплошности и включения с размером менее удвоенной чувствительности контроля;

- непровары и трещины, плоскость которых не совпадает с направлением просвечивания и величина раскрытия менее значений;
- несплошности и включения, если их изображения на снимках совпадают с изображениями посторонних деталей, острых углов или резких перепадов трещин просвечиваемого металла.

Данный метод позволяет наиболее точно определить характер, местоположение, вид дефекта, собирать данные и анализировать их.

При механических испытаниях определяется прочность сварных соединений при статических (растягивающих или сжимающих) и динамических (ударных или вибрационных) нагрузках.

Когда испытывают целиком всю сварную конструкцию, то ее нагружают усилиями, приложенными так же, как и расчетные нагрузки. При этом действующие усилия постепенно повышают до величин, заданных техническими условиями контроля.

Если выявляются недопустимые деформации (например, прогибы) отдельных элементов или разрушение швов, то конструкцию бракуют.

Испытательные усилия создают при помощи различных грузов, гидравлического давления или специальных машин. Контроль прочности сварных образцов, вырезанных из изделия или из заготовок, сваренных в тех же условиях, что и испытуемое изделие, производится согласно ГОСТ.

Ультразвукавой контроль сварных соединений относится к видам неразрушающего контроля.

В соответствии с ГОСТ 14782-86 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые» данный метод позволяет производить диагностику сварных соединений, на предмет дефектов, документировать участки с повышенным количеством дефектов, определенных типов и размеров. Для различных типов сварных соединений существуют свои методики контроля.

При использовании данного вида контроля сварных соединений применяются эхо-импульсный, теневой или эхо-теневой методы УЗК.

Сканирование выполняется продольным и поперечным перемещением излучателя. Способ ультразвукового контроля сварного соединения устанавливается в технической документации.

3 ПРОЕКТИРОВОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СВАРКИ ОПОР ЗАГРАЖДЕНИЙ

3.1 Выбор конфигурации устройства и принцип работы устройства

Устройство предназначено для автоматической сварки опор заграждений.

Функционально устройство можно разделить на несколько частей:

- шкаф управления;
- приводной двигатель и передаточный механизм;
- четырехкулачковый патрон;
- вращающийся подвес;
- упор;
- станина на опорах.

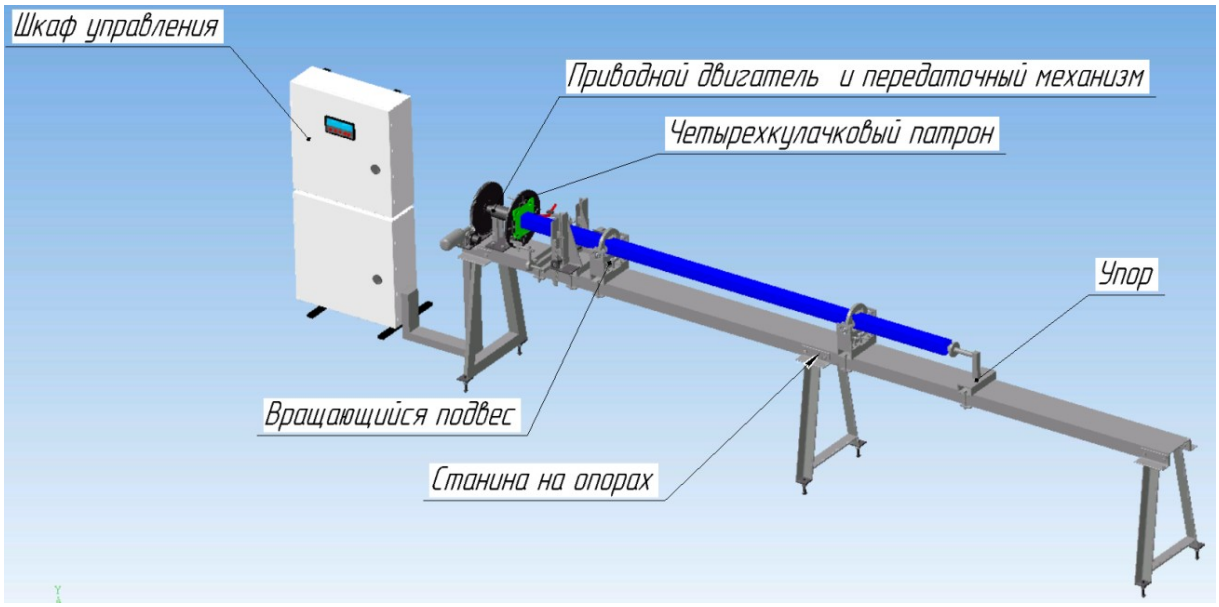


Рисунок 9 – Устройство для сварки опор заграждений

Станина на опорах является каркасом устройства, она обладает достаточной прочностью и жесткостью, а также объединяет все части устройства в единое целое. Каркас представляет собой сварную металлическую конструкцию.

Привод устройства приводит в движение четырехкулачковый патрон посредством асинхронного двигателя с червячным редуктором и открытой цилиндрической зубчатой передачей, также в шкаф управления помещен низкочастотный регулятор частоты для принудительного понижения оборотов двигателя.

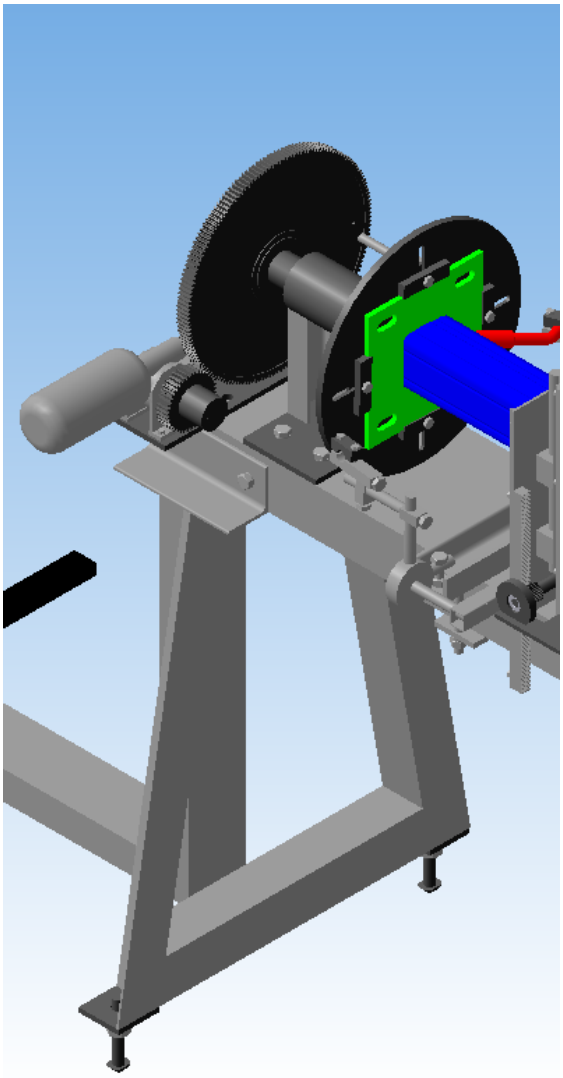


Рисунок 10 – Привод устройства

Конструктивно шкаф управления выглядит следующим образом, шкаф выполненный из металла, дверца, на дверце расположена панель управления устройством. Внутри шкафа управления находится панель, на нее крепятся элементы. На боковой гране находится технологическое отверстие для подвода кабель канала, необходимого для размещения в нем силовых кабелей от внешних устройств. Внешний вид ШУ приведен на рисунке 11.

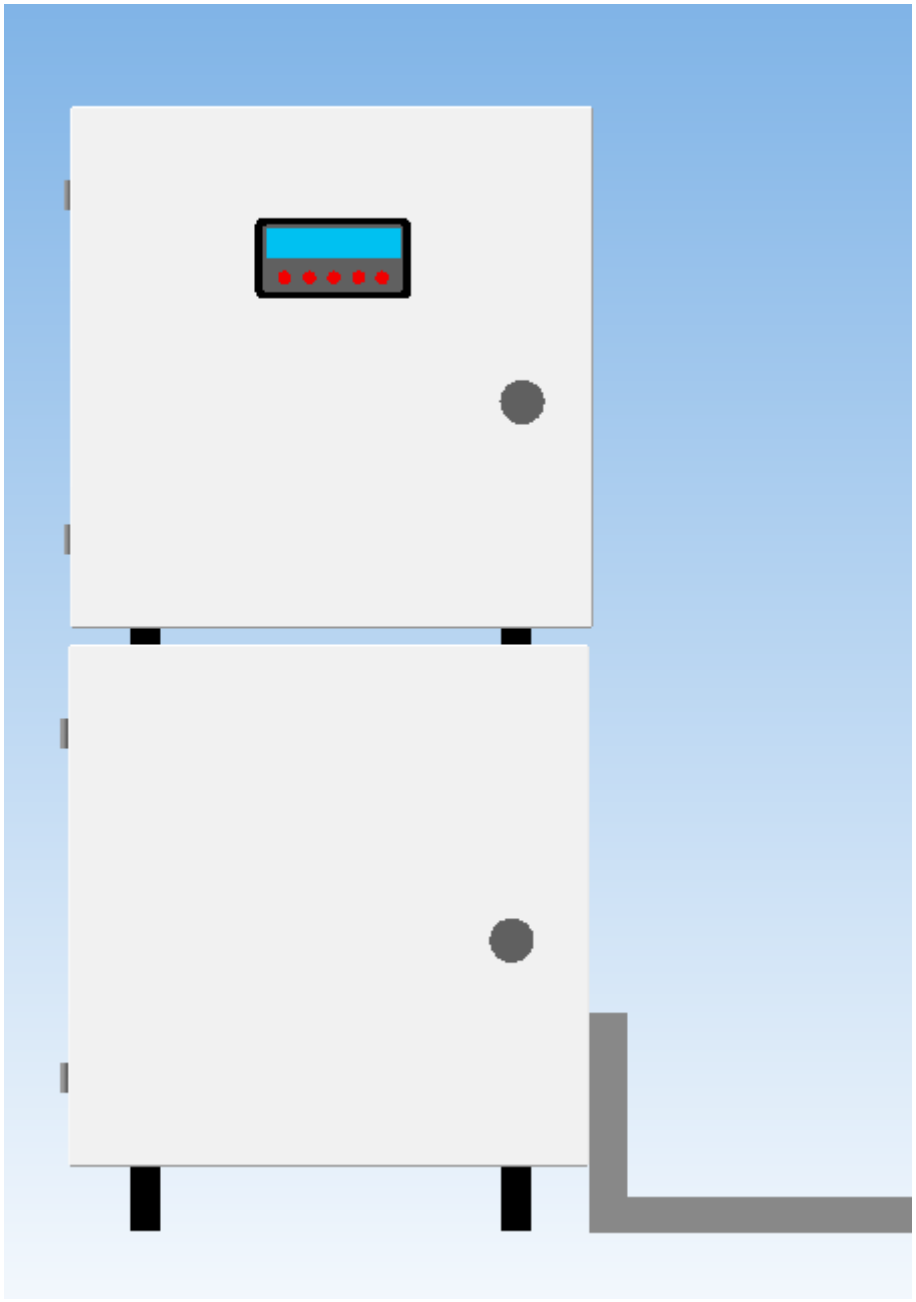


Рисунок 11 – Шкаф управления

Внутри ШУ расположена съемная монтажная панель, на которой расположены:

- DIN-рейка, на которую установлены программируемый логический контроллер; четыре резистора и два блока питания (48 В); преобразователя частоты;

- DIN-рейка для крепления клемм, необходимых для подсоединения проводов.

