

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 15.04.01 машиностроение
Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка координатной платформы с ЧПУ для сварки и наплавки образцов УДК 621.791:621.791.92-529:004.415

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Кудинов Дмитрий Игоревич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гордынец А.С.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А.Г.	К.И.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Машиностроение. Машины и технологии сварочного производства.	Гнюсов С.Ф.	Д.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код результата	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P9	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции
P10	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P11	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ С. Ф. Гнусов
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Кудинову Дмитрию Игоревичу

Тема работы:

Разработка координатной платформы с ЧПУ для сварки и наплавки образцов	
Утверждена приказом директора ИШНКБ	Приказ №92/с от 15.01.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	Разработка координатной платформы с числовым программным управлением, устанавливаемой в автоматизированную исследовательскую установку. Основная задача платформы сварка и наплавка экспериментальных образцов без участия человека.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none">1. Литературный обзор.2. Формирование требований к конструкции установки.3. Проектирование механических и электрических узлов координатной платформы.4. Изготовление и испытание координатной платформы.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
---------------------------------------------------------------------------------------------	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	А. Г. Данков, доцент ТПУ, отделение социально-гуманитарных наук
Социальная ответственность	И. Л. Мезенцева, ассистент ТПУ, отделение общетехнических дисциплин

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

2. Разработка требований к конструкции исследовательской установки

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гордынец А.С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Кудинов Дмитрий Игоревич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Кудинов Дмитрий Игоревич

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Определение потенциалов потребителя результатов исследования, SWOT- анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоёмкости работы, расчет бюджета
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Сегментирование рынка*
2. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
3. *Матрица SWOT*
4. *График проведения и бюджет НТИ*
5. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А.Г.	К.И.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Кудинов Дмитрий Игоревич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ61	Кудинов Дмитрий Игоревич

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объектом является методики проведения исследований процессов дуговой сварки и наплавки. Область применения – Исследования процессов дуговой сварки и наплавки

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	<i>Анализ выявленных вредных и опасных факторов при эксплуатации установки: – Электрический ток; – Брызги расплавленного металла и искры; – вредные и газообразные токсические вещества в составе сварочного аэрозоля; – чрезмерная запыленность и загазованность воздуха; – повышенная температура и тепловое излучение свариваемых изделий и сварочной ванны; – отклонение напряженности магнитного поля в помещении; – опасные зоны подвижных частей оборудования; – шум.</i>
2. Экологическая безопасность	<i>Анализ воздействия объекта на: – атмосферу (выбросы); – литосферу (отходы).</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<i>Возможные чрезвычайные ситуации: – пожар</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<i>Правовые нормы трудового законодательства; Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Кудинов Дмитрий Игоревич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 133 с., 36 рис., 25 табл., 21 источников, 2 прил.

Ключевые слова: Исследования сварочных процессов, исследовательская установка, высокоскоростная съемка процессов сварки, координатная платформа, система манипулирования, кинематика H-bot, система управления.

Объектом исследования являются методы проведения осциллографирования силы сварочного тока и напряжения дуги, а также высокоскоростной съемки процессов сварки и наплавки.

Целью работы является разработка и изготовление координатной платформы автоматизированной установки для исследования процессов дуговой сварки и наплавки, необходимой для выполнения сварки и наплавки без непосредственного участия человека.

В ходе работы проводились расчеты деталей механической части, привода и ременной передачи системы манипулирования. Спроектированные дополнительные узлы установки, необходимые для управления координатной платформой и проведения экспериментальных испытаний всей системы. Построена трехмерная графическая модель автоматизированной исследовательской установки и ее узлов, а также испытания реального прототипа.

В результате работы разработана и изготовлена автоматизированная установка для исследования процессов сварки и наплавки.

Область применения: исследование процессов дуговой сварки и наплавки в научных лабораториях и подразделениях различных предприятий и организаций.

Нормативные ссылки

В работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов

ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля

ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования

ГОСТ 6696-66 Сварные соединения. Метод определения механических свойств

ГОСТ 26389-84 Сварные соединения. Методы испытания на сопротивляемость образованию горячих трещин при сварке плавлением

Определения

В работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

воспроизводимость: Характеристика результатов испытаний, определяемая взаимной близостью результатов повторных испытаний объекта.

обратная связь: Процесс, приводящий к тому, что результат функционирования какой-либо системы влияет на параметры, от которых зависит функционирование этой системы.

отрицательная обратная связь: Изменяет входной сигнал таким образом, чтобы противодействовать изменению выходного сигнала.

рабочая зона манипулятора: Пространство, в котором находится его рабочий орган при всех возможных положениях звеньев.

разрешающая способность манипулятора: Наименьшее расстояние, на которое может быть перемещен рабочий орган манипулятора.

числовое программное управление (ЧПУ): Область техники, связанная с применением цифровых вычислительных устройств для управления производственными процессами.

юнит: Единица измерения высоты специального оборудования (телекоммуникационного, IT-оборудования, систем управления и промышленной автоматизации и т. д.) размещаемого стойке или шкафу, имеющих систему крепежа такого оборудования.

Оглавление

Введение	12
1 Литературный обзор	14
1.1 Высокоскоростная видео съемка процессов сварки и наплавки	15
1.2 Осциллографирование электрических параметров режимов сварки и наплавки	18
1.3 Требования ГОСТов, стандартов и другой технической документации	19
1.4 Анализ существующих экспериментальных стендов и установок	23
2 Разработка требований к конструкции исследовательской установки	26
2.1 Общее описание корпуса установки	28
2.2 Описание основных модулей установки	29
2.2.1 Блок видеосъемки	29
2.2.2 Блок числового программного управления манипулятором	30
2.2.3 Блок измерения электрических параметров режимов сварки и наплавки	33
2.2.4 Компьютерный блок управления установки	34
2.3 Определение основной концепции координатной платформы системы манипулирования	35
3 Проектирование частей автоматизированной установки	48
3.1 Подбор корпуса установки	48
3.2 Проектирование координатной платформы	49
3.2.1 Расчет параметров зубчато-ременной передачи	49
3.2.2 Подбор электродвигателей	54
3.2.3 Подбор направляющих стола координатной платформы	58
3.2.4. Сборка координатной платформы манипулятора	61
3.3 Проектирование системы управления манипулятором	65
3.3.1 Проектирование аппаратной части блока ЧПУ	65
3.3.2 Подбор программного обеспечения для блока ЧПУ	67
3.4 Итоги проектирования	71
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	75

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	75
4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	76
4.3 SWOT – анализ	78
4.4 Планирование управления научно-техническим проектом	83
4.4.1 План проекта	83
4.4.2 Бюджет научно-технического исследования	85
5 Социальная ответственность	90
5.1 Производственная безопасность	90
5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, создаваемых манипулятором установки	93
5.1.2 Анализ специфичных вредных и опасных факторов, создаваемых в процессе дуговой сварки и наплавки	95
5.2 Экологическая безопасность	98
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	101
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	104
Заключение	107
Список используемых источников	108
Приложение А	111
Приложение Б	131

Введение

Разработка новых технологий и материалов приводит к увеличению объемов научных исследований и проектов, направленных на совершенствование сварочного производства. И не одно исследование не обходится без использования готового стенда, или заново собираемого из доступного лабораторий оборудования. Практически всегда для проведения однотипных исследований в разных лабораториях применяется оборудование одинакового назначения, но отличающиеся местом производства. Отсутствие стандартизированного сварочного исследовательского оборудования не позволяет говорить об абсолютной точности и достоверности получаемых в результате экспериментов данных.

Еще одним фактором, влияющим на получаемые данные, является непосредственное участие человека в проведении сварки и наплавки. Наличие человеческого фактора не дает объективно интерпретировать полученные результаты, так как от профессиональных навыков персонала, задействованного в проведении исследования, зависят стабильность заданных значений параметров режимов сварки (ток сварки, напряжение дуги, скорость сварки, длина дуги и т.д.).

Как следствие, отсутствие стандартизированного сварочного исследовательского оборудования и человеческий фактор сильно сказывается на воспроизводимости результатов.

Актуальность представленной работы обусловлена отсутствием специализированной и автоматизированной установки для проведения исследований процессов сварки и наплавки.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и изготовление автоматизированной установки для исследования процессов дуговой сварки и наплавки. Главной особенностью разработанного оборудования является система перемещения образцов, представленная в

виде координатной платформы с числовым программным управлением, которая предназначена для выполнения сварки и наплавки без непосредственного участия человека.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

- Проанализировать существующие методики проведения исследований процессов сварки и наплавки;
- Сформулировать технические требования к автоматизированной исследовательской установке;
- Спроектировать основные узлы и механизмы установки;
- Провести экспериментальное испытание разработанной установки.

1 Литературный обзор

Перед разработкой специализированной установки, необходимо определить специфику исследований процессов сварки и наплавки. Это позволит сформировать ряд требований и ограничений при проектировании установки.

Можно различать исследования сварочных процессов и сварных соединений, разделяя эти эксперименты по времени. Например, изучение стойкости металла шва против образования горячих трещин возможно лишь в ходе сварочного процесса. Стойкость же сварного соединения против хрупкого разрушения изучается на полученном сварном соединении [1].

Так получается, что задачи, решаемые при экспериментальном исследовании процессов сварки, можно условно разделить на три группы:

- 1) Определение сущности физико-химических явлений при сварке;
- 2) Статистическое выявление количественной связи конечного параметра процесса с исходным;
- 3) Оптимизация процесса [1].

Задачами же решаемыми при исследовании сварных соединений является установление взаимосвязи между их качеством и:

- параметрами сварочных процессов,
- свойствами соединяемых и используемых материалов,
- влиянием внешних факторов.

Необходимо отметить, что результаты механических испытаний и исследований свойств и структур сварных швов и наплавленного металла, а сварочных процессов, зависят от техники выполнения сварки и наплавки.

Для повышения повторяемости и достоверности результатов, необходимо стандартизированное исследовательское сварочное оборудование позволяющие производить научные работы по стандартным методикам.

Методика – это совокупность методов исследования проблемы, а также сумма технических приемов, связанных с используемыми методами, включая частные операции, их последовательность и взаимосвязь. Например, под методикой исследований в сварке понимают систему способов, приемов, средств сбора, обработки и оценки информации о явлениях, происходящих в процессе получения неразъёмного соединения, ее причинах и условиях, влияния источника нагрева и других физико-химических явлениях [1]. Существует огромное количество общенаучных методов исследований используемых для изучения различных параметров процесса сварки или наплавки, наиболее распространенными же являются:

- Высокоскоростная видеосъемка процессов сварки и наплавки.
- Осциллографирование электрических параметров режимов сварки и наплавки.

При проектировании установки будут учитываться данные методы проведения исследований. Данные касающиеся размеров образцов, требований к оборудованию и параметров сварки и наплавки будут определяться из ГОСТов, стандартов и другой технической документацией.

1.1 Высокоскоростная видео съемка процессов сварки и наплавки

Один из наиболее распространенных методов исследования процессов сварки и наплавки является скоростная видеосъемка. Высокоскоростная съемка позволяет визуализировать и проанализировать процессы происходящие в процессе сварки и наплавки (формирования сварного шва, перенос металла, образование сварочной ванны и т. д).

Довольно подробное описание установки для скоростной видеосъемки процесса сварки имеется в лекциях, подготовленных НТУУ «КПИ», UFU, МУАЦ ИЭС им. Е.О. Патона (рисунок 1.1). С помощью этой

установки получены материалы используемые для написания лекции «Процессы в дуге и перенос металла при сварке MIG/MAG». Исследовательская установка для видеосъемки области дуги с синхронным регистрированием электрических параметров процесса сварки состоит из лазера 1, оптической системы, высокоскоростной видеокамеры 7, устройства предварительной записи изображений (например, Jaz Drive) 9 и система регистрации параметров процесса сварки 11 на базе персонального компьютера 10 [2].

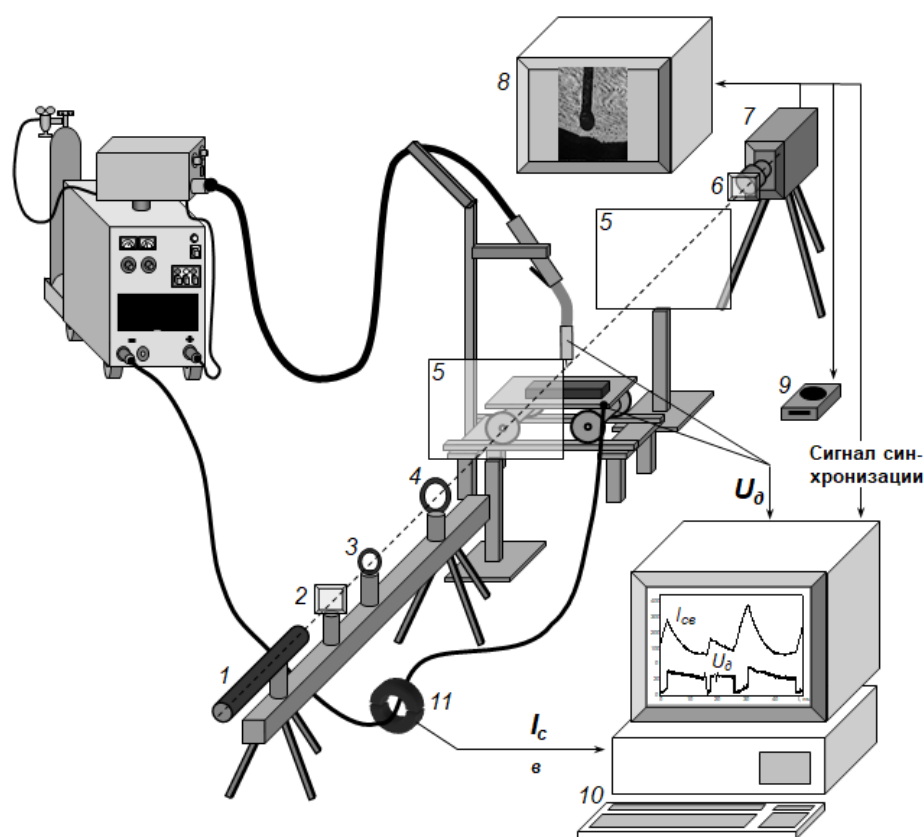


Рисунок 1.1 – Схема установки для высокоскоростной съемки процесса сварки

Лазерный пучок света, а также система линз и фильтров настраиваются таким образом, чтобы получить четкие теневые изображения различных элементов области дуги (торца электрода, капли

жидкого металла, профиля поверхности сварочной ванны и т.п.). В данной системе изображение проецируется в объектив видеокамеры 7 при помощи луча лазера получаемого с помощью системы, состоящей из гелий-неонового лазера красного света 1 и двух линз, одной рассеивающей 3 и другой собирающей 4. Луч проходит сначала через нейтральный фильтр 2, регулирующий интенсивность пучка света лазера. Затем этот луч проходит через рассеивающую (односторонне вогнутую) линзу, что вызывает расширение этого пучка. После прохождения собирающей (односторонне выпуклой) линзы луч становится параллельным с диаметром 48 мм. После прохождения через объект съемки луч лазерного света проходит (перед самым входом в камеру) через интерференционный фильтр 6. Используемая цифровая видеокамера позволяла снимать до 2000 кадров в секунду, что является достаточным для регистрации особенностей процесса формирования капли и ее перехода в сварочную ванну.

Использование теневого метода съемки с применением лазера и оптической системы объясняется высокой контрастностью ярких и темных объектах, которые возникают в ходе свечения яркой сварочной дуги на фоне темных металлических поверхностей.