На лицевой стороне ШУ располагается: панель управления устройством.

Вращающийся подвес представляет собой металлический каркас с набором роликов и подшипников.

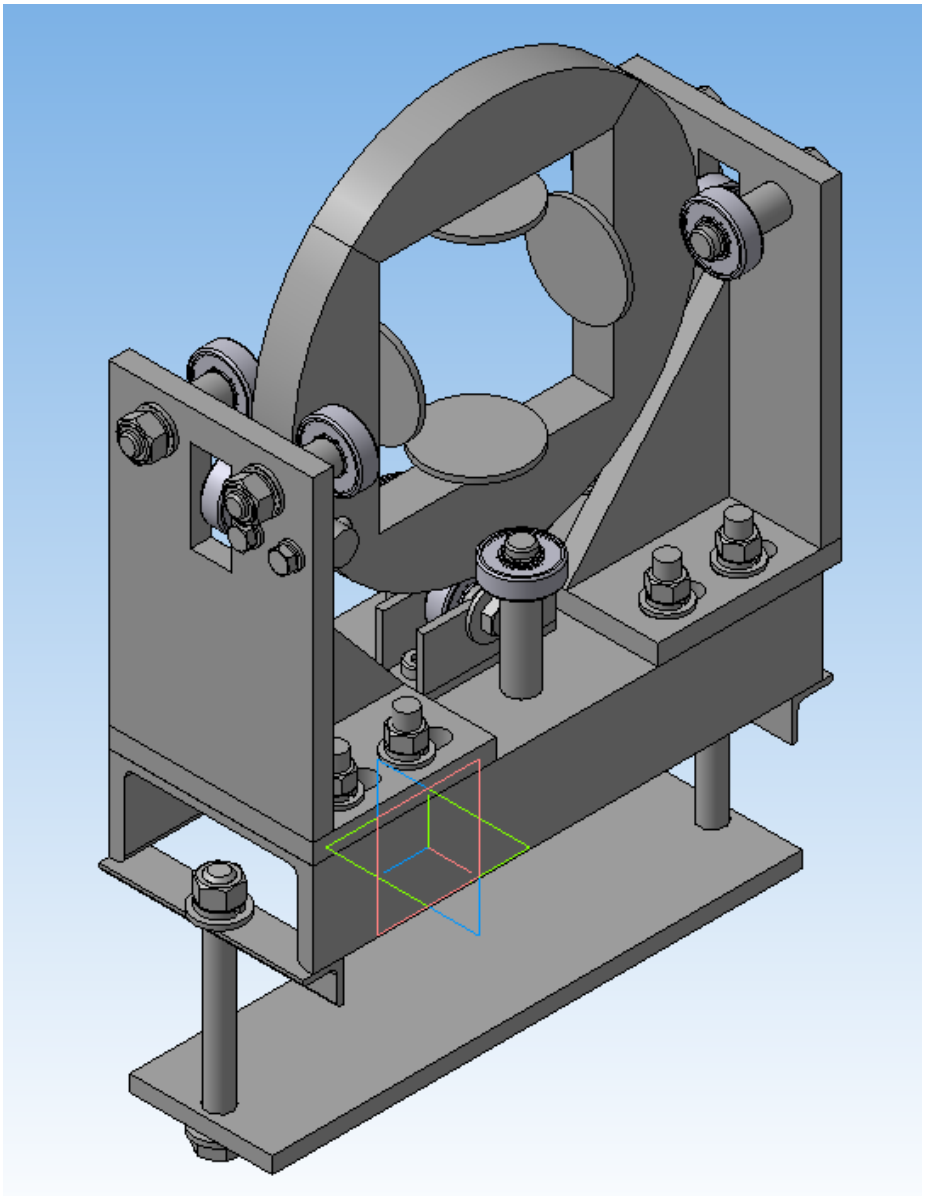


Рисунок 12 - Вращающийся подвес

Основой четырехкулачквого патрона является диск, установленный на вал, на который установлено 3 ограничители-фиксатора и фиксатор пружинного типа для более быстрой смены детали.

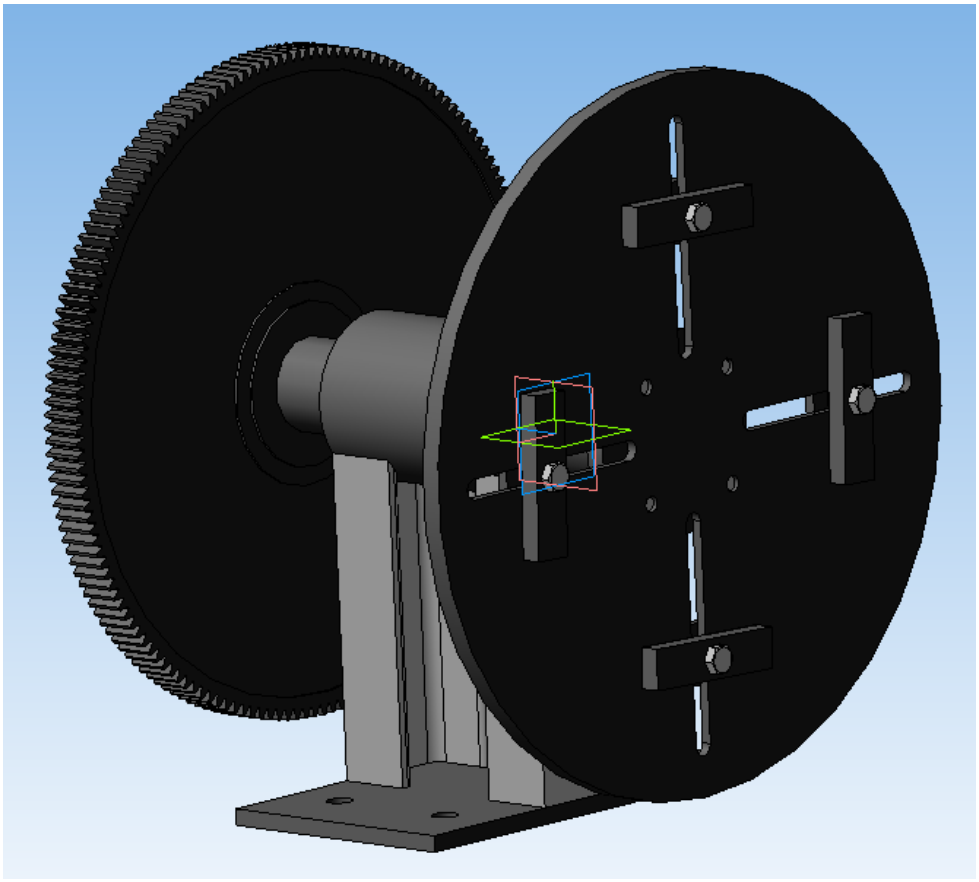


Рисунок 13 – Четырехкулачковый патрон

Станина устройства состоит из 3-х опор изготовленных из уголка 70х70 и швеллера.

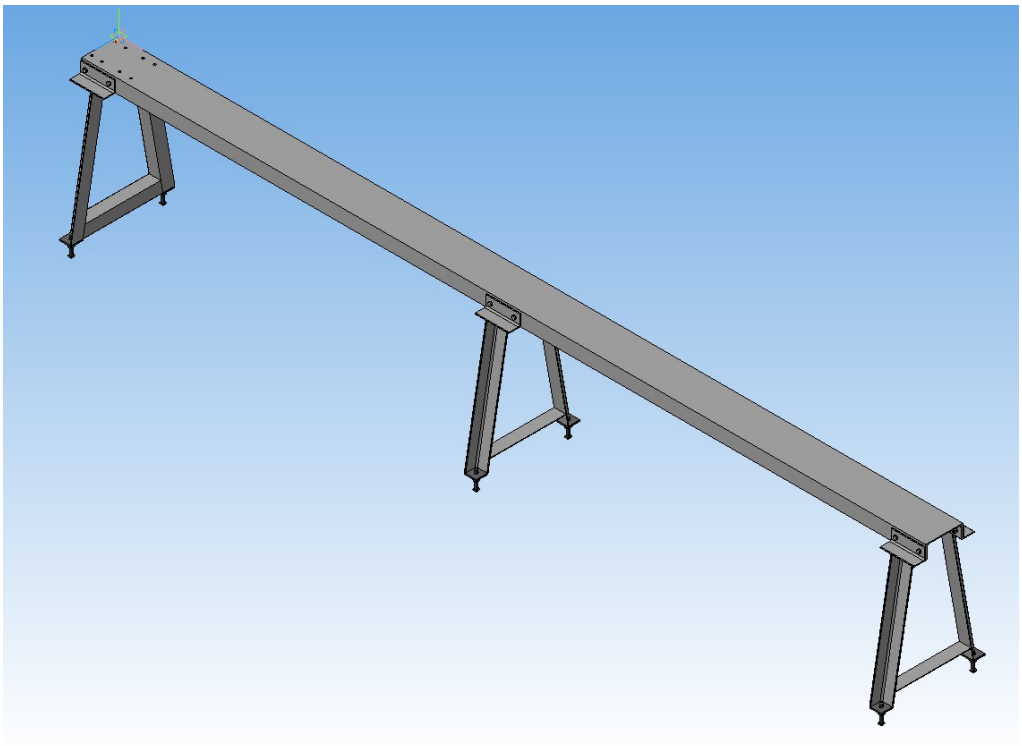


Рисунок 14 – Станина устройства

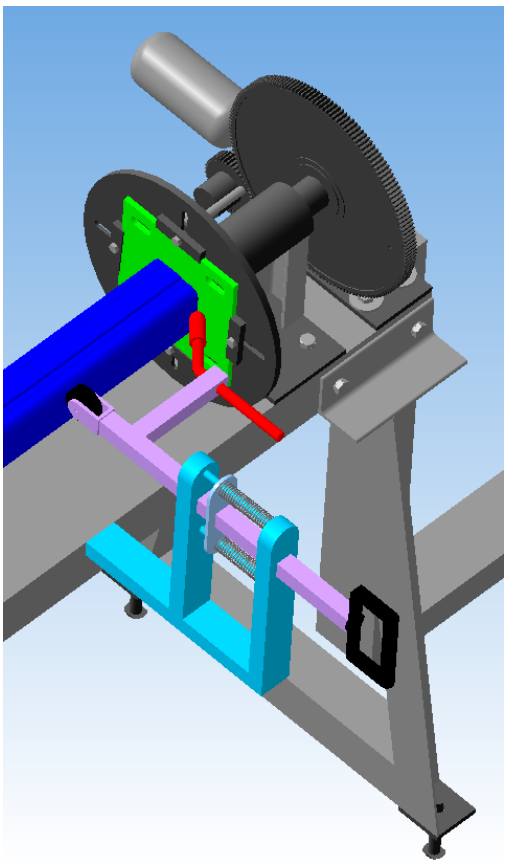


Рисунок 15 – Кронштейн сварочной горелки

Кронштейн устроен таким образом, что подпружиненный опорный ролик повторяет профиль заготовки, тем самым позволяет выдерживать постоянную высоту горения сварочной дуги.