Так же стоит отметить, что в данной установке сварочная горелка закреплена неподвижно, а перемещается образец по которому ведется сварка или наплавка. Таким образом удастся обеспечить нахождение в фокусе видеокамеры источника сварочной теплоты. Это облегчает видео съемку зоны, в которой наблюдаются процессы происходящие при проведении сварки и наплавки (перенос металла, горение столба дуги, образование и поведение сварочной ванны и т. д.).

Поэтому при проектировании специализированной исследовательской установки так же необходимо закрепление источника сварочной теплоты. Стоит отметить, что относительное друг друга перемещения источника теплоты и образца, при этом никак не измениться. Так же, такой подход позволит исключить из проектирования системы

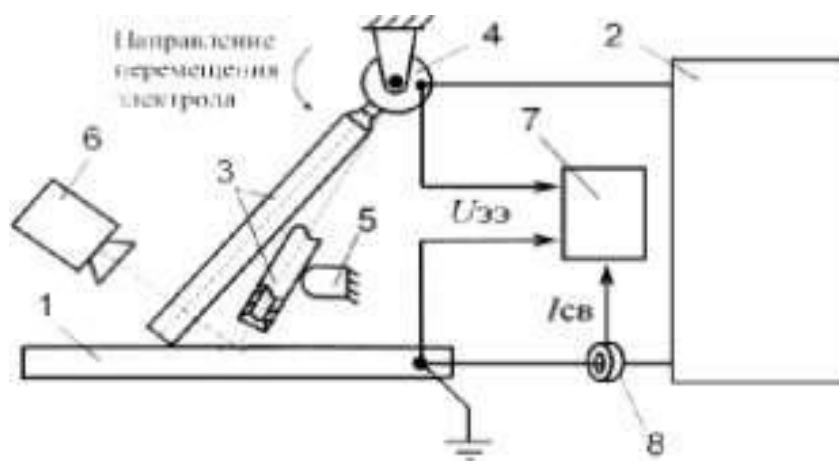
манипулирования специальных приспособлений для направления кабелей и шлангов, сварочных головок, и их защиты от попадания в механизм, и следящей системы для видеокамеры.

1.2 Осциллографирование электрических параметров режимов сварки и наплавки

Применение осциллографа при проведении исследований в сварочном производстве позволяет замерять отклонения от заданных параметров режимов сварки или наплавки. Анализируя получаемые с осциллографа данные можно судить о стабильности процессов или работоспособности оборудования.

Так например в работе «Влияние энергетических параметров инверторных источников питания на структуру и свойства неразъемных соединений при ручной дуговой сварке» [3] оценка стабильности процесса сварки можно осуществлялась с помощью обработки осциллограмм тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием от выпрямителей инверторного и диодного, полученных с использованием осциллографа цифрового запоминающего АКИП-4122/1V, дифференциального пробника Pintek Electronics DP- 50, токоизмерительных клещей LEM HEME PR 1030 и программы OWON_Oscilloscope_2.0.8.26. Схема экспериментальной установки приведенной в данной работе показана на рисунке 1.2.

Полученные с осциллографа данные позволили произвести анализ теплового воздействия энергетических характеристик и оценку влияния свойств источника питания на каплю электродного металла.



1 – изделие; 2 – источник питания; 3 – покрытый электрод; 4 – вращающийся держатель электрода; 5 – ограничитель перемещения электрода; 6 – цифровая высокоскоростная видеокамера; 7 – цифровой запоминающий осциллограф; 8 – датчик тока

Рисунок 1.2 – Экспериментальная установка для высокоскоростной съемки и осциллографирования процесса сварки

Таким образом в конструкции специализированной исследовательской установки должен присутствовать блок измерения электрических параметров режимов сварки и наплавки.

1.3 Требования ГОСТов, стандартов и другой технической документации

Для проведения исследований необходимы экспериментальные образцы. Их размерами ограничиваться минимальное рабочее пространство экспериментальной установки или стенда. Размеры и форма образцов строго регламентируется технической документацией.

Так в соответствии с пунктом 2.4 ГОСТ 6696-66 «Сварные соединения. Метод определения механических свойств» Для контрольных соединений, выполняемых дуговой, электрошлаковой и газовой сваркой из плоских элементов, ширина каждой свариваемой пластины, должна быть не менее:

- 50 мм – при толщине металла до 4 мм;
- 70 мм – св. 4 до 10 мм;
- 100 мм – св. 10 до 20 мм;
- 150 мм – св. 20 до 50 мм;
- 200 мм – св. 50 до 100 мм;
- 250 мм – св. 100 мм.

Длина свариваемых кромок пластин определяется размерами и количеством подлежащих изготовлению образцов с учетом повторных испытаний, припусков на ширину реза и последующую обработку и с добавлением длины неиспользованных участков шва. Размеры неиспользуемых участков принимают равными:

- при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и газовой сварке – не менее 20 мм в начале и не менее 30 мм в конце шва;
- при автоматической и полуавтоматической сварке с любым типом защиты, при толщине металла до 10 мм – не менее 15 мм в начале и не менее 30 мм в конце шва;
- при автоматической и полуавтоматической дуговой сварке под флюсом – не менее 40 мм в начале и не менее 70 мм в конце шва;
- при автоматической сварке под флюсом на токе более 1000 А – не менее 60 мм в начале шва.

А минимальное значение припуска на величину заготовки должно быть:

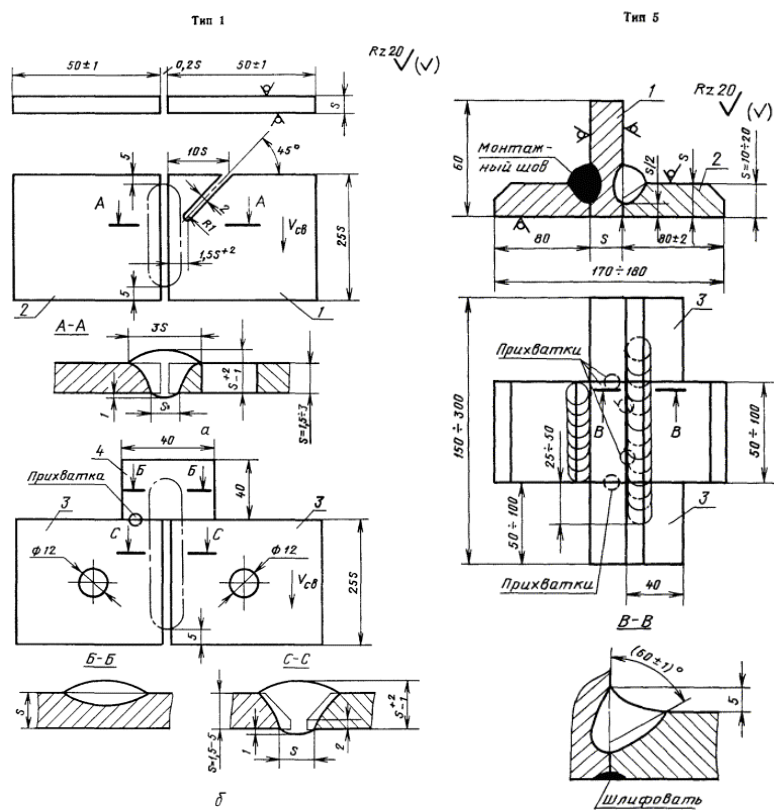
- при толщине металла до 10 мм: кислородная и плазменная резка – 3 мм, механическая, в т. ч. анодно-механическая резка, – 2 мм;
- при толщине металла более 10 до 30 мм: кислородная резка – 4 мм, плазменная резка – 5 мм, механическая, в т. ч. и анодно-механическая резка, – 3 мм;

– при толщине металла более 30 до 50 мм: кислородная резка – 5 мм, плазменная резка – 7 мм, механическая, в т. ч. и анодно-механическая, – 3 мм;

– при толщине металла более 50 мм: кислородная резка – 6 мм, плазменная резка – 10 мм, механическая, в т. ч. и анодно-механическая, – 3 мм.

При некоторых условиях допускается уменьшение вышеуказанных припусков, но не более чем в два раза.

В некоторых ГОСТах так же задается конструкция образцов, например, в ГОСТ 26389-84 «Сварные соединения. Методы испытания на сопротивляемость образованию горячих трещин при сварке плавлением» образцы должны соответствовать чертежам, приведенным на рисунке 1.3.



Тип 1: 1 – пластина с прорезью; 2 – пластина; 3 – пластина с отверстием; 4 – технологическая планка. Тип 5: 1 – уголок (сварной); 2 – пластина; 3 – технологическая планка

Рисунок 1.3 – Примеры чертежей образцов для испытаний по ГОСТ 26389-84.

Материал и метод получения образцов так же указан во втором разделе данного ГОСТа.

В этом же ГОСТе имеются рекомендации по видам, а также скорости сварки, силе тока и напряжении дуги. Например, ориентировочная скорость сварки задается в зависимости от способа сварки и самого свариваемого материала (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Скорость сварки при сварке и наплавке образцов по ГОСТ 26389-84, м/ч

	Способ сварки			
	В инертных газах неплавящимся электродом без/с присадкой	Плавящимся электродом в защитных газах	Автоматическая под флюсом	Ручная дуговая
Низколегированные стали	12	24	24	7,5
Высоколегированные стали	12	24	24	7,5
Сплавы алюминия	12	24	-	-
Сплавы магния	12	24	-	-
Славы меди	12	24	-	-

Таким образом, опираясь на требования, предъявляемые в технической документации определяются размеры рабочей зоны манипулятора исследовательской установки. Рабочую зону системы манипулирования установки можно ограничить размерами 400x600 мм, чего хватит для свободной работы с образцами максимальными габаритами примерно равными 250x350 мм. Данного размера образцов достаточно для проведения большинства исследовательских работ. Расчет на более крупные образцы приведет к увеличению габаритных размеров установки и соответственно занимаемого ее пространства, однако полностью оно использоваться не будет. Так же с увеличением размеров образцов происходит увеличение моментов инерции, которые необходимо

преодолевать двигателями манипулятора. Создаваемые нагрузки отрицательно скажутся на работе двигателей и как следствие на точности позиционирования манипулятора.

1.4 Анализ существующих экспериментальных стендов и установок

Помимо средств измерения и регистрации электрических параметров и видеосъемки процессов сварки и наплавки, а также манипулятора для перемещения образцов, исследовательские стенды могут содержать дополнительное оборудование. В качестве примера рассмотрим два исследовательских стенда.

Первый стенд был использован группой ученых из национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» для исследования пароплазменного факела [4]. Схема собранной установки представлена на рисунке 1.4.

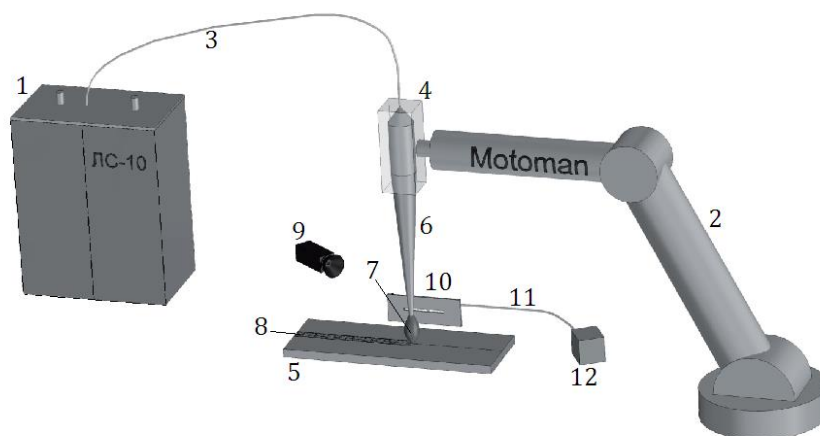


Рисунок 1.4 – Схема экспериментальной установки

В состав установки входили иттербиевый волоконный лазер 1 марки ЛС-10 и 6-осевой робот 2. Излучение транспортировалось до места

сварки по оптическому волокну 3 и фокусировалось оптической головкой 4 на поверхность металла 5. Манипулятор робота 2, удерживающий оптическую сварочную головку 4, обеспечивал перемещение точки фокусировки лазерного пучка 6 по поверхности металла в двух взаимно перпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости, а так же перемещение оптической головки в вертикальном направлении. Во всех экспериментах пучок 6 волоконного лазера, а также все измерительное оборудование оставались неподвижными, а сварка происходила за счет перемещения металлических образцов 5, находящихся на линейной подвижной платформе (на схеме не показана). В результате взаимодействия с металлом лазерного излучения с высокой плотностью мощности над поверхностью образца 5 образовывался сварочный факел 7, являющийся объектом исследования. Подача защитных технологических газов в зону сварки проводилась с помощью гребенки из четырех трубок, расположенных вдоль направления сварного шва 8 над ванной расплава за лазерным пучком 6. Для высокоскоростной съемки процесса сварки была установлена видеокамера 9. При спектрометрических измерениях за сварочным факелом устанавливалась узкая щель 10, за которой находился волоконно-оптический коллиматор, подключенный с помощью оптоволокну 11 к спектрометру 12. Все оборудование, за исключением лазера, находилось в специализированной кабине, предназначенной для проведения лазерной сварки. Из отличительных особенностей можно отметить наличие специальной гребенки для подачи защитного газа и изолированность всей установки от исследователей.

Вторым станет стенд использовавшийся в ЮТИ ТПУ при сравнении санитарно-гигиенических характеристик способов сварки плавящимся электродом в защитных газах [5]. Исследовательский стенд включал в себя: автоматическую сварочную установку MECOME, укомплектованную механизмом импульсной подачи электродной проволоки, источник питания Lorch S 8 SpeedPulse, смесительное

оборудование WittBM-2M и систему документирования данных Q-Data, а также оборудование для отбора проб и анализа воздуха вокруг сварочного поста. В данной установке стоит обратить внимание на наличие приборов для отбора и анализа проб воздуха. Использование дополнительного оборудования при проведении научных работ говорит об необходимости модульной конструкции автоматизированной исследовательской установки, для возможности подключения дополнительных систем и оборудования.

2 Разработка требований к конструкции исследовательской установки

Исходя из всего выше изложенного формируются основные требования к установке. Так как установка проектируется модульной, то есть каждый блок является самостоятельной единицей, для удобства ее использования все модули устанавливаются в единый корпус.

Базовыми модулями, необходимыми при большинстве исследований, являются:

- Система манипулирования.
- Блок измерения электрических параметров режимов сварки.
- Блок скоростной видеосъемки.
- Блок управляющего компьютера.
- Система удаления сварочных аэрозолей.

Блок видеосъемки позволяет производить высокоскоростную съемку процессов сварки и наплавки. Для этого видео камера сфокусирована на промежутке между неподвижно закрепленной сварочной горелкой и перемещаемым сварочным образцом.

Для измерения силы тока и сварочного напряжения в сварочную цепь включается блок измерения. Внутри блока измерения находится датчики тока и напряжения, отправляющие данные на управляющий компьютер установки.

Управление установкой осуществляется через компьютер с установленным специальным программным обеспечением. В память компьютер записываются все данные, поступающие с блока измерения электрических параметров режима сварки и наплавки. Подключенный монитор позволяет выводить изображение, получаемое с камеры высокоскоростной съемки. Установленное программное обеспечение позволяет проводить анализ поступающих данных.

Через компьютер оператором осуществляется управление системой манипулирования. Система манипулирования состоит из координатной платформы и блока с числовым программным управлением (блок ЧПУ). В блоке ЧПУ происходит обработка поступающих с компьютера команд, которые преобразуются в сигналы управляющие двигателями координатной платформы. Через блок ЧПУ так же происходит управление сварочным источником питания.

Координатная платформа системы манипулирования предназначен для перемещения сварочного образца относительно горелки при проведении сварки и наплавки.