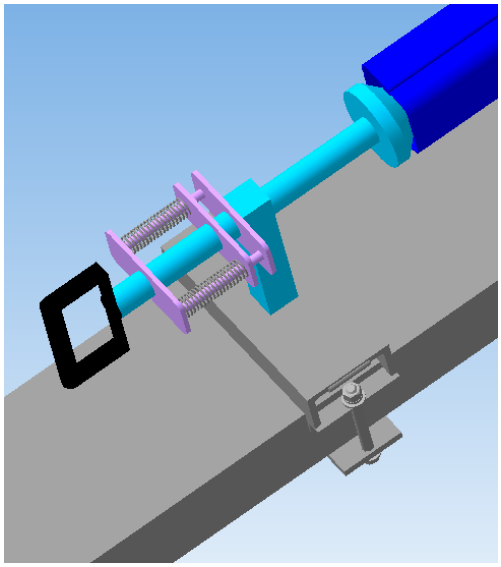


Рисунок 16 – Упор

Упор так же подпружинен и позволяет избежать свободное горизонтальное перемещение.

3.2 Расчет махового колеса

Маховики проектируют в двух конструктивных формах: стальной диск при диаметре D1 < 300 мм или чугунная конструкция с ободом, диском или спицами и ступицей. Момент инерции стального диска:

$$I_{\text{м,с}} = m_c \frac{R_1^2}{2} = m \frac{D_1^2}{8} = \rho \left(\pi \frac{D_1^4}{32} \right) b = \rho \frac{\pi D_1^5 \psi_b}{32},$$

где m_c – масса маховика;

Ψ_b – коэффициент ширины маховика, $\Psi_b = b/D_1$;

b – ширина маховика;

м; r - плотность, кг/м3;

D_1 – максимальный диаметр, м.

$$I_{\text{м,с}} = m_c \frac{R_1^2}{2} = m \frac{D_1^2}{8} = \rho \left(\pi \frac{D_1^4}{32} \right) b = 7.8 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.321_1^5 \cdot 0.063}{32} = 0.000163.$$

$$\psi_b = \frac{b}{D_1} = \frac{0.020}{0.321} = 0.063.$$

Диаметр стального маховика, необходимый для назначения той или иной конструкции:

$$D_1 = \sqrt[5]{\frac{32 I_{\text{м,с}}}{\pi \psi_b \rho}} = \sqrt[5]{\frac{32 \cdot 0.000163}{3.14 \cdot 0.063 \cdot 7.8}} = \sqrt[5]{\frac{0.005216}{1.543}} = \sqrt[5]{0.0034} = 0.321.$$

Частота вращения маховика сварочного устройства:

$$n = \frac{1000 \cdot V_{\text{св}}}{60 \cdot \pi \cdot D},$$

$$n = \frac{1000 \cdot 22}{60 \cdot 3{,}14 \cdot 113} = \frac{22000}{21289{,}2} = 1{,}1 \text{ об/мин}.$$

3.3 Расчет электродвигателя

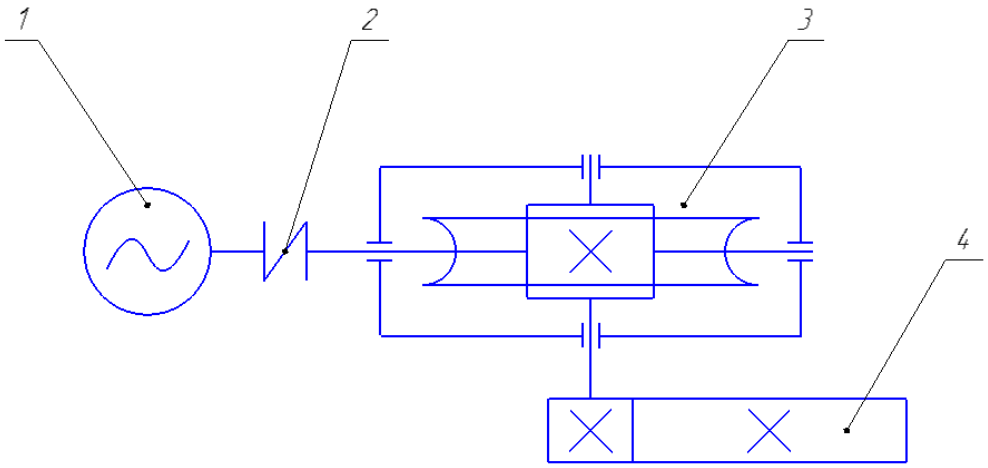


Рисунок 17 – Кинематическая схема привода

1 – электродвигатель; 2 – муфта упругая втулочно-пальцевая; 3 – редуктор червячный; 4 – открытая зубчатая цилиндрическая передача

Определение расчетной мощности электродвигателя и выбор его по каталогу:

$$P_{\text{др}} = P_{\text{рм}}/n_{\text{о}}\ ,$$

где $P_{\text{рм}}$– требуемая мощность, кВт ;

η_0 – общий коэффициент полезного действия (КПД) привода.

$$P_{\text{др}} = 1/0{,}737 = 1{,}36,$$

$$\eta_0 = \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{оп}} \cdot \eta_{\text{п}},$$

$\eta_{\text{р}}$– КПД редуктора;

$\eta_{\text{оп}}$– КПД открытой передачи;

$\eta_{\text{п}} = 0{,}99$– КПД пары подшипников качения.

$$\eta_0 = 0{,}80 \cdot 0{,}93 \cdot 0{,}99 = 0{,}737.$$

Значения КПД передач приведены в табл. 6. По табл. 7, учитывая синхронную частоту вращения вала двигателя, необходимо выбрать электродвигатель ближайшей большей мощности $P_{\text{ном}}$.

Таблица 6 – Рекомендуемые значения коэффициентов полезного действия и передаточных чисел механических передач

Тип передачи (редуктора)	КПД, η	Передаточное число, U
Цилиндрический горизонтальный одноступенчатый редуктор типа ЦУ – 100 – ЦУ – 250	0,95	2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3
Цилиндрический горизонтальный двухступенчатый редуктор типа 1Ц2У и 1Ц2У–М	0,91	8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40
Червячный редуктор типа 2Ч – 80М – Ч – 500М	0,80	8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80
Открытые передачи		
Зубчатая цилиндрическая прямозубая	0,93 ÷ 0,95	2 ÷ 5
Цепная	0,92 ÷ 0,94	1,5 ÷ 3
Ременная: - плоским и клиновым ремнем - поликлиновым ремнем - зубчатым ремнем	0,94 ÷ 0,96 0,94 ÷ 0,96 0,96 ÷ 0,98	1,5 ÷ 3 2 ÷ 4 3 ÷ 5

Таблица 7 – Технические данные асинхронных трехфазных двигателей серии АИР ГОСТ 31606-2012

Номинальная мощность	Синхронная частота вращения, $мин^{-1}$			
	3000		1500	
	Тип двигателя	Асинхронная частота вращения, $n_д$, $мин^{-1}$	Тип двигателя	Асинхронная частота вращения, $n_д$, $мин^{-1}$
1,5	АИР80А2	2850	АИР80В4	1395
2,2	АИР80В2	2850	АИР90L4	1395
3	АИР90L2	2850	АИР100S4	1410
4	АИР100S2	2850	АИР100L4	1410
5,5	АИР100L2	2850	АИР112М4	1432
7,5	АИР112М2	2895	АИР132S4	1440
11	АИР132М2	2910	АИР132М4	1447
15	АИР160S2	2910	АИР160S4	1455
18,5	АИР160S2	2910	АИР160М4	1455
22	АИР180S2	2919	АИР180S4	1462
30	АИР180М2	2925	АИР180М4	1470
	Синхронная частота вращения, $мин^{-1}$			
	1000		750	
1,5	АИР90L6	925	АИР100L8	702
2,2	АИР100L6	945	АИР112МА8	709
3	АИР112МА6	950	АИР112МВ8	709
4	АИР112МВ6	950	АИР132S8	716
5,5	АИР132S6	960	АИР132М8	712
7,5	АИР132М6	960	АИР160S8	727
11	АИР160S6	970	АИР160М8	727
15	АИР160М6	970	АИР180М8	731

Электродвигатель АИР100L8 ГОСТ 31606 – 2012.

$P_{\text{ном}} = 1{,}5$ кВт;

$n_{\text{д}} = 702$ мин$^{-1}$;

$d_1 = 28$ мм.

Определение общего передаточного числа привода и выбор редуктора:

$$U_0 = n_{\text{д}}/n_{\text{рм}},$$

где $\boldsymbol{n}_{\text{д}}$ – частота вращения вала выбранного электродвигателя, мин$^{-1}$;

$\boldsymbol{n}_{\text{рм}}$ – частота вращения вала рабочей машины, мин$^{-1}$.

$$U_0 = 702/1{,}1 = 638.$$

Расчетное передаточное число редуктора $U_{\text{рр}} = U_0/U_{\text{оп}}$,

где $U_{\text{оп}}$ - передаточное число открытой зубчатой цилиндрической передачи.

Принимаем $U_{\text{оп}} = 5{,}0$.

Тогда $U_{\text{рр}} = 638/5 = 127{,}6$.

Выбираем ближайшее значение передаточного числа редуктора по табл.6. Уточнение передаточного числа открытой передачи.

Принимаем $U_{\text{рр}} = 80$ в соответствии с таблицой 6.

Передаточное число открытой зубчатой цилиндрической передачи оказалось за пределами рекомендуемых величин.

В соответствии с расчетами можно допустить внедрение низкочастотного преобразователя частоты.

Например, такой как преобразователь частоты Веспер E2-8300-S1L 0.75 кВт.