Функциональная схема установки приведена на рисунке 2.1.

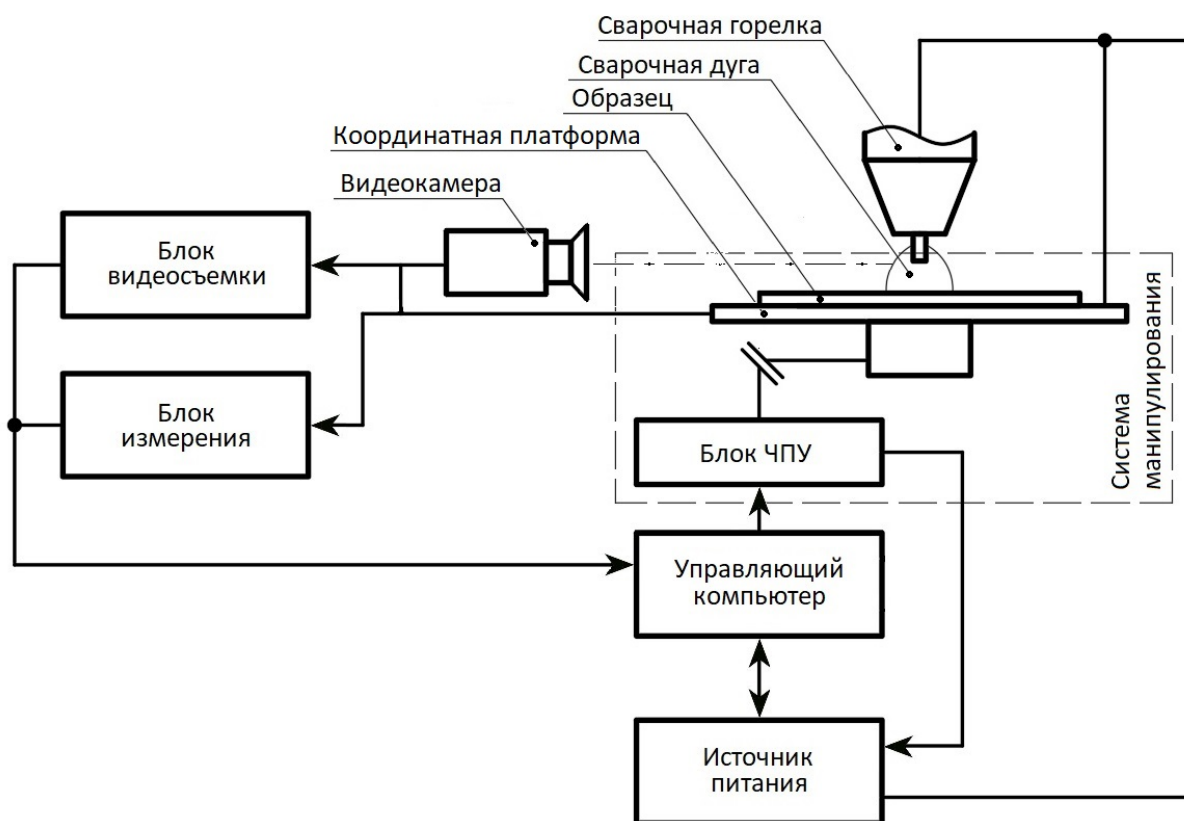


Рисунок 2.1 – Функциональная схема установки

2.1 Общее описание корпуса установки

В качестве корпуса установки предполагается использование стандартного шкафа для электротехнического оборудования, так как в нем предусмотрена удобная система крепления различных модулей. Это позволит использовать готовые решения для крепления внутри всего необходимого оборудования и модулей. Типоразмеры устанавливаемых в корпус модулей, электротехнического оборудования, измеряются в юнитах.

Корпус установки предполагается разделить на 2 половины. В верхней половине находится рабочая зона манипулятора, а также скоростная видеокамера, сварочная горелка, система вентиляции и стекла со светофильтрами, необходимые для наблюдения за процессами сварки и наплавки. В нижней половине устанавливаются блоки числового программного управления и измерения электрических параметров режимов сварки и наплавки, управляющий компьютер, а также источник питания сварочной цепи. Каждая половина имеет двери необходимые для ограничения доступа к внутренним частям установки.

Помимо удобства компоновки модулей, корпус позволит защитить пользователей от вредного воздействия ультрафиолетового излучения, аэрозолей, паров и газов, или повреждений от вылетающих брызг расплавленного металла, а установленные внутри механизмы и оборудование от нежелательного воздействия внешней среды или неосторожного обращения.

Концептуальное представление корпуса установки с смонтированными модулями приведено на рисунке 2.2.

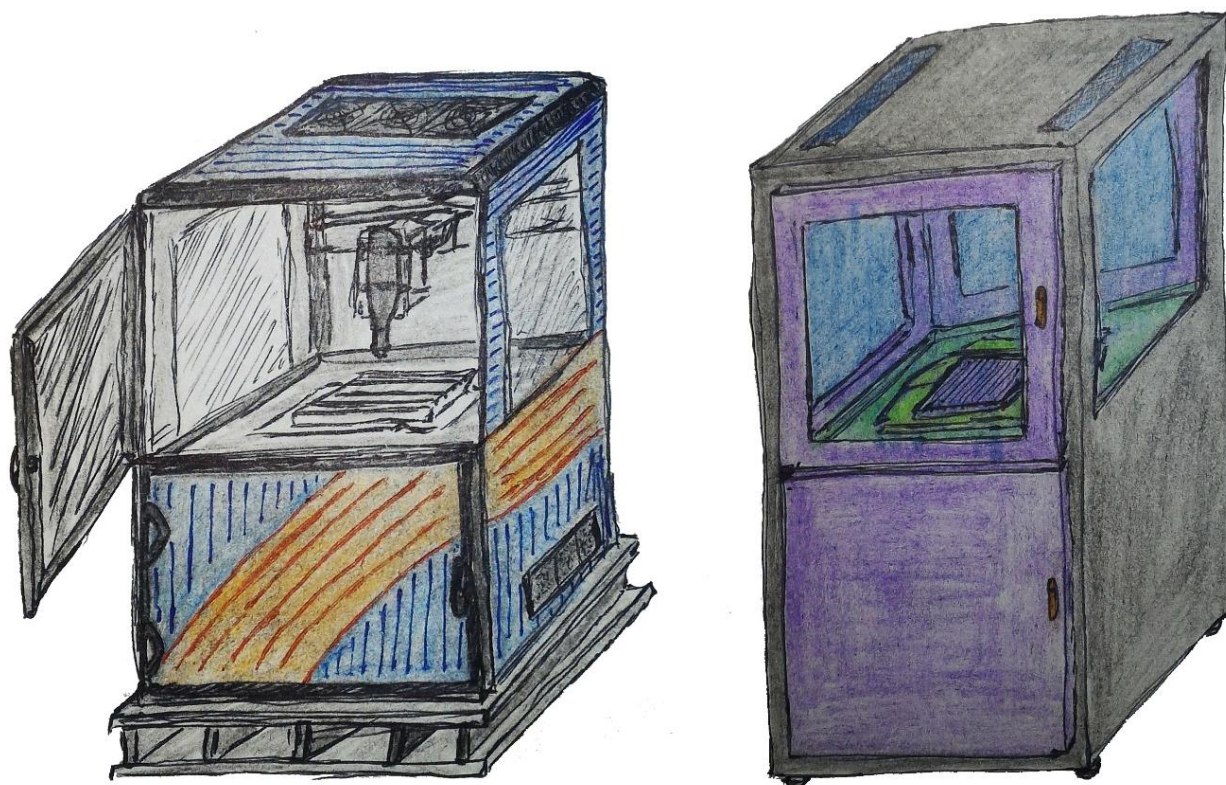


Рисунок 2.2 – Концепт автоматизированной установки для исследований процессов дуговой сварки и наплавки

2.2 Описание основных модулей установки

2.2.1 Блок видеосъемки

Для проведения видеосъемки процессов сварки и наплавки в установку встраивается оптическая система с лазером и видеокамерой аналогичная описанной в разделе 1.1.

Камера устанавливается в верхней секции, на одном уровне с манипулятором, так чтобы в фокус камеры попадали зона сварки и дуга. Камера соединяется с компьютером для передачи, обработки и вывода на получаемого видеоизображения.

Лазерная установка, необходимая для пересвечивания дуги, устанавливается уже в нижней секции под камерой. Связанно это с

большими размерами лазера. Оптическая система перенаправляет и изменяет луч лазера так, чтобы пересветить дугу и получить на камере ее теневое изображение. Далее под лазером устанавливаются блок измерения, управляющий компьютер, необходимые периферийные устройства и прочее оборудование.

2.2.2 Блок числового программного управления манипулятором

Блок ЧПУ предназначен для управления координатной платформой системы манипулирования. В блок ЧПУ поступают команды, вводимые оператором через компьютер, а также сигналы с датчиков манипулятора, которые преобразуются в управляющие сигналы для электродвигателей. Так же через блок ЧПУ происходит управление питанием электродвигателей и сварочной цепи. В состав блока ЧПУ входят:

- Плата управления с микроконтроллером.
- Драйверы двигателей.
- Блок питания.
- Реле управления сварочным источником питания.

Микроконтроллер является основным управляющим элементом в блоке ЧПУ. Он с помощью установленного программного обеспечения производит преобразование команд, вводимых оператором, в сигналы необходимые для управления шаговыми двигателями. Сигналы с датчиков, ограничивающих рабочее пространство, так же поступают в микроконтроллер для ограничения работы двигателей и тем самым предохранения системы от повреждений. При проектировании системы управления манипулятором был использован микроконтроллер Atmel AVR ATmega328P с предустановленным загрузчиком программ и смонтированный на печатной плате для облегчения программирования.

ATmega328P – 28 контактный микроконтроллер, с 8-битным процессором, обладающий высокой производительностью. Специальные функции микроконтроллера:

- сброс при включении питания и программное распознавание снижения напряжения питания;
- внутренний калибруемый генератор тактовых импульсов;
- обработка внутренних и внешних прерываний;
- 6 режимов сна (пониженное энергопотребление и снижение шумов для более точного преобразования АЦП)

Напряжения питания и скорость процессора:

- 1.8 – 5.5 В при частоте до 4 МГц;
- 2.7 – 5.5 В при частоте до 10 МГц;
- 4.5 – 5.5 В при частоте до 20 МГц.

Микроконтроллер требует для питания максимум 5В, этого недостаточно для нормальной работы шагового двигателя. Поэтому для питания высоковольтных обмоток двигателя, а также управления направлением и скоростью его вращения и точного задания числа «шагов» используются драйверы двигателя.

Драйвер шагового двигателя – это электронное силовое устройство, которое на основании цифровых сигналов управляет высоковольтными обмотками шагового двигателя и позволяет делать шаги (вращаться). Драйверы двигателя позволяют на аппаратном уровне увеличивать число шагов двигателя, за счет управления напряжением на его обмотках. Данный режим работы называется – микрошаговым.

Микрошаговый режим обеспечивается путем получения поля статора, вращающегося более плавно, чем при обычных режимах. В результате обеспечиваются меньшие вибрации и практически бесшумная работа. К тому же меньший угол шага способен обеспечить более точное позиционирование. Драйверы двигателя в данном манипуляторе настраиваются на режим 1/16 шага.

Для энергопитания манипулятора в блок ЧПУ встроен блок питания подключаемый в сеть 220 В. В конструкции используется блок питания MeanWell RID-125-2405. Данный блок преобразует энергию питающей сети в два стабилизированных напряжения – 5 В для питания всей логической схемы ЧПУ и 24 В для шаговых двигателей.

Реле управления источником питания необходимо для включения и отключения сварочного тока. Реле управляется с микроконтроллера в соответствии с программой или командами оператора.

Все компоненты собираются в стандартном корпусе который устанавливается в 19 дюймовую стойку для электрооборудования. Высота корпуса блока ЧПУ равняется 1 юниту (44,45 мм).

На рисунке 2.3 приведена модель блока ЧПУ.

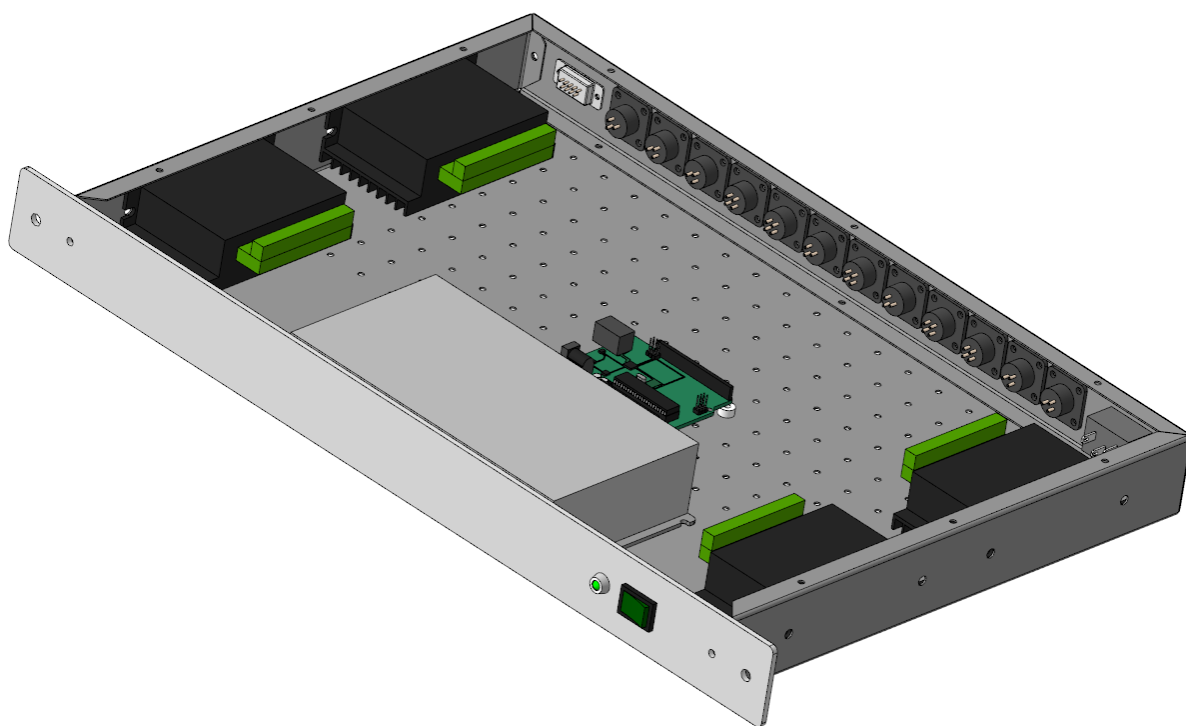


Рисунок 2.3 – Блок ЧПУ системы манипулирования

2.2.3 Блок измерения электрических параметров режимов сварки и наплавки

Блок измерения предназначен для осциллографирования электрических параметров режимов сварки и наплавки. Для этого внутри корпуса блока измерения устанавливается токоизмерительный датчик осциллографа с блоком питания.

Корпуса блока измерения выполнены высотой 3 юнита (133,35 мм). В передней панели блока предусмотрен индикатор показывающий подключение напряжения, а также кнопка включения и отключения питания. На корпусе блока имеются отверстия для установки сварочных контактов, внутреннего крепления необходимых электронных компонентов и разъемов подключения для питания и связи с компьютером для передачи данных (рисунок 2.4).