Таблица 8 – Технические характеристики приведены в таблице

Производитель	Веспер
Артикул (Штрих код)	E2-8300-S1L
Серия	E2-8300
Модель	S1L
Применение	Общепромышленное
Мощность	0,75 кВт
Номинальный ток	4.5 А
Напряжение питания	200-240 В
Количество фаз	1 Фаза
Тип управления	Векторное, Скалярное (U/f)
Выход Напряжение	Трехфазное: от 0 до Uпит.
Способ управления	U/f или управление вектором тока
Отображение	Цифровой дисплей
Выходная частота	от 1 до 400 Гц
Класс защиты	IP20
Перегрузка, в течение 1 минуты	150%
Время разгона	0,1 - 3600 сек и S-кривые
Время торможения	0,1 - 3600 сек и S-кривые
Аналоговый вход, кол-во	2
Дискретный вход, кол-во	6
Аналоговый выход, кол-во	1
Дискретный выход, кол-во	2
Интерфейс RS485 (Modbus)	RS-485 (с использованием опционных модулей)
Векторное управление с обратной связью	Нет
Габариты (ШхВхГ)	90x163x147 мм
Вес	1.2 кг

Необходимый вращающий момент на тихоходном валу редуктора.

$$P_{\text{тр}} = (9550 \cdot P_{\text{др}}/n_{\text{д}}) \cdot U_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{р}}, \text{Н} \cdot \text{м}.$$

$$P_{\text{тр}} = (9550 \cdot 1{,}36/702) \cdot 5 \cdot 0{,}80 = 74 \text{ Н} \cdot \text{м}\,.$$

3.4 Привод и его электромеханическая модель на основе обобщенной теории электрических машин

Задачи точного моделирования электродвигателей довольно хорошо исследованы, по этой причине обойдемся рассмотрением точной модификации идеализированного двухфазного электрического

преобразователя, который в особой литературе приобрел наименование общей электрической машины.

В общей электрической машине сосредоточенные в пазах проводники с током замещены синусоидальными токовыми пластами равносильными по м. д. с. первым гармоникам м. д. с. соответственных истинных обмоток. Неравномерность проема, объясненная пазами, никак не предусматривается, а присутствие явно полюсной структуры в статоре либо роторе способен являться предусмотрено внедрением 1 гармоники переменной составляющей проема. Помимо этого, берется, то что сила магнитного поля сконцентрирована в воздушном зазоре. С учетом данных дозволений точная форма электромеханического преобразователя может быть показана в последующем варианте:

$$\frac{d\mathbf{\Psi}_1}{dt} = \mathbf{U}_1 - R_1\mathbf{I}_1 - j\omega_k\mathbf{\Psi}_1;$$

$$\frac{d\mathbf{\Psi}_2}{dt} = \mathbf{U}_2 - R_2\mathbf{I}_2 - j(\omega_k - \omega)\mathbf{\Psi}_2;$$

$$M = p_n L_m (\mathbf{I}_1 \times \mathbf{I})_2,$$

где $\boldsymbol{\psi}_1 = L_1\mathbf{I}_1 + L_m\mathbf{I}_2$ – вектор потокосцепления статора;

$\boldsymbol{\psi}_2 = L_m\mathbf{I}_1 + L_2\mathbf{I}_2$ - вектор потокосцепления ротора;

$L_1; L_2; L_m$ – индуктивности статора, ротора и намагничивающего контура соответственно;

R_1, R_2 – активные сопротивления статора и ротора;

U_1, U_2 – векторы напряжений статора и ротора;

I_1, I_2 – векторы токов статора и ротора;

ω_k, ω – частота вращения системы координат относительно статора и частота вращения ротора;

M – электромагнитный момент, развиваемый двигателем; p_n - число пар полюсов.

При расчетах динамических режимов приводов используют следующие системы координат:

(α, β) – неподвижную систему координат, в которой $\omega_k = 0$;

(p, q) – систему координат, вращающуюся со скоростью ротора, в которой $\omega_k = \omega$;

(x, y) – систему координат, вращающуюся с синхронной скоростью, в которой $\omega_k = \omega_0$;

(u, v) – систему координат, вращающуюся с произвольной скоростью ω_k.

Выбор системы координат определяется за счет типа электрической машины и режимов ее работы. При исследовании машин постоянного тока чаще всего применяют неподвижную систему координат, во время исследовании асинхронных машин, работающих в симметричных режимах включения, используют систему координат (x, y), для режимов несимметричной работы асинхронных машин используют систему координат (α, β), при исследовании синхронных машин наиболее часто исследования проводят в координатах (p, q).[4].

Получили уравнения электрической машины постоянного тока с независимым возбуждением. Запишем в системе координат (α, β):

$$\frac{d\Psi_{1\alpha}}{dt} = U_{1\alpha} - R_1 I_{1\alpha};$$

$$\frac{d\Psi_{1\beta}}{dt} = U_{1\beta} - R_1 I_{1\beta};$$

$$\frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} = U_{2\alpha} - R_2 I_{2\alpha} + \omega\Psi_{2\beta};$$

$$\frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} = U_{2\beta} - R_2 I_{2\beta} - \omega\Psi_{2\alpha};$$

$$M = p_n L_m (I_{1\beta} I_{2\alpha} - I_{1\alpha} I_{2\beta}).$$

Ориентируя обмотку возбуждения по оси β, а обмотку якоря - по оси α, запишем соотношения между переменными двигателя постоянного тока и переменными уравнений.

$$U_{1\alpha} = 0;\ U_{1\beta} = U_{в};\ U_{2\alpha} = U_{я};\ U_{2\beta} = 0;\ I_{1\alpha} = 0;\ I_{1\beta} = I_{в};\ I_{2\alpha} = I_{я};\ I_{2\beta} = 0;$$

$$\Psi_{1\alpha} = 0;\ \Psi_{1\beta} = L_1 I_{1\beta} + L_m I_{2\beta} = L_{в} I_{в};$$

$$\Psi_{2\alpha} = L_m I_{1\alpha} + L_2 I_{2\alpha} = L_{я} I_{я};$$

$$\Psi_{2\beta} = L_1 I_{1\beta} + L_m I_{2\beta} = L_{в} I_{в};$$

$$R_1 = R_{в};\ R_2 = R_{я}.$$

Подставляя значения в формулу, преобразовав получим уравнение двигателя постоянного тока с независимым возбуждением:

$$U_{в} = I_{в} R_{в} + L_{в} \frac{dI_{в}}{dt};$$

$$U_{я} = I_{я} R_{я} + L_{я} \frac{dI_{я}}{dt} + \omega L_m I_{в};$$

$$M = p_n L_m I_{в} I_{я}.$$

Получим статические характеристики двигателя из пути приравнивания к нулю производных по токам.

Преобразовав получим, электромеханическую характеристику двигателя:

$$\omega = \frac{U_{я}}{k\Phi} - \frac{R_{я}}{k\Phi} I_{я}$$

где $к\Phi = pL_m I_{в}$.

$$\omega = \frac{U_{я}}{k\Phi} - \frac{R_{я}}{k^2 \Phi^2} I_{я}.$$

Допустим с целью извлечения статической характеристики асинхронного короткозамкнутого двигателя в равноправность нулю всех производных пренебрегая активным сопротивлением статора, в таком случае в построении координат (x, y) реорганизуется к типу:

$$\mathbf{U}_1 \approx j\omega_0 \mathbf{\Psi}_1;$$

$$R_2 \mathbf{I}_2 = j(\omega_0 - \omega)\mathbf{\Psi}_2;$$

$$M = p_n L_m (\mathbf{I}_1 \times \mathbf{I}_2).$$

Выражаем потокосцепления через токи, из формулы получим систему уравнений для вычисления токов двигателя в установившемся режиме:

$$j\omega_0 L_1 \mathbf{I_1} + j\omega_0 L_m \mathbf{I_2} = \mathbf{U}_1;$$
$$j\omega_0 s L_m \mathbf{I_1} + (j\omega_0 s L_2 - R_2)\mathbf{I_2} = 0,$$

где $s = \dfrac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ - скольжение.

Уравнения запишем в виде:

$$\mathbf{I_1} = \frac{U_1 (R_2 - j\omega_0 s L_2)}{\Delta};$$

$$\mathbf{I_2} = \frac{jU_1 \omega_0 s L_m}{\Delta},$$

где $\Delta = \omega_0^2 s (L_1 L_2 - L_m^2) + j\omega_0 L_1 R_2$.

Вводим обозначение:

$$\frac{R_2 L_1}{L_1 L_2 - L_m^2} \approx \omega_0 s_k,$$

где s_k – критическое скольжение учитывая, что:

$$\mathbf{I_1} \times \mathbf{I_2} = \mathrm{Im}(\mathbf{I_1} \mathbf{I_2}),$$

получили выражение для электромагнитного момента двигателя:

$$M = p_n \frac{U_{1\max}^2 L_m^2}{\omega_0^2 L_1 (L_1 L_2 - L_m^2)\left(\dfrac{s_k}{s} + \dfrac{s}{s_k}\right)},$$

где U_{1max} – амплитудное значение напряжения статора.

Вводим выражение для критического момента двигателя:

$$M_k = \frac{1}{2} p_n \frac{U_{1\max}^2 L_m^2}{\omega_0^2 L_1 (L_1 L_2 - L_m^2)},$$

получили известную формулу Клосса. [6].

$$M = \frac{2M_k}{\dfrac{s}{s_k} + \dfrac{s_k}{s}},$$

Учитывая активное сопротивление ротора и перейти к действующему значению напряжения статора, получили уточненную формулу Клосса:

$$M = \frac{2M_k(1 + as_k)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2as_k},$$

где

$$M_k = \frac{3U_1^2}{2\omega_0\left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2}\right)};$$

$$s_k = \pm \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + x_k^2}};$$

$$a = \frac{R_1}{R_2}.$$

В формулах x_k –индуктивное сопротивление короткого замыкания, равно:

$$x_k = \omega_0[(L_1 - L_m) + (L_2 - L_m)],$$

С целью извлечения механической характеристики синхронного мотора использовали систему координат (p, q), жестко связанную с ротором. Пренебрегая активным сопротивлением статора и приравнивая нулю все производные в выражении, записали уравнения в выбранной системе координат. [1].

$$\mathbf{U}_1 \approx j\omega\boldsymbol{\Psi}_1;$$
$$\mathbf{U}_2 = R_2\mathbf{I}_2;$$
$$M = p_n L_m(\mathbf{I}_1 \times \mathbf{I}_2).$$

Если обмотка статора совмещена с осью p, первые два уравнения с учетом того, что в установившемся режиме частота вращения ротора ω равна синхронной частоте ω_0, запишем следующим образом:

$$U_{1\max} e^{j\varphi_э} \approx j\omega_0\boldsymbol{\Psi}_1;$$
$$U_в = R_2 I_в,$$

где $U_в$ – напряжение возбуждения ротора;

$I_в$ – ток возбуждения ротора;

$\varphi_э = p_п \varphi$ – электрический и геометрический угол поворота вектора напряжения статора относительно вектора напряжения ротора или оси p.

Вследствие явнополюсности ротора индуктивности двигателя по осям (p, q) будут различны и выражения для потокосцеплений статора принимают следующий вид[7].

$$\Psi_{1p} = L_{1p} I_{1p} + L_{mp} I_в;$$
$$\Psi_{1q} = L_{1q} I_{1q}.$$

Подставим выражение в равенство, получим систему уравнений для вычисления токов статора:

$$U_{1\max} \sin \varphi_э = -\omega_0 L_{1q} I_{1q} = -x_{1q} I_{1q};$$
$$-U_{1\max} \cos \varphi_э = \omega_0 L_{1p} I_p - \omega_0 L_{mp} I_в = x_p I - E_{\max}.$$

Решение уравнений будет выражения для вычисления токов статора:

$$I_{1p} = \frac{E_{\max} - U_{1\max} \cos \varphi_э}{x_{1p}};$$

$$I_{1q} = -\frac{U_{1\max} \sin \varphi_э}{x_{1q}}.$$

Подставим выражение токов в третье уравнение и учитывая, что $L_{mp} I_в = \frac{E_{\max}}{\omega_0}$, после преобразований получим уравнение угловой характеристики двухфазного явнополюсного синхронного двигателя в виде:

$$M = \frac{U_{1\max} E_{\max} \sin \varphi_Э}{\omega_0 x_{1p}} + \frac{U_{1\max}^2}{2\omega_0}\left(\frac{1}{x_{1q}} - \frac{1}{x_{1p}}\right)\sin 2\varphi_Э.$$

Переходя к действующим значениям ЭДС и напряжения, получим известное уравнение угловой характеристики трехфазного явнополюсного синхронного двигателя:

$$M = \frac{3U_1 E \sin \varphi_Э}{\omega_0 x_{1p}} + \frac{3U_1^2}{2\omega_0}\left(\frac{1}{x_{1q}} - \frac{1}{x_{1p}}\right)\sin 2\varphi_Э.$$

В математической модели при расчете динамических систем необходимо принять во внимание нелинейность индуктивности намагничивающего контура L12, предопределенной нелинейностью искривленной намагничивания магнитного материала электрической машины. Методы учета нелинейности искривленной намагничивания основаны в дозволении о синусоидальности магнитной индукции в воздушном проеме электрической машины. Данное предположение несущественно воздействует в достоверность расчетов при работе агрегата в нарицательных системах и нехватке стабильных образующих в фазных усилиях и токах. В противоестественных системах присутствие подмагничивании агрегаты непрерывным током выходят преуменьшенные оценки при расчете токов и повышенные при расчете моментов [9].

Данная технология учета нелинейности кривой намагничивания основывала в аппроксимации кривой намагничивания уравнением:

$$B = \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{H}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{H}{\alpha} \right)^2 + 1} \right),$$

где B, H – индукция и напряженность магнитного поля;

α, β – коэффициенты, учитывающие свойства магнитного материала.

Для нахождения их достаточно знать характеристики материала магнитопровода, максимальную магнитную проницаемость материала $\mu_м$, индукцию насыщения B_s и максимальное значение напряженности магнитного поля $H_м$, его можно принять в 10-15 раз больше коэрцитивной силы H_c.

Тогда уравнения для вычисления неизвестных коэффициентов α, β, с учетом выражения можно записать как:

$$sh(\beta B_s) - (10 \div 15) H_с \mu_м \beta = 0;$$

$$\alpha = \frac{1}{\beta \mu_м}.$$

Выражение для индуктивности такой нелинейной цепи:

$$L = L_{\sigma} + L_{m};$$

$$L_{m} = \frac{\mathrm{w}^{2} S}{l} \frac{dB}{dH}.$$

Дифференцируя уравнение и подставляя результат дифференцирования в выражение получим выражение для индуктивности статора (i=1) или ротора (i=2):

$$L_{i} = L_{\sigma i} + \frac{\mathrm{w}^{2} S}{\beta l \sqrt{H^{2} + \alpha^{2}}},$$

где $L_{\sigma i}$ – индуктивность рассеяния статора или ротора;

w – число витков обмотки;

S, l – площадь поперечного сечения и длина магнитопровода.

Насыщение магнитной цепи учтем за счет изменения индуктивности намагничивающего контура L_m , принимая во внимание выражение:

$$\mathbf{I}_{\mu} = \mathbf{I}_{1} + \mathbf{I}_{2};$$

$$L_{m} = \frac{\mathrm{w}_{1}^{2} S}{\beta \sqrt{(\alpha l)^{2} + \mathrm{w}_{1}^{2} \left| I_{\mu} \right|^{2}}}.$$

На рисунке 18 показаны результаты моделирования прямого включения асинхронного двигателя, которые хорошо согласуются с общеизвестными положениями теории электрических машин.

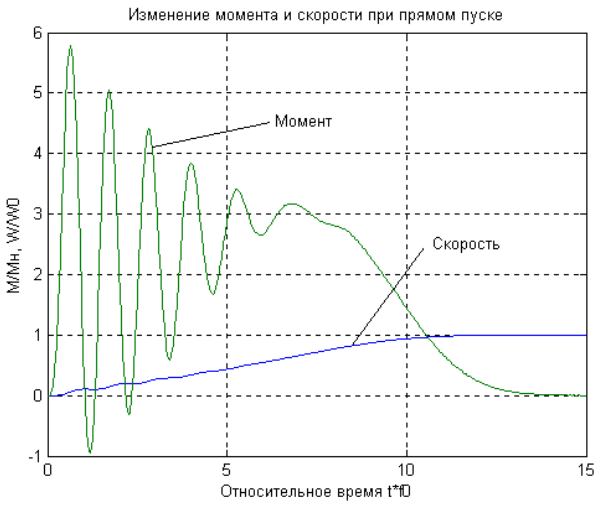


Рисунок 18 - Изменение момента и скорости двигателя при прямом пуске

На рисунках 19, 20 и 21 представлены Simulink – модели симулирующие работу позиционного электропривода устройства для сварки.

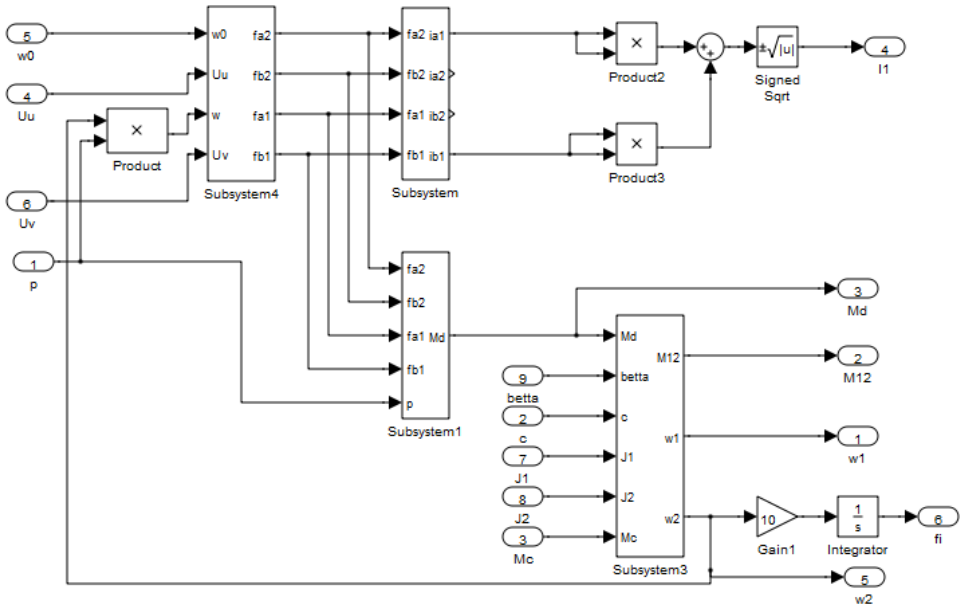
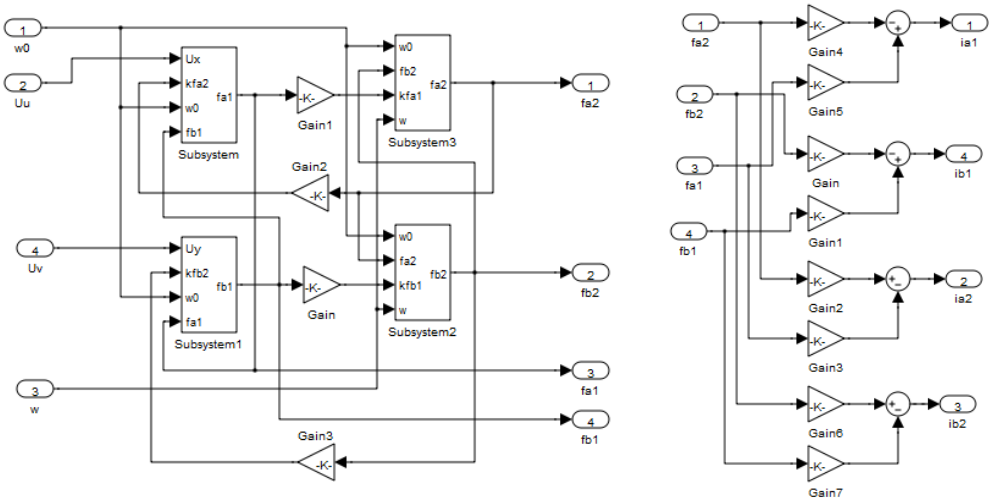
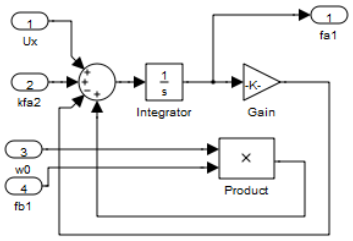


Рисунок 19 - Модель электропривода

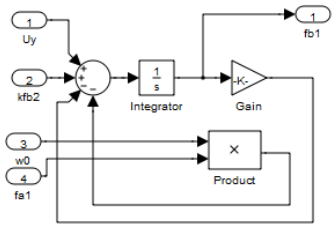


1) 2)

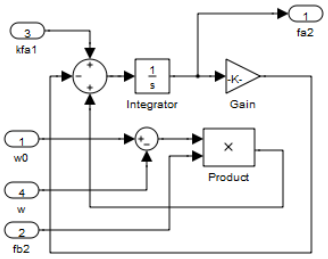
Рисунок 20 – Блок схемы Subsystem (1), Subsystem(2) моделирующая электрическую часть электропривода



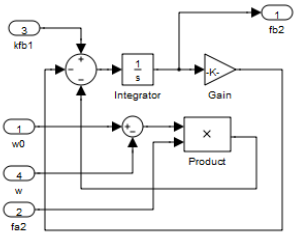
1)



2)



3)



4)

Рисунок 21 – Блок схемы Subsystem (1), Subsystem1 (2), Subsystem2 (3), Subsystem3 (4), моделирующие электрическую асть электропривода

3.4.1 Расчётная динамическая модель электропривода устройства для сварки

На рисунке ниже приведена кинематическая схема привода устройства для сварки.