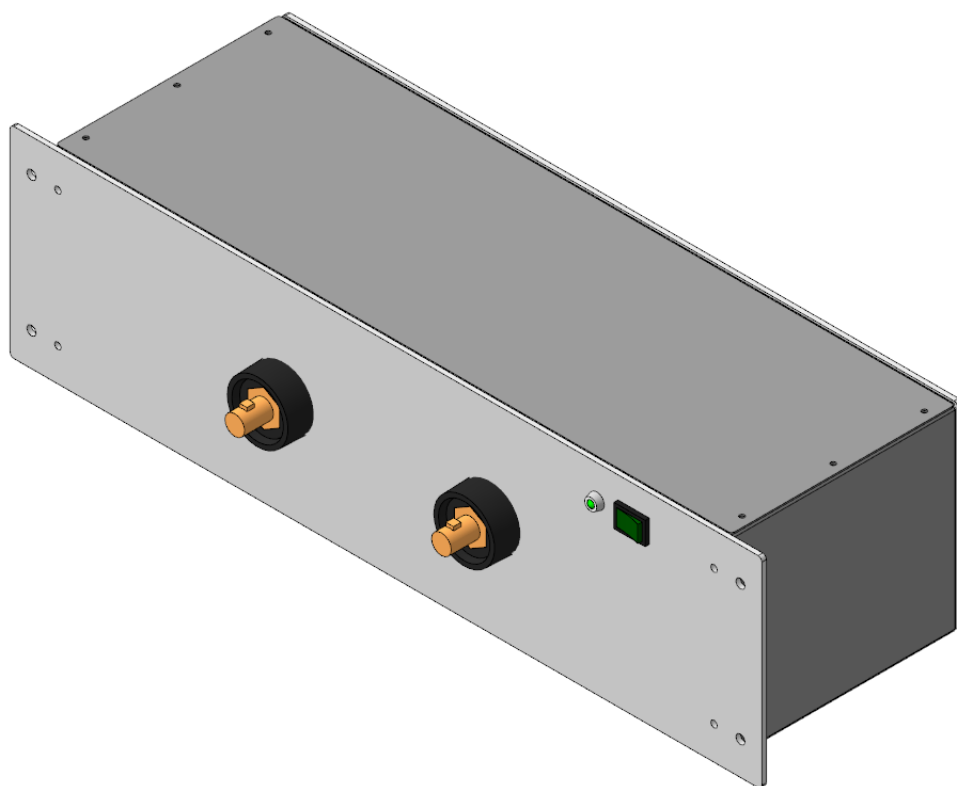


Рисунок 2.4 – Блок измерения

2.2.4 Компьютерный блок управления установки

Для управления автоматизированной исследовательской установкой, а также обработки получаемых, от блока измерения и видеосъемки, данных в корпусе монтируется компьютерный блок. Он представляет из себя стандартный персональный компьютер, с соответствующими комплектующими:

- Материнской платой.
- Жестким диском.
- Оперативным запоминающим устройством.
- Блоком питания.
- Графической платой (видеокартой).

Так же к материнской карте подключается несколько плат расширения для работы со всеми модулями установки. Так, например, плата-осциллограф позволяющая получать и обрабатывать данные с блока измерения.

Корпус компьютера выполнен высотой 3 юнита. На передней панели компьютера располагаются отверстия для установки USB разъемов, светового индикатора активности жесткого диска, индикатора, показывающий подключение напряжения, а также кнопки включения и отключения питания. На задней панели имеются монтажные окна разъемов материнской платы и ее расширений, выполненных по стандартам АТХ. Так же предусмотрены отверстия для установки блока питания, и дополнительных разъемов связи. В корпусе имеются отверстия для монтажа материнской платы и жесткого диска (рисунок 2.5).

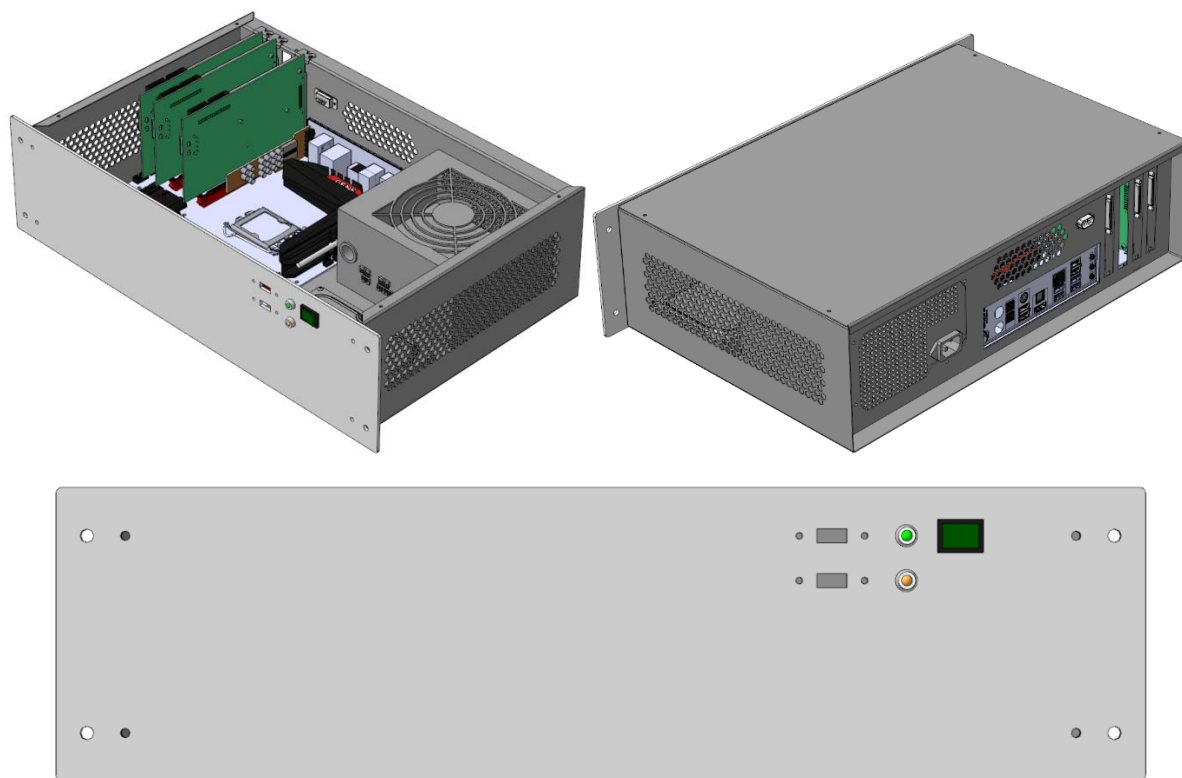


Рисунок 2.5 – Компьютер исследовательской установки

2.3 Определение основной концепции координатной платформы системы манипулирования

Прежде всего необходимо определиться с траекторией перемещения манипулятора. На практике в сварочном производстве применяется большое количество траекторий движения конца электрода (рисунок 2.6), при дуговых способах сварки, необходимые для улучшения качества сварного соединения. От формы и ширины траекторий движения электрода зависит качество получаемого сварного соединения.

Поэтому координатная платформа должен иметь возможность повторения любой сложной траектории движения сварочной горелки относительно образца. Для этого необходима большая точность позиционирования стола координатной платформы манипулятора.

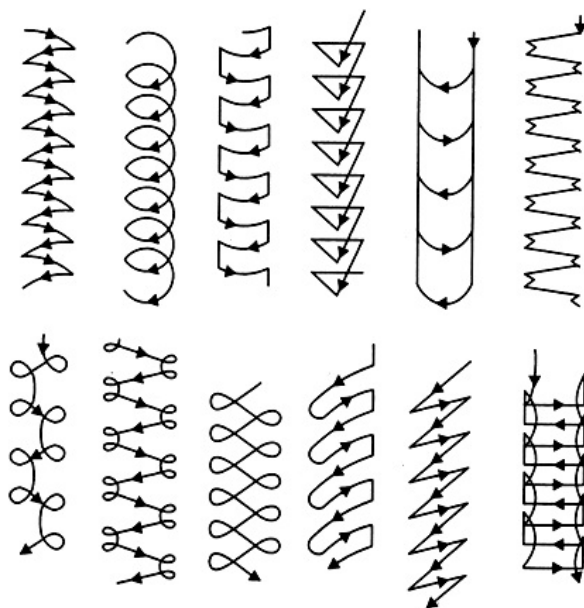


Рисунок 2.6 – Схемы возможных траекторий движения электрода

Сложные траектории движения конца электрода возможно получить применив промышленного робота. Однако, из выше изложенного можно понять, что использование промышленного робота в качестве системы манипулирования нежелательно. Конструкция большинства современных роботов затрудняет или полностью не позволяет производить видеосъемку процессов, происходящих в месте образования соединения при проведении сварки и наплавки. Основной проблемой в данном случае является то, что робот перемещает сварочную горелку из-за чего для видеосъемки необходимо проектировать следящую за дугой систему, перемещающую видеокамеру. Такая система, совместно с роботом будут занимать значительное пространство в помещении, что является нежелательным фактором. Не стоит забывать, что роботы являются технически сложным и дорогостоящим оборудованием, требующим соответствующего уровня обслуживания высококвалифицированными специалистами. Высокая стоимость является одним из определяющих критериев влияющим на выбор об использовании робота при проведении исследования. Поэтому необходима разработка недорогостоящей

альтернативной системы манипулирования на основе более простой координатной платформы. Одним из основных отличий системы манипулирования используемой в установке является то, что в качестве объекта перемещения выбраны сварочные образцы.

Опираясь на пункт 1.3 система манипулирования должна иметь компактную конструкцию, по возможности перекрывающуюся собственной рабочей зоной, что осуществляется за счет выбора системы координат и соответствующе ей кинематической схемы. Согласно [6] существует пять основных типов манипуляторов различающихся системой координат и соответствующе ей кинематической схемой в которой задается движение:

1. Манипуляторы, работающие в декартовой системе координат;
2. Манипуляторы, работающие в цилиндрической системе координат;
3. Манипуляторы, работающие в сферической системе координат;
4. Шарнирные манипуляторы, работающие в ангулярной системе координат;
5. Манипуляторы со схемой SCARA.

Первый тип манипуляторов определяется тремя взаимно перпендикулярными осями перемещения, по которым происходит перемещение объекта манипулирования. Данный тип манипуляторов работает в декартовой системе координат (рисунок 2.7).

Положение объекта в данной системе задается координатами x , y и z . А движение задается зависимостями координат от времени t .

Данный тип манипуляторов обладает высокой разрешающей способностью и высокой подвижностью, позволяющей добиваться любой траектории движения перемещаемого объекта, обладает одной из наиболее простых схем в управлении движением звеньев, так как независим от гравитационной нагрузки.

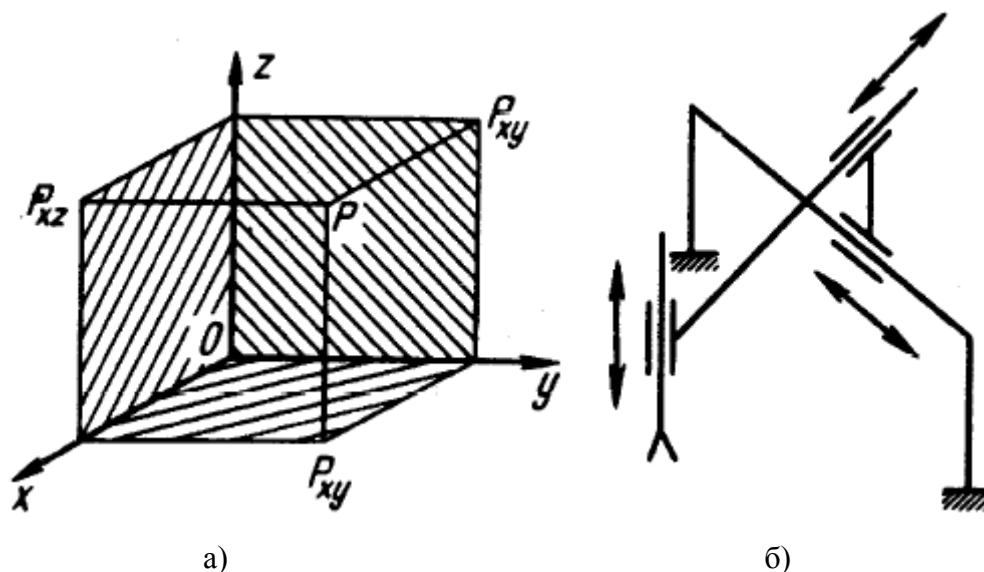


Рисунок 2.7 – Прямоугольная декартова система координат (а) и общая кинематическая схема манипуляторов, работающих в ней (б)

Основным недостатком большинства исполнений является взаимосвязь между размерами манипулятора и его рабочей зоны. Связанно это с тем, что размер рабочей зоны ограничивается размерами направляющих, по которым движется конечное звено манипулятора.

Второй тип манипуляторов работает в цилиндрической системе координат. Данная система координат характеризуется перемещением объекта в основной координатной плоскости в направлении радиус-вектора r и угла φ (плоская полярная система координат), а также по нормали к ней z . Движение в данной системе координат задается изменением r от времени и углом φ (рисунок 2.8).

При данном типе конструкции манипулятора можно сделать достаточно жесткой и почти полностью независимой от гравитационных нагрузок. Однако, такой манипулятор будет обладать меньшей точностью и разрешающей способностью по сравнению с работающими в декартовой системе координат.

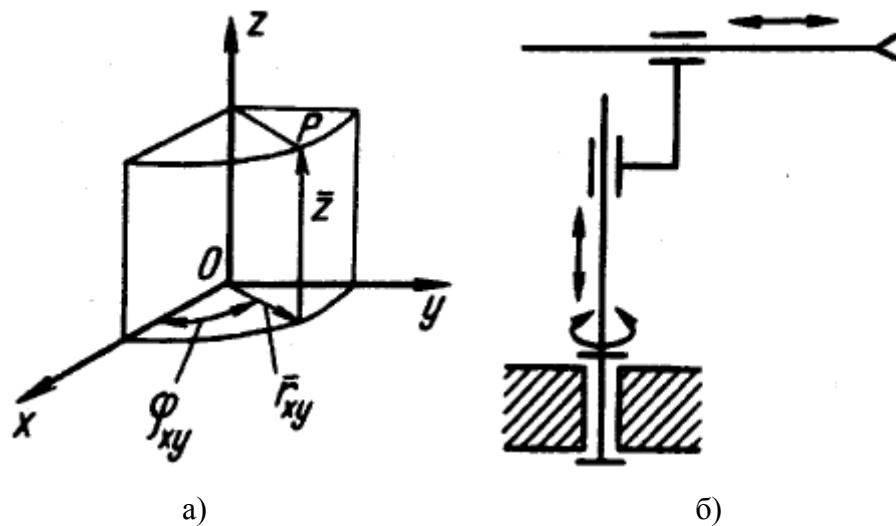


Рисунок 2.8 – Цилиндрическая система координат (а) и общая кинематическая схема манипуляторов, работающих в ней (б)

Третий тип манипуляторов – работающие в сферической (пространственной полярной) системе координат. Перемещения объекта манипулирования в пространстве осуществляется за счет линейного движения руки робота на величину r и ее угловых перемещений φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рисунок 2.9).