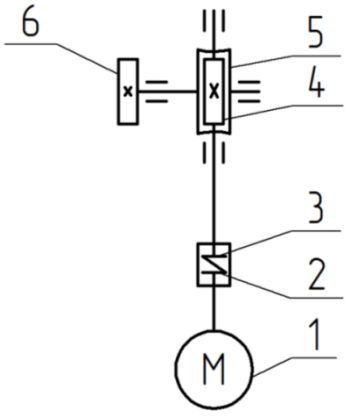


Рисунок 22 - Кинематическая схема привода вращения привода устройства для сварки

В данной кинематической схеме передаточное отношение червячной передачи i = 80. Жёсткости и моменты инерции передач приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Данные для составления расчётной схемы

Звено	1	2	3	4	5	6
J, кг·м^2	0,0025		0,0005		30	
c, Н·м	-	∞		∞		-

На рисунке 23 представлена расчётная схема механической части вращения привода устройства для сварки

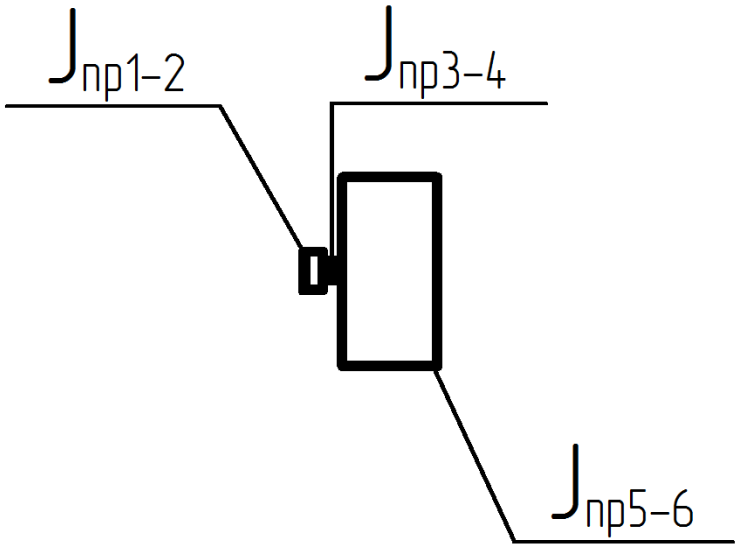


Рисунок 23 - Расчётная схема механической части вращения привода устройства для сварки

Из анализа рисунка 23 можно увидеть, что механическая часть вращения привода устройства для сварки является жёстким приведённым звеном и её можно представить в виде одной эквивалентной массы с моментом инерции J_Σ (рисунок 24), на которую воздействует электромагнитный момент двигателя $M_д$.

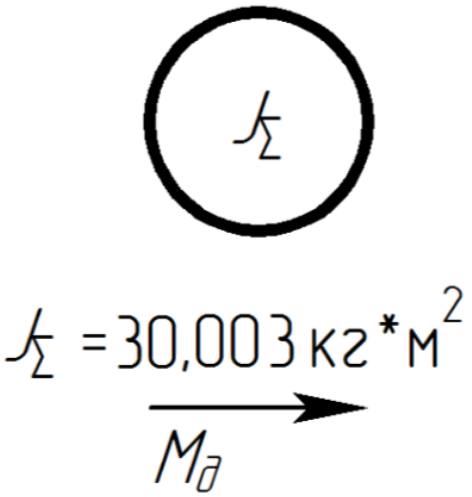


Рисунок 24 – Одномассовая расчётная схема механической части вращения привода устройства для сварки

Суммарный приведенный момент инерции элементов жёсткого приведённого механического звена привода устройства для сварки:

$$J_{\sum} = J_{\text{пр12}} + J_{\text{пр34}} + J_{\text{пр56}} = 30{,}003 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Уравнение динамики вращения привода устройства для сварки примет вид:[10]

$$\begin{cases} L\dfrac{dI}{dt} = -RI - c\omega + U; \\ J\dfrac{d\omega}{dt} = cI - M_C - M_\beta; \\ \dfrac{d\varphi}{dt} = \omega. \end{cases}$$

Модель вращения привода устройства для сварки в Simulink, реализующая уравнения, представлена на рисунке 25.

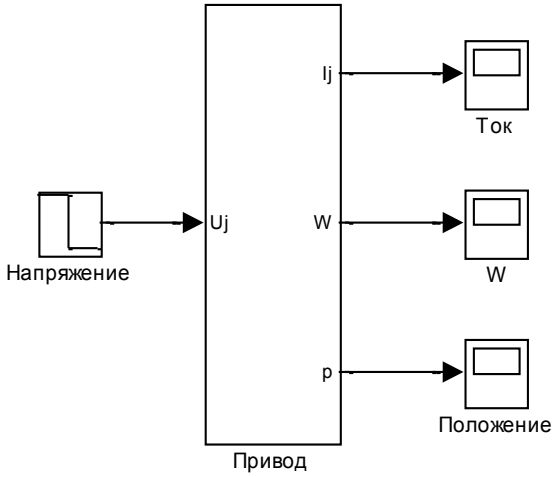


Рисунок 25 – Simulink - модель вращения привода устройства для сварки

Блок «Привод», в свою очередь, состоит из блока, моделирующего электрическую часть электродвигателя, Б1, который полностью аналогичен соответствующему блоку привода устройства для сварки, и блока Б2, моделирующего механику электропривода (рисунок 24).

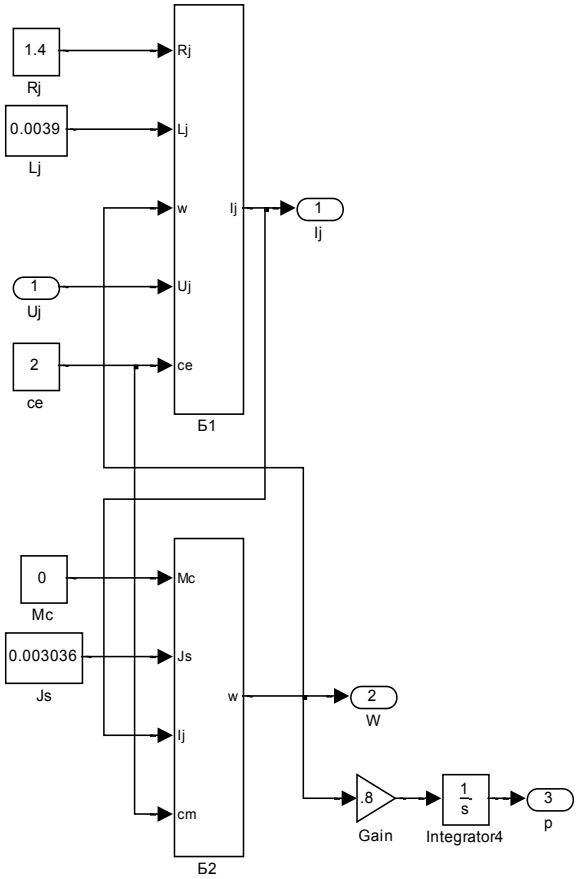


Рисунок 26 – Simulink - схема блока «Привод»

На рисунке 27 представлен блок Б2, моделирующий механику электропривода.

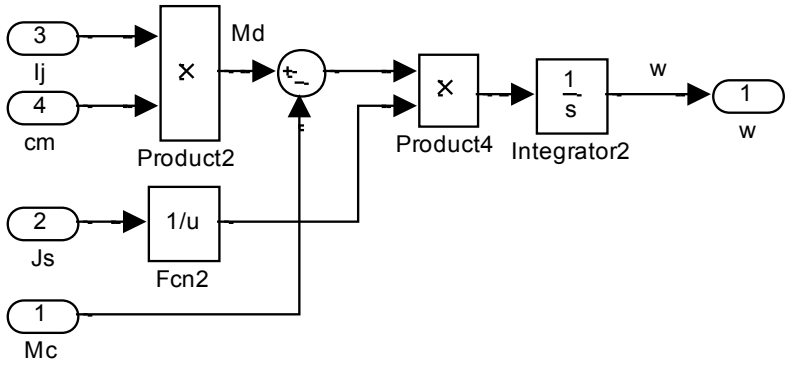
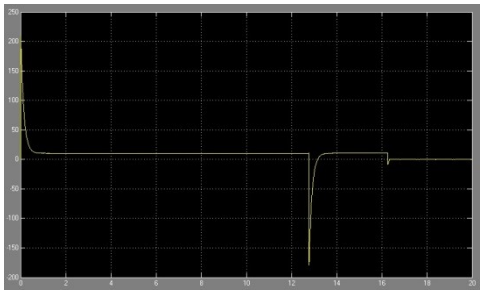
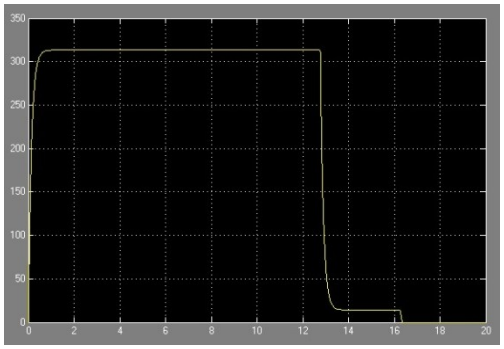


Рисунок 27 – Simulink - схема блока Б2, моделирующего механику электропривода

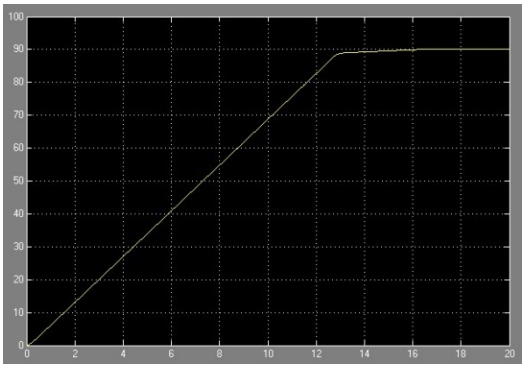
Переходный процесс прямого пуска электропривода устройства для сварки показан на рисунке 28.



а



б



в

Рисунок 28 - Переходный процесс прямого пуска электропривода устройства для сварки: а – ток; б – скорость вращения привода устройства для сварки; в – положение

В результате проделанной работы были получены динамические модели электропривода устройства для сварки и его вращения.

3.5 Расчет станины устройства для сварки опор заграждений

Произведем расчёт деформации и допускаемых напряжений «Станины устройства» в программном комплексе САПР для проектирования и расчета Solidworks.

Для проведения расчёта создана 3D модель станины устройства. Длина станины 5м толщина стенок 5мм. Для начала расчёта необходимо установить закрепление станины и приложить соответствующую силу, которая равна 1500 Н, что является максимальной нагрузкой необходимой для правильной работы устройства для сварки опор заграждений.

Запускаем Solidworks, открываем нашу сборку 3D модели «станина устройства» и нажимаем на вкладку Solidworks simulation.

Начинам новое исследование и выбираем «статическое».

В команде «соединения»→«контакты компонентов» устанавливаем связь всех деталей. Производим определение типа контакта. В пункте «тип контакта» выбираем «связанные» детали. Во вкладке компоненты обязательно необходимо поставить галочку «глобальный контакт». И в пункте «параметры» устанавливаем «совместная сетка». Данные действия необходимы чтобы при расчёте программа воспринимала сопряженные детали как одну целую. Далее нажимаем ОК (зеленую галочку) и приступаем к следующему шагу расчета.