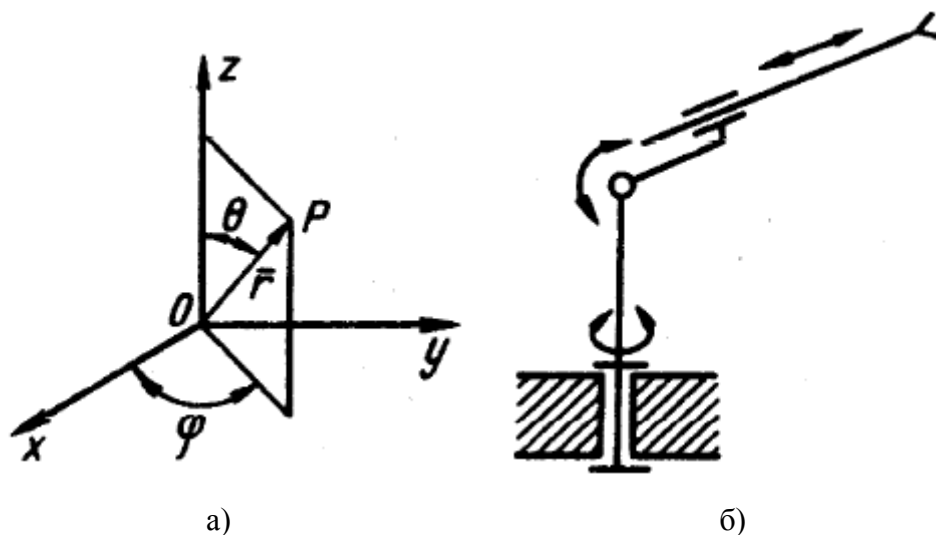


Рисунок 2.9 – Сферическая система координат (а) и общая кинематическая схема манипуляторов, работающих в ней (б)

Недостатками данного типа являются: значительные моменты в некоторых сочленениях механизма, и ограниченная способность избегать столкновения с препятствиями. Так же стоит отметить, что данный тип манипуляторов ориентирован на работу в пространстве, при использовании его в данном проекте вся кинематика в итоге сведется к манипуляторам второго типа.

Четвертый тип манипуляторов работает в угловой системе координат. Разновидностью такой системы координат является ангулярная плоская или пространственная (цилиндрическая и сферическая) система координат, характерная для движений многозвенных шарнирных рук промышленных роботов и манипуляторов.

В ангулярной плоской системе координат объект манипулирования перемещается в координатной плоскости благодаря относительным поворотам звеньев, имеющих постоянную длину. Ангулярная цилиндрическая система характеризуется дополнительным смещением относительно основной координатной плоскости в направлении перпендикулярной к ней координаты z . В ангулярной сферической системе координат перемещение объекта в пространстве происходит только за счет относительных угловых поворотов, при этом хотя бы одно звено имеет возможность поворота на углы φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рисунок 2.10). Для управления движением точки P нужно определять значения углов θ и φ в зависимости от прямоугольных координат x и y . Эта обратная задача требует значительных вычислений с обратными тригонометрическими функциями и может быть выполнена с большой скоростью только на ЭВМ, что вызывает сложность в написании программы для управления манипулятором. Так же к недостаткам данного типа манипуляторов относят:

– большие переменные моменты, что определяет повышенные нагрузки на привод;

– более низкое разрешение и точность по сравнению с рассмотренными выше типами.

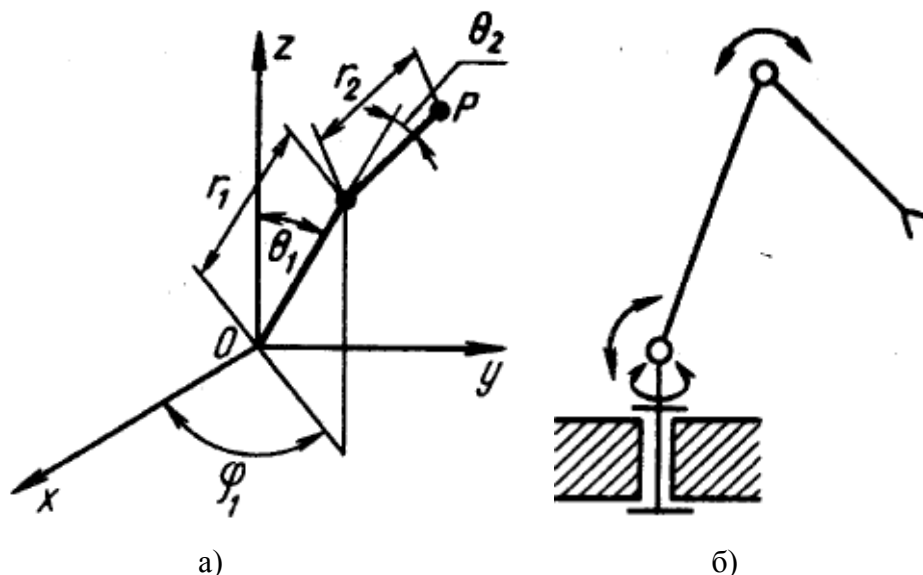


Рисунок 2.10 – Угловая система координат (а) и общая кинематическая схема манипуляторов, работающих в ней (б)

Пятый тип манипуляторов построен по схеме SCARA. Они так же работают в угловой системе координат, однако обладают большей подвижностью в горизонтальной плоскости. Конструктивно представляя собой объединение манипуляторов, работающих в цилиндрической и ангулярной системе координат. Данный тип манипуляторов имеет 2 вращательные пары, соединённые жесткими рычагами для перемещения рабочего органа в плоскости. Такая структурная схема позволяет «складываться» манипулятору уменьшая его размеры и увеличивая рабочую зону. Положение объекта манипулирования задается углом поворота звеньев, аналогично плоской ангулярной кинематике и высотой z , как в цилиндрической системе координат (рисунок 2.11).

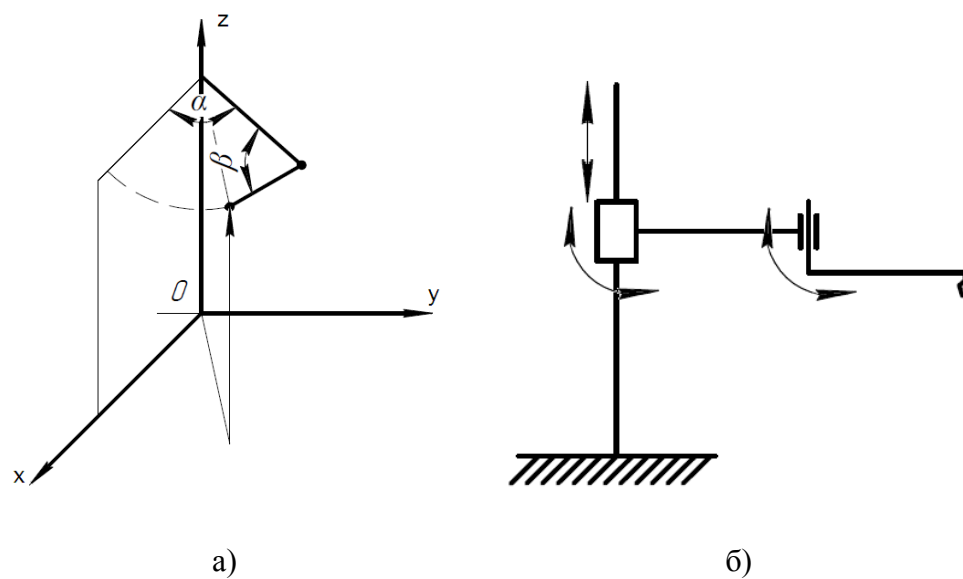


Рисунок 2.11 – Система координат SCARA (а) и общая кинематическая схема манипуляторов, работающих в ней (б)

На данный момент данная кинематика является одной из наиболее перспективных, но является так же сложной в управлении, так как требует сложной обработки обратной кинематики для перевода стандартных координат в угол поворота шагового двигателя. Еще один из основных недостатков, высока стоимость компонентов механизма, по сравнению с манипуляторами, работающими в декартовой системе координат.

Однако учитывая, что при проведении исследований с видеосъемкой, сварка производится преимущественно в одном пространственном положении, можно ограничить кинематику координатной платформы тремя степенями свободы: двумя для совершения сварочного движения и одной для подвода и отвода сварочной горелки. Таким образом для проектирования координатной платформы, исследовательской установки, подойдут кинематики манипуляторов первого, второго и пятого типов. При принятии равными значений надежности и точности кинематических схем всех трех типов

манипуляторов, наиболее простым и экономным является проектирование координатной платформы, работающего в декартовой системе координат.

Существует несколько структурных кинематических схем используемых при проектировании различных высокоточных систем манипулирования:

- XY Gantry.
- H-Bot.
- CoreXY.
- Delta XY.

XY Gantry – представляет собой стандартную схему, при которой для перемещения объекта по одной оси используется один двигатель, управляющей этой осью. Данная схема обладает довольно большими габаритными размерами и высокой инерционностью, связано это с расположением одного из двигателей на подвижной каретке. Один из примеров исполнения подобной схемы приведен на рисунке 2.12.

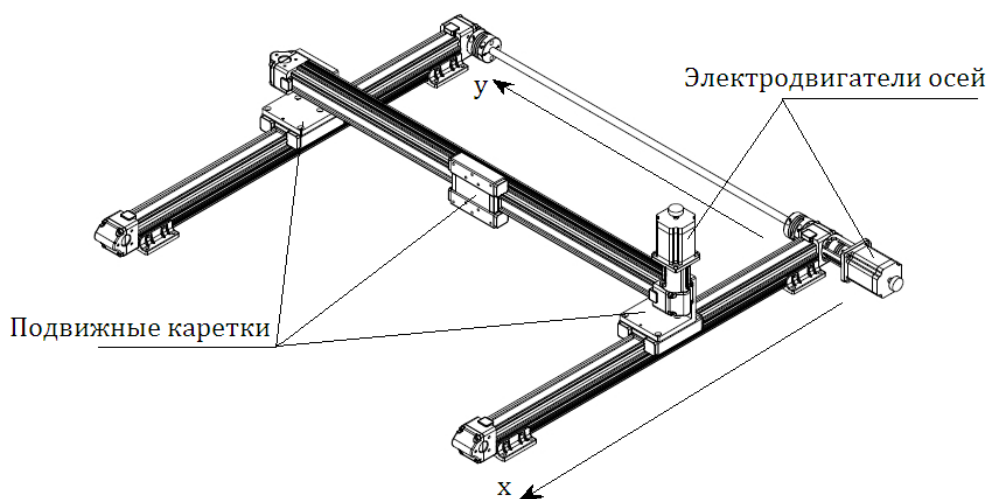


Рисунок 2.12 – Пример исполнения схемы XY Gantry

Во всех описанных далее схемах перемещением объекта совершается с помощью двух двигателей, работающих независимо друг от

друга. В данных схемах почти полностью решена проблема с инерционностью системы, так как двигатели закрепляются стационарно в корпусе манипулятора.

Delta XY – упрощенная вариация дельта-робота, представляет из себя две подвижные каретки соединённые с общей платформой (конечным звеном) рычажными (пантографическими) механизмами с шарнирными сочленениями. Положение объекта манипулирования задается смещением кареток относительно друг друга и смещением общей платформы через рычажный механизм (рисунок 2.13). Основной сложностью при использовании такой схемы является преобразование свободной траектории перемещения рабочего органа в поступательное взаимное перемещение кареток. Так же стол, на котором будет крепиться сварочный образец, и сам образец будут создавать на рычаги и каретки манипулятора изгибающий момент, ухудшающий точность позиционирования.

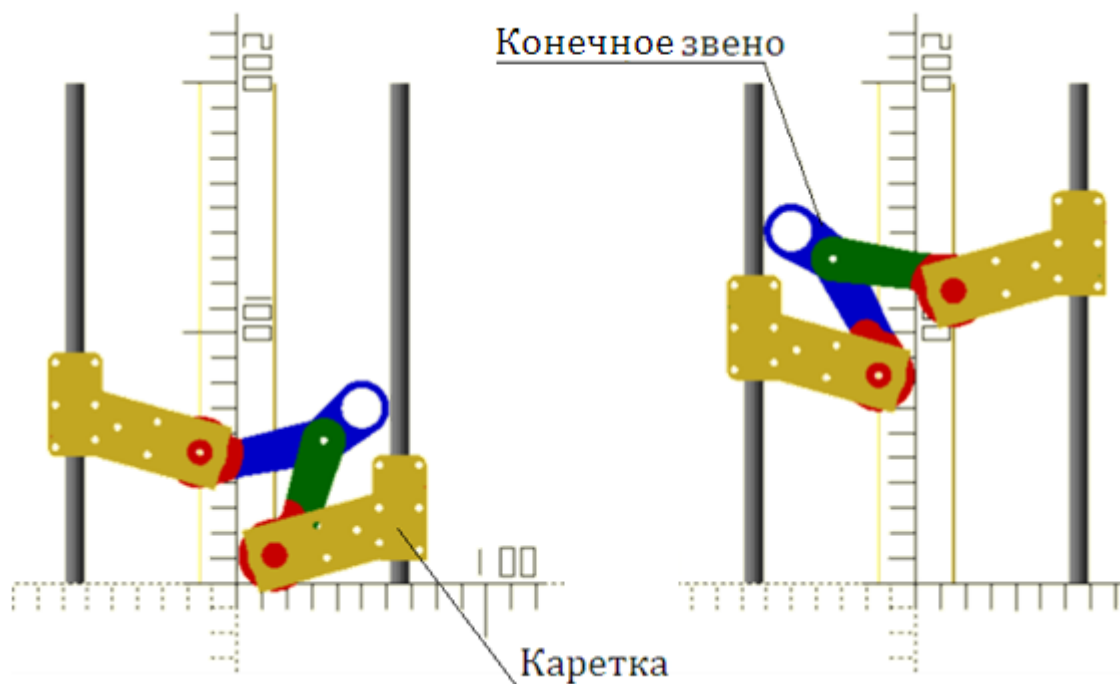


Рисунок 2.13 – Структурная схема кинематики Delta XY

Оставшиеся 2 схемы имеют общие принципы построения. H-Bot и CoreXY – схемы, построенные на ременной передаче, конечное звено приводится в движения парой электродвигателей. Электродвигатели работают не независимо друг от друга, однако их взаимодействие позволяет обеспечить заданную траекторию движения конечного звена манипулятора. Возможно это благодаря тому, что зубчатый ремень соединяется с центральной кареткой и, проходя через систему шкивов и двигатели, образует замкнутый контур. Схема CoreXY использует 2 пересекающихся ремня, для образования замкнутого контура, что усложняет ее проектирование.

Поэтому, в проекте, разработка координатной платформы базируется на схеме H-bot. В этой схеме ремень одним концом закреплённый на каретке, двигающейся по оси y , проходит через шкивы на каретках, двигающихся по оси x , через неподвижный ролик и два шаговых двигателя замыкаясь в H-образный контур. Регулируя скорость и направление вращения шаговых двигателей можно задать любую траекторию движения перемещаемого объекта в горизонтальной плоскости (рисунок 2.14).

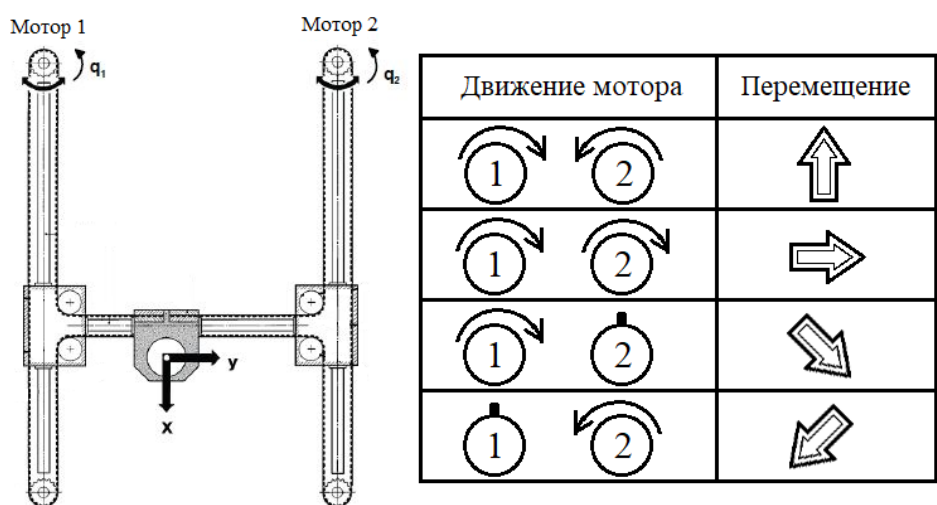


Рисунок 2.14 – Кинематическая схема H-bot и схема движения каретки в зависимости от взаимного вращения моторов

Разрешение координатной платформы настраивается за счет подбора шага зубьев зубчатого ремня и ведущих шкивов, а также подбора угла поворота вала электродвигателя.

И так можно выделить следующие преимущества данной схемы:

- компактность;
- статичность двигателей – перемещение замыкающего звена производится за счет движения ремня;
- необходимость всего одного ремня и двух электродвигателей для системы.

Для увеличения общей массы образцов, которые может перемещать координатная платформа, в схему добавлены два дополнительных электродвигателя, вместо ведомых осей. Дополнительные двигатели соединяются с противостоящими в пары. Для управление парой электродвигателя достаточно одного сигнального воздействие, что позволяет полностью их синхронизировать. Однако стоит сказать, что возникает необходимость обеспечение точного вращения электродвигателей. Данный факт может вызвать сложность при создании управляющей программы манипулятора

Для ограничения хода координатной платформы используются индуктивные датчики, установленные в крайних положениях по осям x и y . Так же они позволяют выставить координатную платформу в начальное рабочее положение.

На рисунке 2.15 представлена модель конечного варианта координатной платформы системы манипулирования, выполненного по схеме H-Vot. Проектирование координатной платформы описано в разделе 3.2.

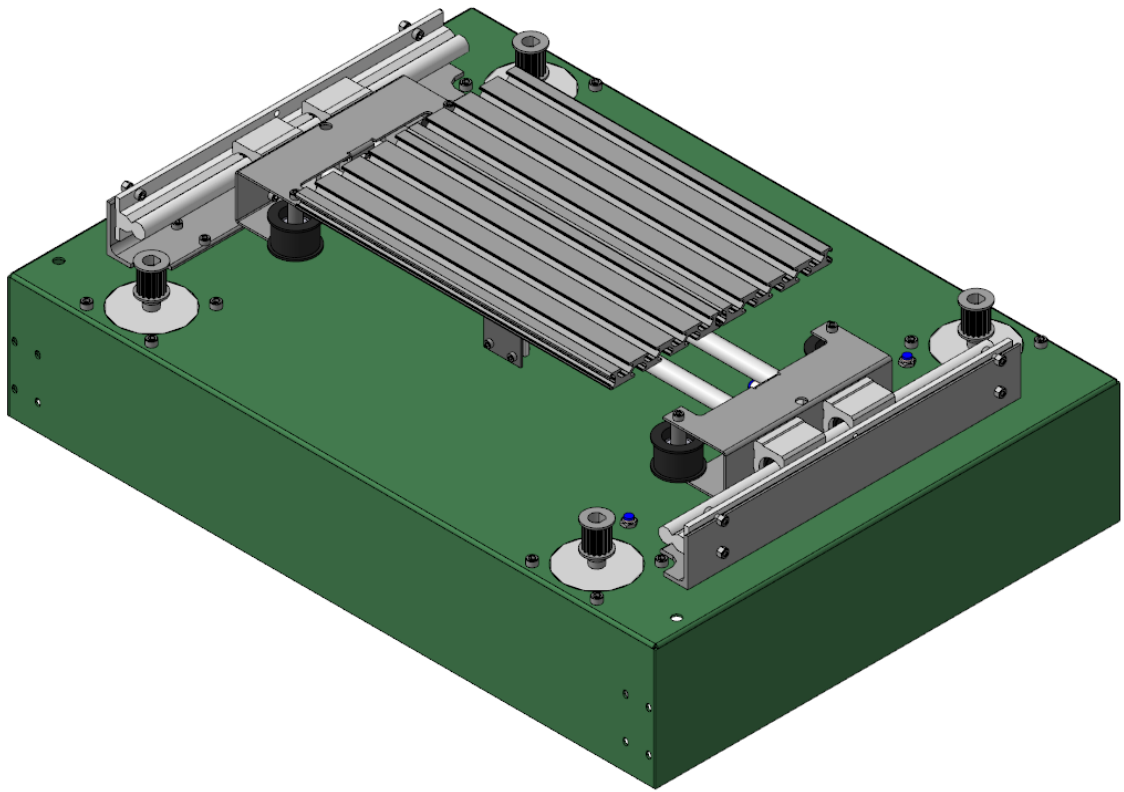


Рисунок 2.15 – Механическая часть системы манипулирования

3 Проектирование частей автоматизированной установки

Проектирование установки начинается с подбора корпуса, далее опираясь на выбранные ранее параметры и требования, производится расчет и подбор компонентов системы манипулирования установкой. Этот процесс поэтапно можно разделить на:

- разработку координатной платформы;
- разработку системы управления.

И как итог проектирование, получение модели и рабочего образца автоматизированной исследовательской установки.

3.1 Подбор корпуса установки

Так как корпус делится на 2 секции, то подбор высоты происходит из расчета на вместимость всех блоков и удобства использования установкой. В соответствии с ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» высота рабочей поверхности, в установке это стол координатной платформы манипулятора, должна быть примерно равной 955мм. Тогда с учетом установки в верхней секции сварочной горелки, и системы вентиляции в качестве корпуса установки выбирается стойка высотой 2200мм. Такая высота позволит оператору свободно проводить подготовку установки к исследованию (установку образцов, смену сварочной горелки/головки и т. д.) и обеспечит удобство наблюдения за процессами происходящими внутри рабочей зоны. Ширина корпуса принята равной 600мм, данный размер ограничен лишь размерами манипулятора и выбирался из стандартного ряда. Глубина корпуса должна обеспечивать возможность размещения камеры и системы манипулирования на одном уровне для видеосъемки процессов сварки и наплавки. Необходимо так же обеспечить размещение лазера и оптической системы, необходимых для

пересвечивания дуги. Поэтому из доступных типоразмеров для корпуса установки используется стойка с глубиной 1200мм. Таким образом в качестве корпуса установки используется сетевой шкаф VARISTAR Colocation RAL 7021, конструкция которого имеет разделение на две секции с дверями для доступа внутрь.

3.2 Проектирование координатной платформы

В своей сущности выбранная кинематическая схема H-bot – это замкнутая зубчато-ременная передача в которой движение замыкающего звена задается одновременным вращением двух электродвигателей, поэтому первым этапом ее проектирования будет расчет размерных параметров зубчатых шкивов и ремня. Вторым этапом станет подбор шаговых электродвигателей, которые будут приводить в движение стол координатной платформы. На третьем этапе необходимо провести подбор и проверочный расчет направляющих, по которым будет двигаться стол с образцами.

3.2.1 Расчет параметров зубчато-ременной передачи

Исходные данные принимаются из условий устанавливаемых для исследований процессов сварки плавящимся электродом в среде защитных газов:

- вес образцов не превышает 2 кг, принимается из расчета на образцы размером 200x300x4 мм;
- скорость сварки равна 0,01 м/с.

А так же задаются некоторые минимальные параметры координатной платформы:

- примерный вес стола равен 7 кг;
- количество шагов электродвигателя равно 200;

– перемещение образца по прямой на плоскости на 1 шаг электродвигателя равно 0,4 мм;

Расчета зубчато-ременной передачи начинается с определения передаваемой мощности и частоты вращения ведущего вала, необходимые для определения типа ремня [7]. Передаваемая мощность рассчитывается по формуле 3.1:

$$P_{\text{тр}} = (G_{\text{из}} + G_{\text{ст}}) * g * U, \text{ Вт}; \quad (3.1)$$

где $G_{\text{из}}$ – вес изделия, кг;

$G_{\text{ст}}$ – вес стола манипулятора, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

U – скорость сварки, м/с ;

$$P_{\text{тр}} = (7 + 2) * 10 * 0,01 = 90 * 0,01 = 0,9 \text{ Вт}.$$

Частоту вращения можно рассчитать определив максимально допустимый размер зубчатого шкива. За полный оборот вала зубчатый ремень преодолет расстояние равное произведению перемещения за один шаг на число шагов электродвигателя. В месте с валом двигателя полный оборот совершит и шкив, приводящий в движение ремень. Ремень движется по условной касательной к окружности шкива, поэтому его перемещение можно использовать как максимальную длину окружности последнего. Зная длину окружности можно определить делительный диаметр шкива и как следствие частоту вращения вала из скорости сварки.

Таким образом формула 3.2 для расчета предельного значения делительного диаметра шкива равна:

$$d = \frac{N * \Delta}{\pi}, \text{ мм}; \quad (3.2)$$

где N – количество шагов электродвигателя, шт.;

Δ – перемещение на один шаг, мм;

$$d = \frac{200 * 0,4}{3,14} = 25,48 \text{ мм},$$

Далее определяется частота вращения, равная (формула 3.3):

$$\vartheta = \frac{2*U}{2\pi*d}, \text{ c}^{-1}; \quad (3.3)$$

$$\vartheta = \frac{2 * 10}{6,28 * 25,48} = 0,12 \text{ c}^{-1} = 7,2 \text{ мин}^{-1}.$$

По полученным значениям мощности и частоты вращения определяется тип и модуль ремня, в соответствии с диаграммой, приведенной на рисунке 3.1.

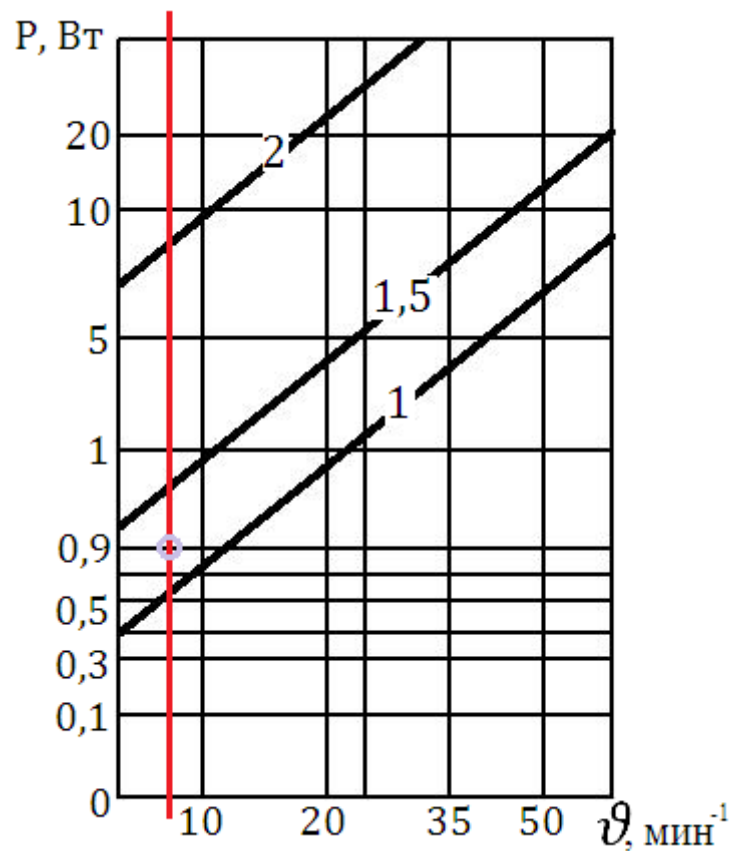


Рисунок 3.1 – Диаграмма для выбора модуля зубчатого ремня

С учетом передаваемой мощности и частоты вращения вала двигателя принимается модуль ремня $m = 1,5$ мм. Данному модулю соответствует зубчатый ремень конструкции НТД типоразмера М5 [8]. Данный ремень обладает полукруглым профилем, который менее подвержен износу и изменениям профиля зубьев.

Шаг зубьев ремня рассчитывается по формуле 3.4:

$$p = \pi * t, \text{ мм}; \quad (3.4)$$

$$p = 3,14 * 1,5 = 4,71 \text{ мм.}$$

Для ремней 5М шаг принимается равным 5 мм.

Далее определяется ширина зубчатого ремня. Для этого по формуле 3.5 определяется окружная сила:

$$F_t = (G_{из} + G_{ст}) * g, \text{ Н}; \quad (3.5)$$

$$F_t = (7 + 2) * 10 = 90 \text{ Н}$$

Так же определяется допускаемая удельная окружная сила (формула 3.6):

$$[K_{п}] = [K_0] * C_p * C_F - qU^2, \text{ Н/мм}^2; \quad (3.6)$$

где $[K_0]$ – допускаемая приведенная окружная сила, равная 5 Н/мм для $m = 1,5$;

C_p – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между проволоками троса, равный 0,85;

C_F – коэффициент динамической нагрузки и режима работы, равный 0,86;

q – масса 1 м ремня шириной 1 мм, равная 0,007 кг/(м*мм);

$$[K_{п}] = 5 * 0,85 * 0,86 - 0,007 * 0,01^2 = 3,65 \text{ Н/мм}^2.$$

По формуле 3.7 определяется ширина ремня:

$$b = \frac{F_t}{[K_{п}]}, \text{ мм}; \quad (3.7)$$

$$b = \frac{90}{3,65} = 24,62 \text{ мм.}$$

Полученное значение округляется до стандартного 25 мм.

Длина зубчатого ремня определяется длиной замкнутого Н-образного контура схемы, и принимается равной 2500 мм.

Далее производится расчет шкивов зубчато-ременной передачи.

Учитывая, что в схеме Н-bot передаточное число равно 1, то делительные диаметры всех шкивов одинаковы и равны (формула 3.8):

$$d = m * z, \text{ мм}; \quad (3.8)$$

где z – число зубьев, шт.

Из уравнения 3.4 можно вычислить число зубьев шкивов (формулу 3.9):

$$z = \frac{d}{m}, \text{ шт}; \quad (3.9)$$

$$z = \frac{25,48}{1,5} = 16,56 \text{ шт.}$$

Полученное значение округляется до стандартного – 16 шт, что больше чем минимальное число ведущего колеса для передачи такого типа [7].

Так как делительный диаметр шкива не превышает 90мм, то его конструкция является монолитной [8]. Схематичный чертеж шкива приведен на рисунке 3.2.