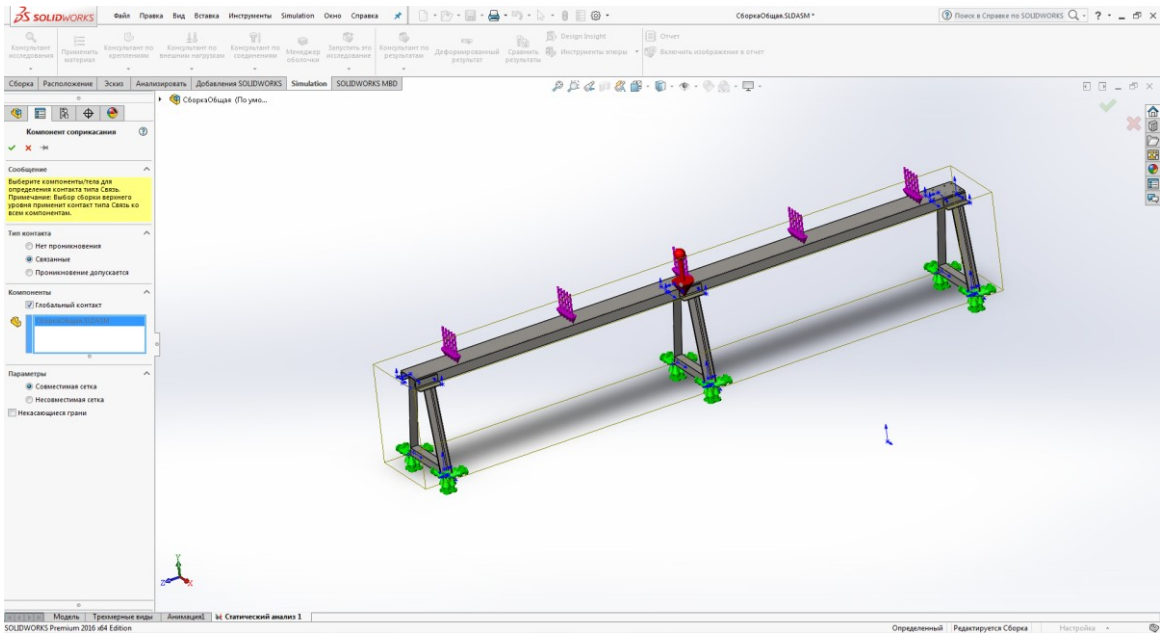


Рисунок 29 – Контакты компонентов

Как упоминалось выше необходимо произвести закрепление данной 3D модели с максимально приближенной точностью её установки и закрепления в реальных условиях производства.

Закрепление станины производим по точкам опоры. Нажимаем правой кнопкой мыши по команде «крепление» и в выпадающем контекстном меню выбираем тип крепления «Зафиксированный». Указываем точку опоры. Аналогично производим закрепление всех точек опор.

Кроме закрепления точек опор необходимо зафиксировать станину от поворота. Нажимаем правой кнопкой по команде «крепления» и в выпадающем контекстном меню выбираем тип крепления «Зафиксированная геометрия».

После выполненных действий «станина устройства» закреплена по всем точкам опоры, а также зафиксирована от поворота.

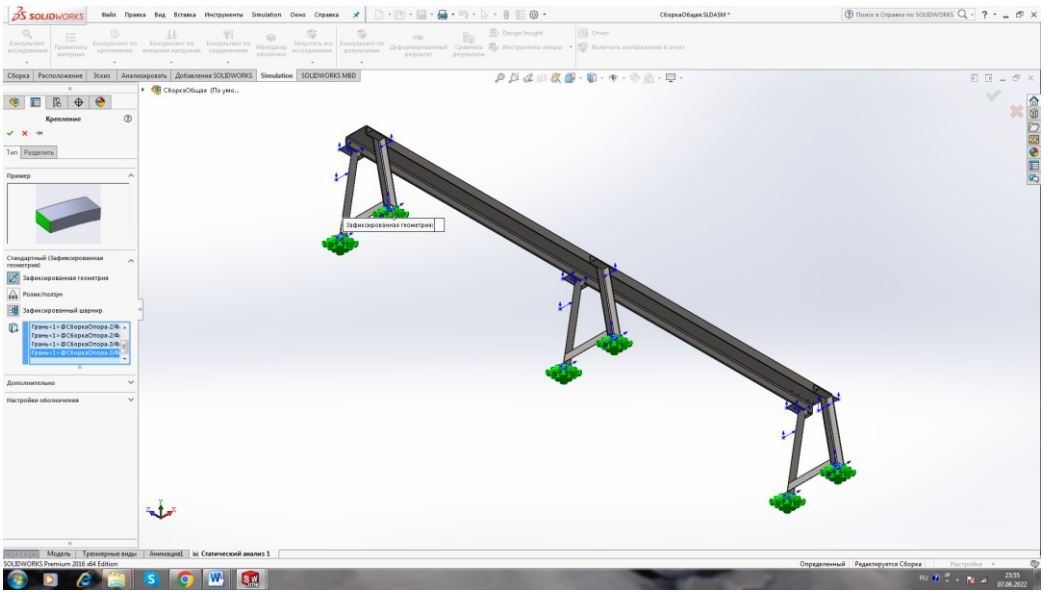


Рисунок 30 – Закрепление сборки

Следующим шагом для создания расчёта является приложение силы к поверхности станины.

Создаём сетку с параметрами, указанными в таблице 10.

Таблица 10 – Сетка детализация.

Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Сетка на основе кривизны
Точки Якобиана	4 Точки
Максимальный размер элемента	95.6611 mm
Минимальный размер элемента	19.1322 mm
Эпюра качества сетки	Высокая
Заново создать сетку из неудавшихся деталей с несовместимой сеткой	Выкл
Всего узлов	81257
Всего элементов	39307
Максимальное соотношение сторон	64.196
% элементов с соотношением сторон < 3	13.7
% элементов с соотношением сторон > 10	17.1
% искаженных элементов (Якобиан)	0
Время для завершения сетки (hh;mm;ss):	00:00:11
Имя компьютера:	

Нажимаем выполнить расчёт и приступаем к анализу результатов.

Анализ результатов расчёта.

Рассмотрим сначала результат расчёта по напряжению (см.рисунок 29).

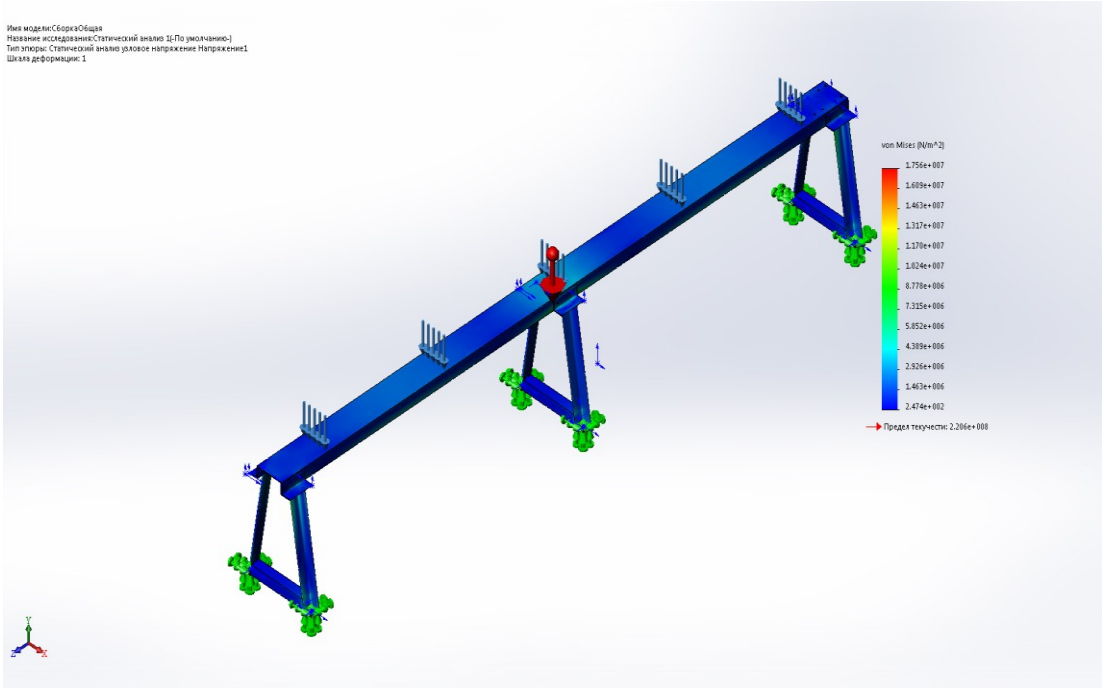


Рисунок 31 – Напряжение

Согласно рисунку 32 максимальное напряжение возникает в станине и равно 1.76 МПа. Материал станины принимаем простую углеродистую сталь с пределом текучести равным 230 МПа.

Вычислим коэффициент запаса прочности:

$$k = \frac{\sigma_в}{\sigma_{расч.}} = \frac{230}{1{,}76} = 130.$$

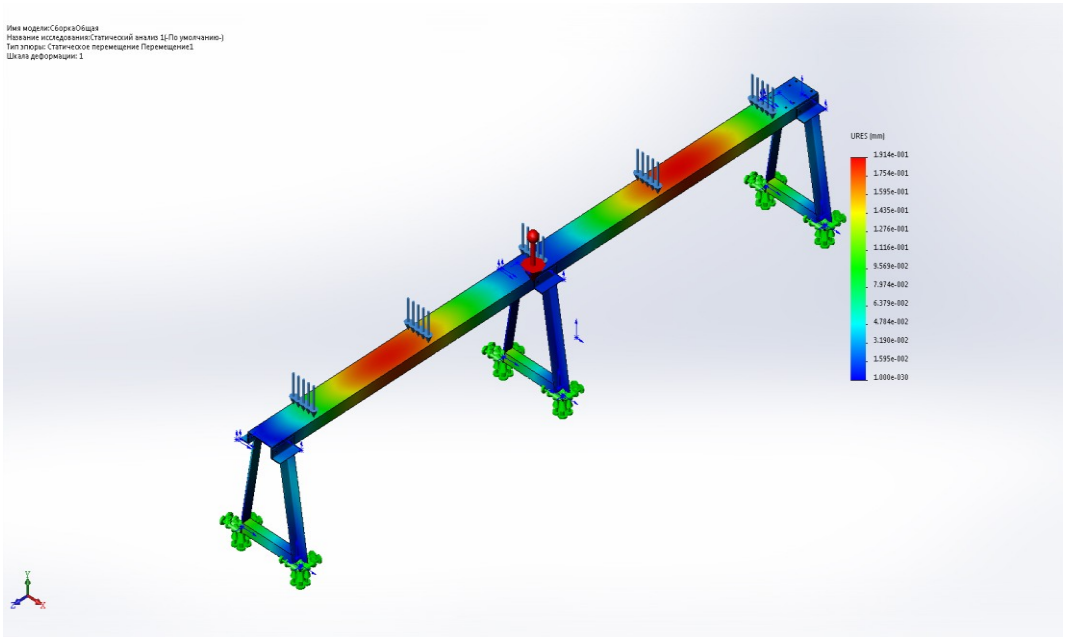


Рисунок 32 – Статическое перемещение

Максимальное перемещение пальца составляет 0,019 мм, что никак не может отрицательно отразиться на работе станка.

Рассмотрим результаты расчета по эквивалентной деформации (рисунок 33).

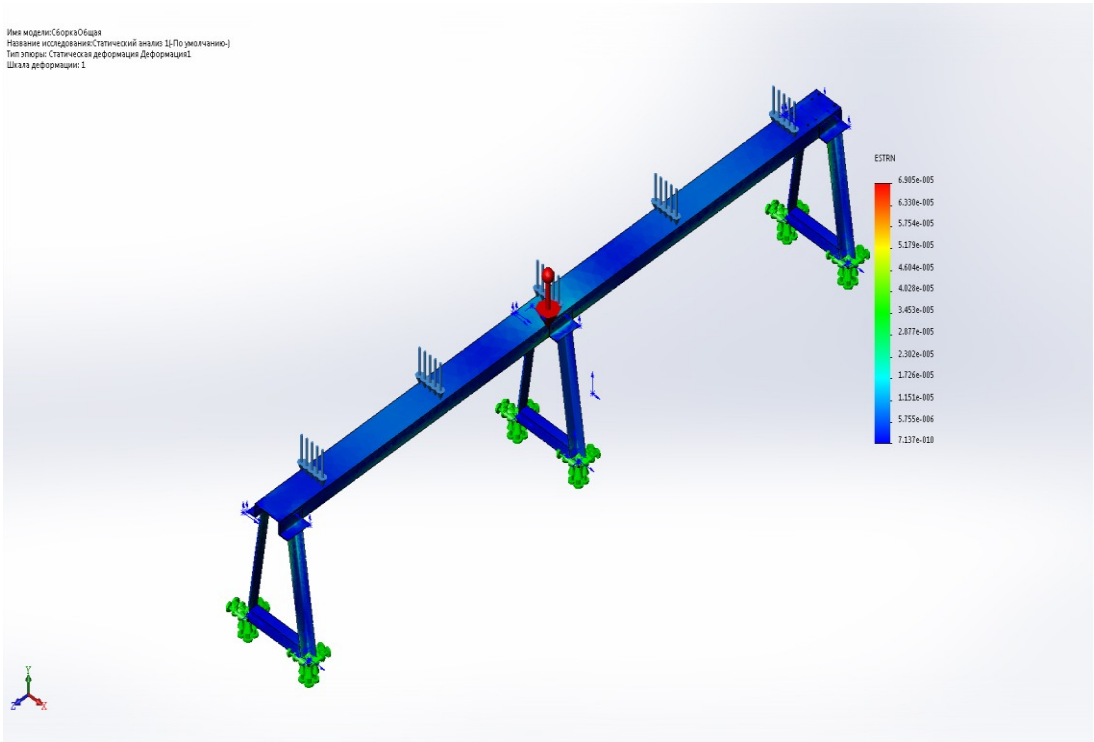


Рисунок 33 - Эквивалентная деформация

4 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Программируемый логический контроллер – разновидность ЭВМ. В большинстве случаев ПЛК применяют для автоматизации процессов.

Основным режимом работы программируемого логического контроллера является длительное автономное использование, часто в неблагоприятных условиях, практически не требуя обслуживания и практически без участия человека

Бывает на основе программируемого логического контроллера выстраивается система числового программного управления станком.

ПЛК используется на устройствах, которые работаю в системах реального времени.

ПЛК обладают рядом специфических особенностей, которые выделяют их среди других электронных приборов, используемых в промышленности:

- ПЛК являются самостоятельным устройством, а не отдельной микросхемой.
- ПЛК ориентированы на работу с машинами через развитый ввод сигналов датчиков и вывод сигналов на исполнительные механизмы.
- ПЛК изготавливаются как самостоятельные изделия, отдельные от управляемого при его помощи оборудования.

В устройствах с системами управления объектами над арифметическими операциями с плавающей точкой преобладают логические команды. При простоте микроконтроллера мы получаем мощные системы, действующие в реальном времени. Числовые операции в языках в современных контроллерах исполняются наравне с логическими. Преимуществом таких контроллеров является простота в манипулировании битами, в отличии от высокоуровневых языков современных компьютеров.

Контроллер на базе персонального компьютера.

Это направление сильно развивается, и это объясняется некоторыми причинами. Этими причинами являются:

- Надежности ПК.
- Различные модификаций ПК.
- Открытая архитектура.
- Подключения любых совместимых модулей УСО, производимых другими компаниями.
- Широкая номенклатура программного обеспечения.

Эти контроллеры используются в промышленности, в специальных системах автоматизации в различных направлениях. Он выполняет функции, выполняют сложную обработку информации с расчетом нескольких воздействий. Основными достоинствами считается большой объем вычислений за относительно короткий период времени. Приближенный принцип работы к офисным ПК, доступность программирования на языках высокого уровня. Поддержка обеспечивается контроллерами, обладают функциями глубокого диагностирования и не останавливаю работу, устраняет неисправности.

Программируемый локальный контроллер.

Классификация ЛПК:

- Встраиваемый. Являющийся обязательной частью оборудования
- Автономный. Основные функции: управление и контроль.

Данные контроллеры обладают средней вычислительной способностью, средней мощностью.

Комплексная характеристика зависит в основном от оперативной памяти, частоты и разрядности компьютера.

Так же данные контроллеры имеют несколько разъемов для передачи данных. Реализованы типовые функции обработки информации, регулировки, блокировки, и программно логическое управление. В противоаварийных системах защиты применяется специальный тип контроллеров, отличающиеся большой надежностью, быстродействием и живучестью. Предусмотрена полная диагностика неисправностей с выявлением их и резервированием компонентов и в целом устройства.

ПЛК состоит из основных элементов:

- микроконтроллер с необходимой обвязкой. Называемая центральная микросхема
- подсистема часов реального времени;
- энергонезависимая память;
- интерфейсы последовательного ввода-вывода (RS-485, RS-232, Ethernet)
- преобразование напряжения и схемы защиты на входах и выходах.

Вход и выход контроллера обычно невозможно моментально подключить к необходимому выходу микросхемы. Данные выходы хар-ся низким напряжением от 3 до 5 В. Входы и выходы контроллера обязаны работать с напряжением переменного или постоянного тока. При переменном токе 220 вольт, а при постоянном 24 вольт. В соответствии с этим между выходом контроллера и выходом микросхемы должен быть предусмотрен усилительный и защитные электрорадиоэлемент.

4.1 Система управления устройством для сварки опор заграждений

Система управления может быть реализована на различных программных логических контроллерах.

Arduino – удобная платформа для быстрой разработки устройств. Подходит как для новичков, так и для профессионалов. Она обрела большую известность и популярность по всему миру. Удобство и простота программирования, открытая архитектура и код. Удобное и простое программирование через порт USB и для этого не применяется программатор.

Благодаря Arduino виртуальный мир компьютеров может с легкость взаимодействовать с физическим миром. Построенные на его базе устройство при необходимости при помощи различных наборов датчиков получают

множество различной информации о том, что происходит вокруг, также Arduino позволяет управлять внешними устройствами.

Микроконтроллер контроллер представленный на рисунке 41 при помощи языка программирования Arduino (основанный на языке Wiring), применяемая среда для разработки Arduino (основанная на среде Processing). Устройства спроектированные на основе Arduino могут работать как самостоятельно, так и при взаимодействии с ПО на компьютере одни из таких Flash, Processing, MaxMSP. Они могут быть собраны самостоятельным путем, также могут быть куплены готовыми в сборке. Доступно бесплатное ПО. Общедоступные исходники чертежей схем.

Рисунок 34 – Микроконтроллер Arduino

Таблица 11 – Алгоритм работы блока управления

Пункт.	Операция.	№ линии /Значение.	Примечание.
1	Запуск.	1/1	Вход с кнопки пуск.
2	Быстрый подъем каретки.	7/1 6/меандр	Выходы на драйвер ШД.
3	Остановка каретки.	2/1 6/1	При срабатывании датчика.
4	Включение горелки.	10/1	Замыкание контактов горелки, через дополнительное реле.
5	Пауза.		Образование начального валика шва.
6	Опускание каретки. Рабочая скорость.	7/0 6/меандр	Сварка.
7	Остановка горелки.	3/1 6/1	Срабатывание датчика.
8	Пауза.		Завершение шва.
9	Выключение горелки	10/0	
10	Опускание каретки.	6/меандр (по количеству шагов).	Уход на безопасное расстояние. Если, это не возможно,

			произвести полное опускание каретки, до срабатывания опрокидывающего устройства .
11	Поворот кантователя.	8/1	Вращение заготовки на 90 градусов.
12	Остановка кантователя.	4/1 8/0	Срабатывание датчика.
13-21 (2-10)	Повторение операций.		Позиция 21(10) полное опускание.
22	Поворот кантователя.	9/1	Возврат в начальное положение.
23	Остановка кантователя.	5/1 9/0	Срабатывание датчика.
Окончание работы.			

ЗАКЛЮЧНИЕ

В соответствии с исходными данными – чертежом конструкции, техническими требованиями к сварной конструкции, проведена работа по проектированию устройства для сварки опор заграждений, для обеспечения равнопрочности сварных швов с основным материалом подобраны соответствующие сварочные материалы, выбраны способы получения неразъемного соединения и оборудование, необходимое для сварки конструкции; рассчитаны режимы сварки, маховое колесо, электродвигатель, произведен расчет станины устройства, приведены сведения о методах контроля сварных соединений.

Для увеличения производительности и улучшения условий труда, а также повышения качества сварных швов, произведена замена ручной сборки сварки на устройство для автоматической сварки на базе механизированной сварки в среде углекислого газа.

Разработанное устройство для сборки и сварки изделия позволяет обеспечить следующие технико-экономические показатели:

– стабильность производства;

– высокое качество сварных швов;

– снижение затрат на материалы;

– увеличение производительности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андросова, Л.М. Оборудование и технологии сварочного производства: Учебное пособие / Л.М. Андросова. - Рн/Д: Изд.центр ДГТУ, 2009. - 46 с.

2. Скрябин, В.А. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник / В.А. Скрябин, А.Г. Схиртладзе, А.Е. Зверовщиков, М. - М.: Инфра-М, 2018. - 384 с.

3. Виноградов, В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки / В.С. Виноградов. - М.: Академия, 2001. - 319 с.

4. Ключев В. И., Терехов В. М Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов, – М.: Энергия, 1980. 360с.

5. Г. Б. Онищенко, М. И. Аксенов, В. П. Грехов, М. Н. Зарицкий, А. В. Куприков, А. И. Нитиевская Автоматизированный электропривод промышленных установок. - М.: РАСХН, 2001г. 520с.

6. Юревич Е.И. Основы робототехники.- СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416с.

7. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. - М.: Академия, 2006. 272с

8. В.П. Демянцевич. Металлургические и технологические основы дуговой сварки. ГНТИ, Москва, Ленинград, 1962 г., 296 стр.

Приложение А

Приложение Б

Приложение В