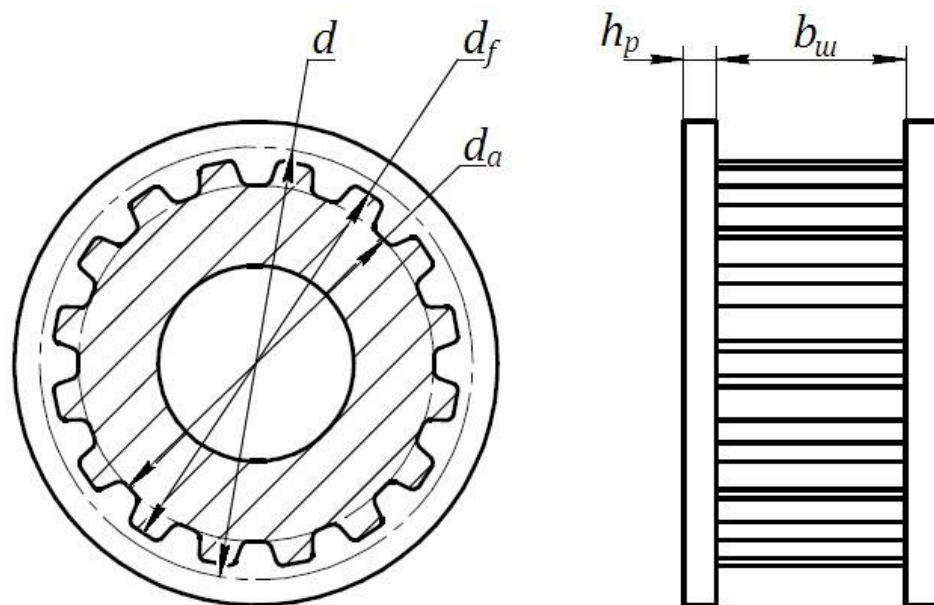


Рисунок 3.2 – Чертеж зубчатого шкива

Диаметр вершин зубьев рассчитывается по формуле 3.10:

$$d_a = d - 2H + k, \text{ мм}; \quad (3.10)$$

где $H = 0,6 \dots 0,8$;

k – корректирующий коэффициент, равный 0,08 мм;

$$d_a = 25,48 - 2 * 0,7 + 0,08 = 24,16 \text{ мм.}$$

Диаметр впадин зубьев рассчитывается по формуле 3.11:

$$d_f = d_a - 2h_{ш}, \text{ мм}; \quad (3.11)$$

где $h_{ш}$ – высота зуба, равная 2,1мм;

$$d_f = 24,16 - 2 * 2,1 = 19,96 \text{ мм.}$$

Ширина обода шкива вычисляется по формуле 3.12:

$$b_{ш} = b + m, \text{ мм}; \quad (3.12)$$

$$b_{ш} = 25 + 1,5 = 26,5 \text{ мм.}$$

Для предотвращения соскальзывания ремня в процессе работы шкивы выполняются с ребордами, высота которых равна 7 мм при $m \leq 7$.

Далее производится подбор электродвигателей, приводящих в движение стол координатной платформы.

3.2.2 Подбор электродвигателей

Следующим этапом разработки является выбор типа электродвигателя, который будет приводить стол координатной платформы манипулятор в движение. Для получения высокой точности позиционирования объекта манипулирования необходим строгий контроль поворота вала двигателя. Поэтому стандартные синхронный и асинхронный двигатели не подойдут для обеспечения движения стола координатной платформы, без использования дополнительных датчиков и стопорящих механизмов, превращающих их в сервоприводы.

Сервопривод – мотор-редуктор с управлением через отрицательную обратную связь, позволяющую точно управлять углом поворота вала. Сервопривода включают с себя: привод – например, электромотор; датчик обратной связи – например, датчик угла поворота выходного вала редуктора (энкодер); блок питания и управления (он же преобразователь частоты\инвертор).

Основным достоинством сервоприводов является наличие обратной связи, благодаря которой такая система может поддерживать точность позиционирования на высоких скоростях и высоких моментах. Также систему отличает низкая инерционность и высокие динамические характеристики, например время переключения от скорости –3000 об/мин до достижения 3000 об/мин составляет всего 0,1 с. Величина шага перемещения определяется разрешающей способностью датчика обратной связи, энкодера, а так же блоком управления. Стандартные сервоприводы могут обеспечить шаг в $0,036^\circ$ т.е. $1/10000$ от оборота, на скоростях до 5 000 об/мин.

Второй вариант управления углом поворота вала двигателя – использование шаговых двигателей. Шаговые двигатели – это электромеханические устройства, преобразующие сигнал управления в угловое (или линейное) перемещение ротора с фиксацией его в заданном положении без устройств обратной связи. По сути, шаговый двигатель является синхронным, но отличается подходом управления. Существуют шаговые двигатели с постоянными магнитами и гибридные.

Гибридные двигатели являются более дорогими, чем двигатели с постоянными магнитами, зато они обеспечивают меньшую величину шага, больший момент и большую скорость. Типичное число шагов на оборот для гибридных двигателей составляет от 100 до 400 (угол шага $3,6-0,9^\circ$). Ротор гибридного двигателя имеет зубцы, расположенные в осевом направлении. Ротор разделен на две части, между которыми расположен цилиндрический постоянный магнит. Таким образом, зубцы верхней половинки ротора являются северными полюсами, а зубцы нижней половинки – южными. Кроме того, верхняя и нижняя половинки ротора повернуты друг относительно друга на половину угла шага зубцов. Число пар полюсов ротора равно количеству зубцов на одной из его половинок. Зубчатые полюсные наконечники ротора, как и статор, набраны из отдельных пластин для уменьшения потерь на вихревые токи. Статор

гибридного двигателя также имеет зубцы, обеспечивая большое количество эквивалентных полюсов, в отличие от основных полюсов, на которых расположены обмотки. Обычно используются 4 основных полюса для 3,6 ° двигателей и 8 основных полюсов для 1,8-0,9 ° двигателей. Зубцы ротора обеспечивают меньшее сопротивление магнитной цепи в определенных положениях ротора, что улучшает статический и динамический момент. Это обеспечивается соответствующим расположением зубцов, когда часть зубцов ротора находится строго напротив зубцов статора, а часть между ними [9]. Зависимость между числом полюсов ротора, числом эквивалентных полюсов статора и числом фаз определяет угол шага S двигателя (формула 3.13):

$$S = 360 / (N_{ph} * P_h) = 306 / N, \quad (3.13)$$

где N_{ph} – число эквивалентных полюсов на фазу, равное числу полюсов ротора,

P_h – число фаз,

N – полное количество полюсов для всех фаз вместе.

На первый взгляд кажется очевидной необходимость использования сервопривода в манипуляторе, однако при сравнении, наиболее бросающемся в глаза, станет различие в цене. Так как сервопривод представляет собой комплекс устройств, его цена значительно превышает цену шагового двигателя. Шаговый двигатель так же является более простым в управлении устройством, так как не требует сложной настройки параметров, необходимой для корректной работы сервопривода. Во время работы манипулятора, если произойдет заклинивание – шаговые двигатели просто будут пропускать шаги, в то время как сервопривод в случае неправильной настройки может повредить передачу или обмотки собственного двигателя.

Конечно, шаговые двигатели имеют и недостатки, такие как:

– шум при работе;

– возможность пропуска шагов при неправильном разгоне двигателя;

– возможность вхождения крупных двигателей в резонанс, что приведет к пропуску шагов.

Но их влияние можно уменьшить в ходе проектирования.

Подбор шагового электродвигателя производится с помощью сравнения момента инерции, необходимого для приведения в движение стола манипулятора, с моментом удержания/рабочим моментом электродвигателя.

Используя известные значения, веса стола с изделием и делительного диаметра шкива, выводится формула 3.14 для определения минимального необходимого момента:

$$M_{\text{тр}} = (G_{\text{из}} + G_{\text{ст}}) * g * \frac{d}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.14)$$

$$M_{\text{тр}} = (7 + 2) * 10 * \frac{25 * 10^{-3}}{2} = 90 * 0,0125 = 1,125 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Учитывая, что с увеличением частоты вращения экспоненциально снижается рабочий момент двигателя, принимается шаговый электродвигатель PL86H75-D14 с моментом удержания равным 4,6 Н·м. Такой электродвигатель сможет развивать достаточный момент до частоты вращения в 5000 Гц. Так же данный электродвигатель обладает необходимым, минимальным, значением угла шага в $1,8^{\circ}$ что дает 200 шагов на один оборот двигателя. Но при необходимости данное значение может быть раздроблено на меньшее, с помощью аппаратных средств управления.

Полные характеристики электродвигателя приведены в таблице 3.1 и на рисунке 3.3.

Таблица 3.1 – Технические характеристики шагового электродвигателя PL86H75-D14

Угловой шаг, °	1,8±5%
Число фаз	2
Сопротивление изоляции, МОм	100
Температура окруж. Среды, °С	-20 ~ 40
Рабочая температура, °С	110 max
Ток фазы, А	3,5
Индуктивность фазы, мГн	4,7±20%
Сопротивление фазы, Ом	1,0±40%
Момент удержания, Н·м	4,6
Момент инерции, г·см ²	1400
Масса	2,1

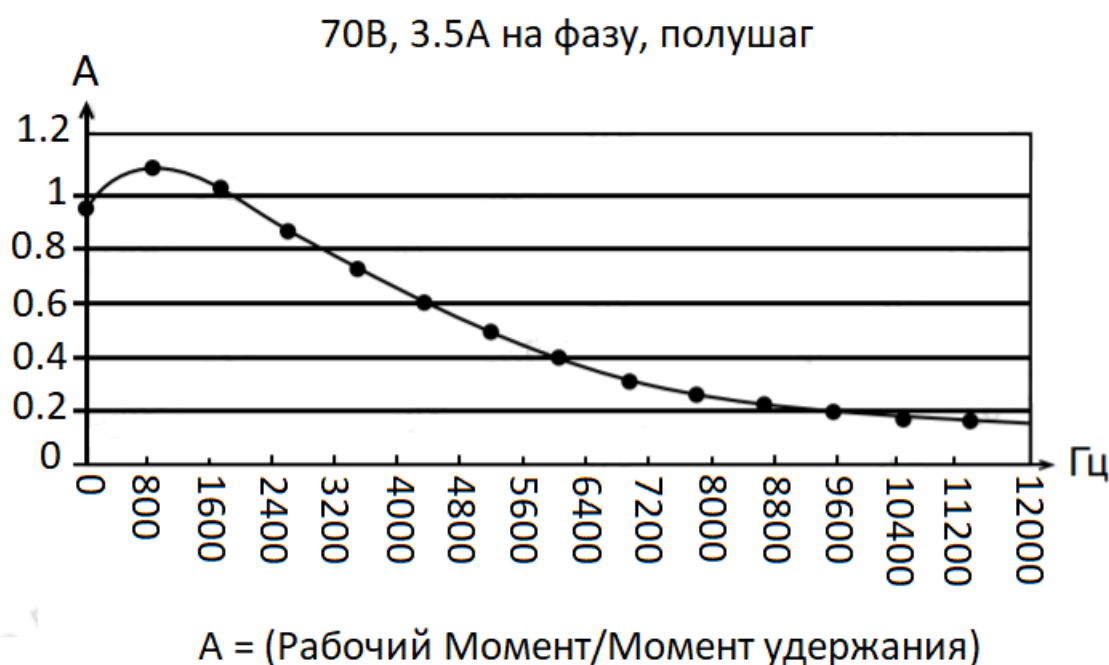


Рисунок 3.3 – График зависимости момента от частоты шагового электродвигателя PL86H75-D14

3.2.3 Подбор направляющих стола координатной платформы

Направляющие необходимы для поддержания и обеспечения перемещения кареток и стола координатной платформы. Для обеспечения перемещения стола в горизонтальной плоскости по оси Y используются

цилиндрические алюминиевые направляющие с диаметром 16 мм, а по оси X рельсы. Если рельсовые направляющие имеют жесткое крепление по всей длине и не могут изгибаться под действием веса кареток и стола, то цилиндрические – имеют всего две точки закрепления. Для обеспечения жесткости конструкции, и как следствие точности и безотказности системы, производится проверочный расчет цилиндрических направляющих на прогиб.

Проводится расчет направляющих в соответствии с методикой расчета нагруженной балки круглого сечения. Исходными данными для расчета будет вес стола с свариваемым изделием ($Q = 90 \text{ Н}$), допустимая нагрузка ($[\sigma] = 56 \text{ МПа}$) и схема распределенной нагрузки – рисунок 3.4.

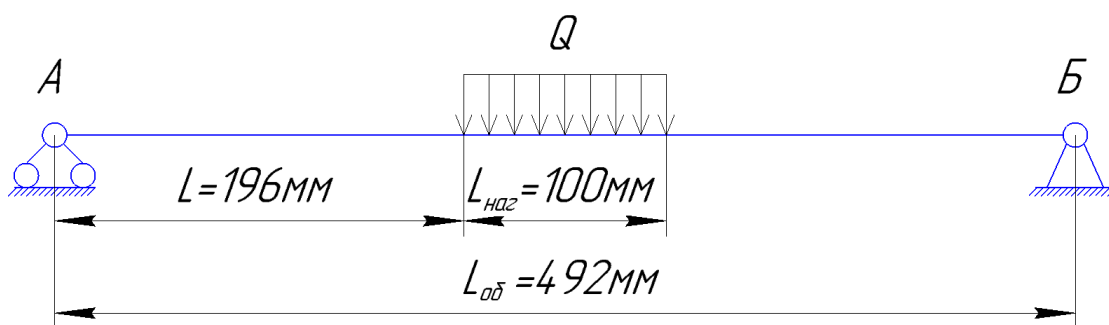


Рисунок 3.4 – Схема нагрузки на направляющую

В начале, по формуле 3.15, рассчитывается момент, действующий на направляющую:

$$M = Q * \left(\frac{L_{наг}}{2} + L \right), \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.15)$$

$$M = 90 * \left(\frac{100 * 10^{-3}}{2} + 196 * 10^{-3} \right) = 22,14 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

По формуле 3.16 рассчитываются минимальное сечение балки:

$$W = \frac{M}{[\sigma]}, \text{ мм}^3; \quad (3.16)$$

$$W = \frac{22,14}{56 * 10^6} = 395,35 \text{ мм}^3.$$

Направляющая имеет круглое сечение, через известное значение сечения, по формуле 3.17 определяется радиус балки:

$$r = \sqrt[3]{\frac{4*W}{\pi}}, \text{ мм}; \quad (3.17)$$
$$r = \sqrt[3]{\frac{4 * 395,35}{3,14}} = 7,96 \text{ мм.}$$

Принимается $r = 8$ мм, а диаметр направляющей 16 мм.

Проводится проверка, по формуле 3.18 рассчитывается сечение балки:

$$W = \frac{\pi*r^3}{4}, \text{ мм}; \quad (3.18)$$

$$W = \frac{3,14 * 8^3}{4} = 401,92 \text{ мм}^3$$

Сравнивается нагрузка, действующая на балку, и допустимая нагрузка $[\sigma] = 56$ МПа (формула 3.19):

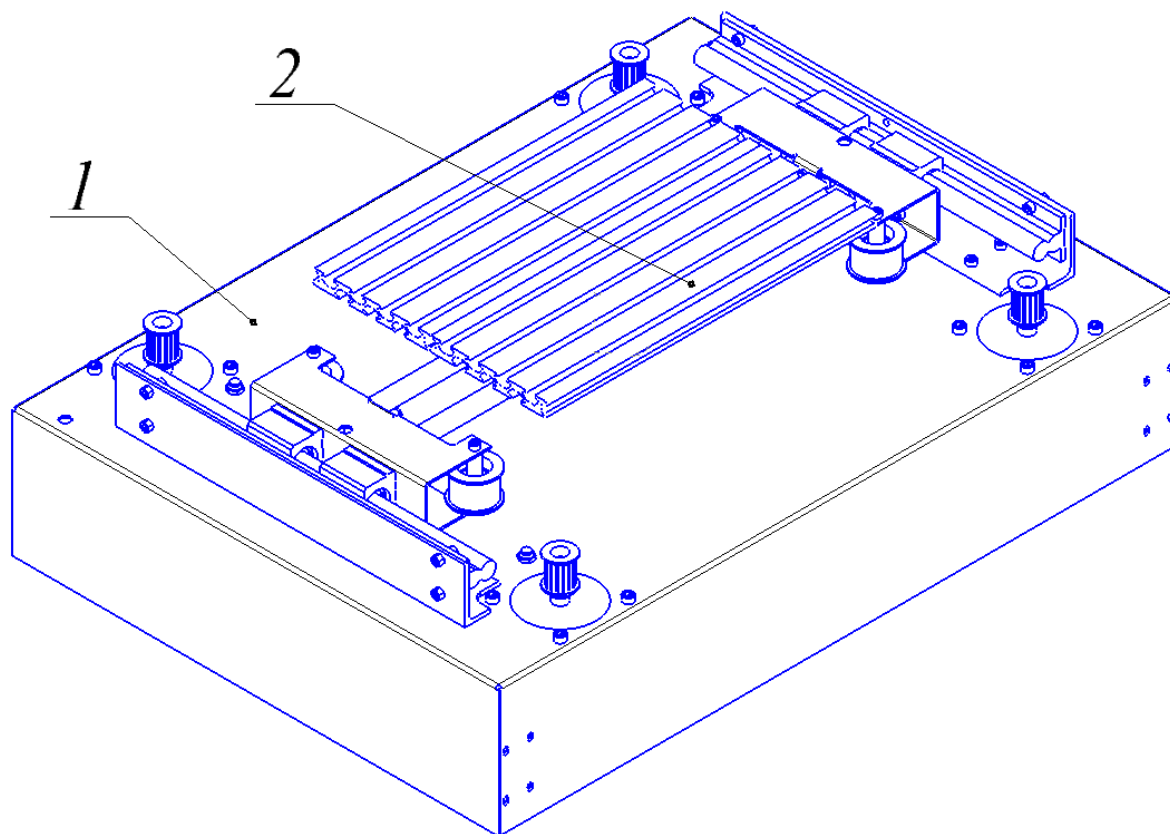
$$\sigma = \frac{M}{W}, \text{ МПа}; \quad (3.19)$$
$$\sigma = \frac{22,14}{401,9 * 10^{-9}} = 55,09 \text{ МПа.}$$

Так как $\sigma = 55,09$ МПа $< [\sigma] = 56$ МПа сечение принято верно.

Для обеспечения движения стола по оси Y принимаются цилиндрические направляющие типа SFC16. А для оси X цилиндрические рельсы типа SBS16, обеспечивающие большую несущую способность, необходимую им, чтобы выдержать дополнительный вес кареток, на которые крепятся направляющие оси Y со столом.

3.2.4. Сборка координатной платформы манипулятора

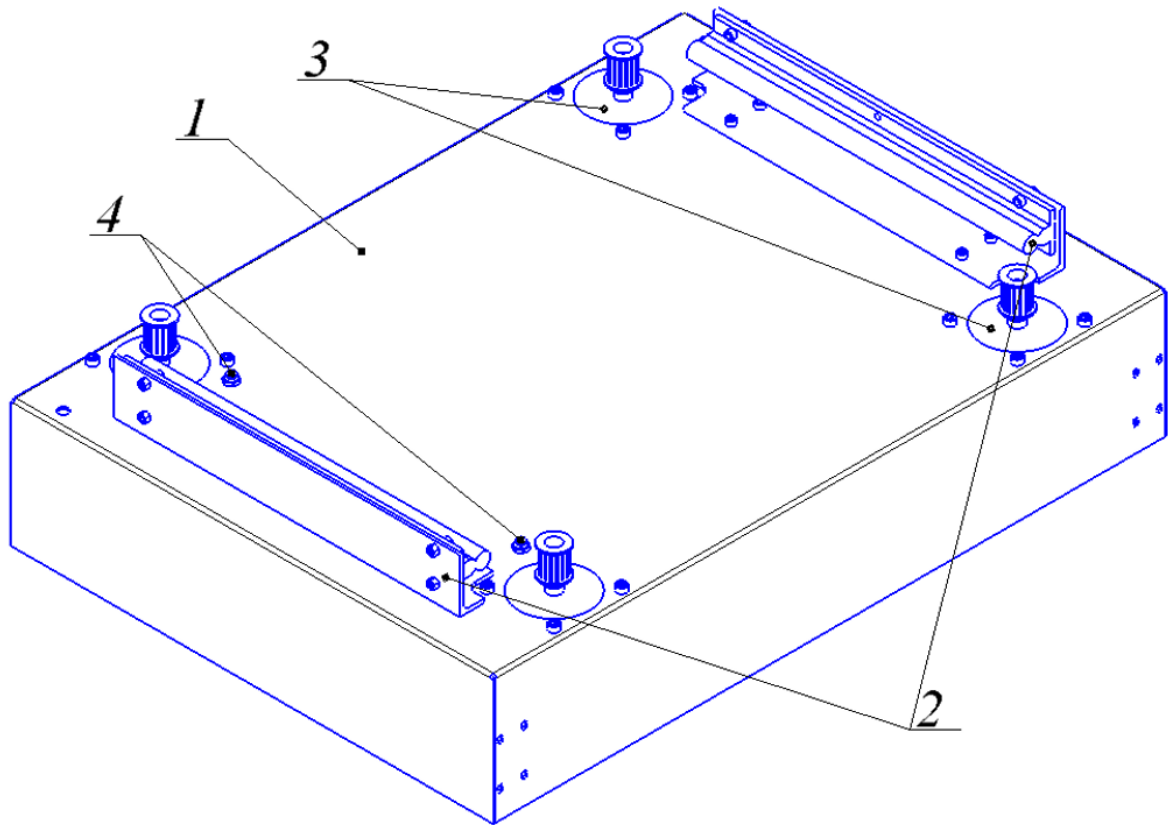
Координатная платформа манипулятора условно делится на корпус и подвижный стол (Рисунок 3.5).



1 – Корпус; 2 – подвижный стол.

Рисунок 3.5 – Общий вид координатной платформы манипулятора

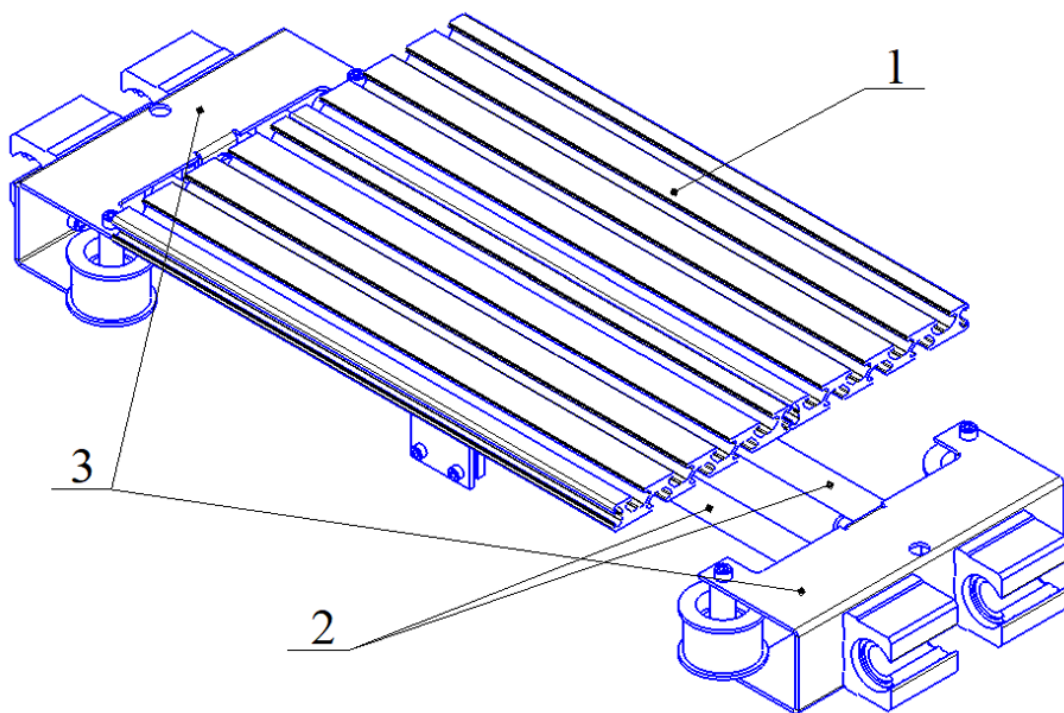
Корпус координатной платформы (рисунок 3.6) выполнен из дюралюминиевого листа толщиной 2 мм. Корпус имеет габаритные размеры 700x501,8x232,5 мм. Вес со всеми установленными компонентами составляет 22,5 кг. Внутри устанавливаются шаговые двигатели PL86H75-D14 типоразмера NEMA 86, а также два индуктивных датчика LG8A3-10-J/DZ для отслеживания перемещения стола по оси Y. На поверхности корпуса установлены уголки с рельсовыми направляющими SBS16. На валы двигателей крепятся шкивы зубчатые 16-M5-25.



1 – Корпус; 2 – направляющие стола; 3 – шаговые двигатели с зубчатыми шкивами; 4 – индуктивные датчики.

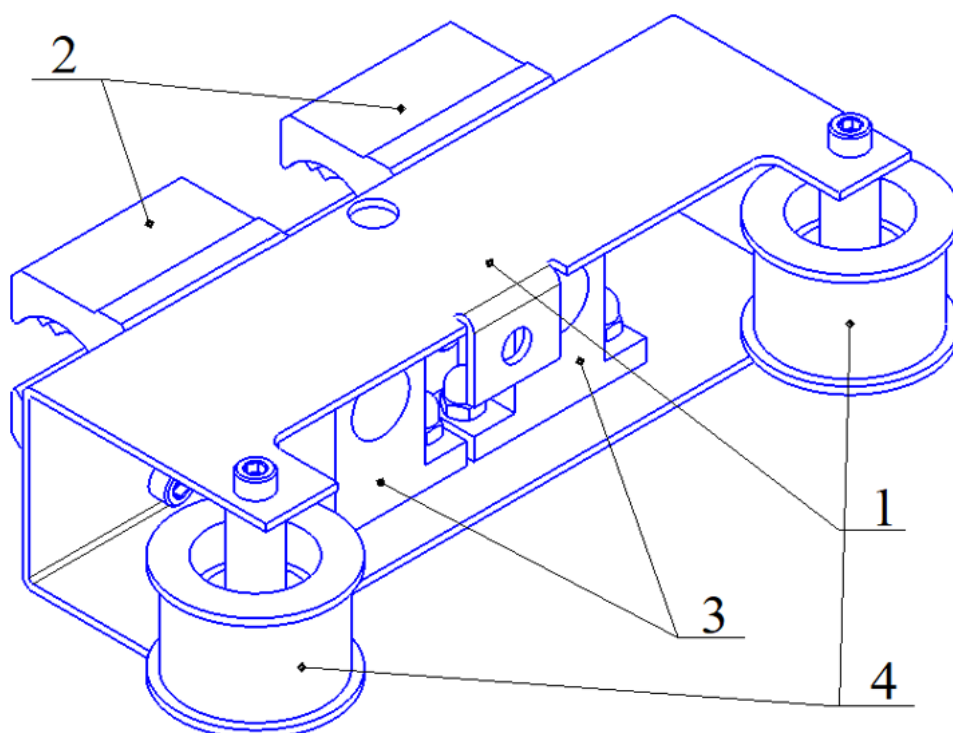
Рисунок 3.6 – Корпус координатной платформы системы манипулирования

Стол устанавливается на цилиндрических направляющих закрепленных на каретках служащих для перемещения стола по оси Y (рисунок 3.7). Каретки (рисунок 3.8) собираются из кронштейнов П-образной формы на которые устанавливаются держатели цилиндрических направляющих, открытые линейные цилиндрические подшипниковые модули типа SBR 16 и натяжные ролики. Кронштейны изготавливаются из дюралюминиевого листа толщиной 2 мм и так же имеют крепления для индуктивных датчиков, которыми отслеживается движение стола по оси X.



1 – Стол; 2 – направляющие стола; 3 – каретки.

Рисунок 3.7 – Подвижный стол

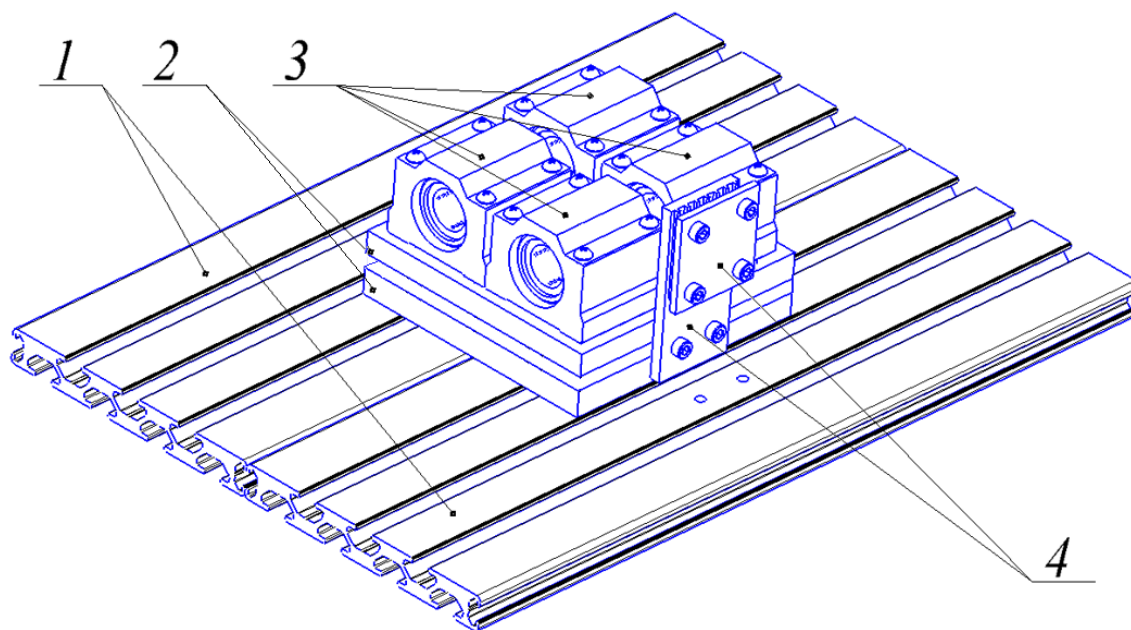


1 – Кронштейн; 2 – открытые линейные цилиндрические подшипниковые модули;
3 – держатели цилиндрических направляющих; 4 – натяжные ролики.

Рисунок 3.8 – Каретка

Стол собирается из двух алюминиевых полотен, размерами 15x120x340, соединенных между собой алюминиевой и капролоновой приставками, на которые так же крепится зажим ремня и линейные цилиндрические подшипниковые модули типа SCJ 16. Профиль алюминиевого полотна выбран так, чтобы на нем можно было установить крепежные приспособления.

Стол представлен на рисунке 3.9.



1 – Алюминиевые полотна; 2 – проставки; 3 – линейные цилиндрические подшипниковые модули; 4 – зажим ремня.

Рисунок 3.9 – Стол

Зажим ремня служит для прикрепления стола к зубчатому ремню, что необходимо для работы всей системы в целом. Зубчатый ремень проходя от зажима через натяжные ролики и зубчатые шкивы образует замкнутый контур по схеме N-bot.

Для подачи напряжения на стол используются плетенные гибкие электропровода, подсоединяемые в заранее сделанные установочные отверстия.

3.3 Проектирование системы управления манипулятором

Для управления манипулятором необходимо выполнить подбор аппаратной и программой части управления. Так же необходимо обеспечить простое общение оператора с манипулятором [10]. Управление всей исследовательской установкой производится через установленный в ее корпусе компьютер. К компьютеру подключаются измерительный блок, система видеосъемки, блок с числовым программным управлением (ЧПУ) системы манипулирования и прочая аппаратура.

Для управления координатной платформой устанавливается блок ЧПУ с микроконтроллером. На микроконтроллер устанавливается программное обеспечение, которое будет преобразовывать команды, вводимые оператором в сигналы управления шаговыми двигателями, а также контролировать включение-отключение сварочного тока.

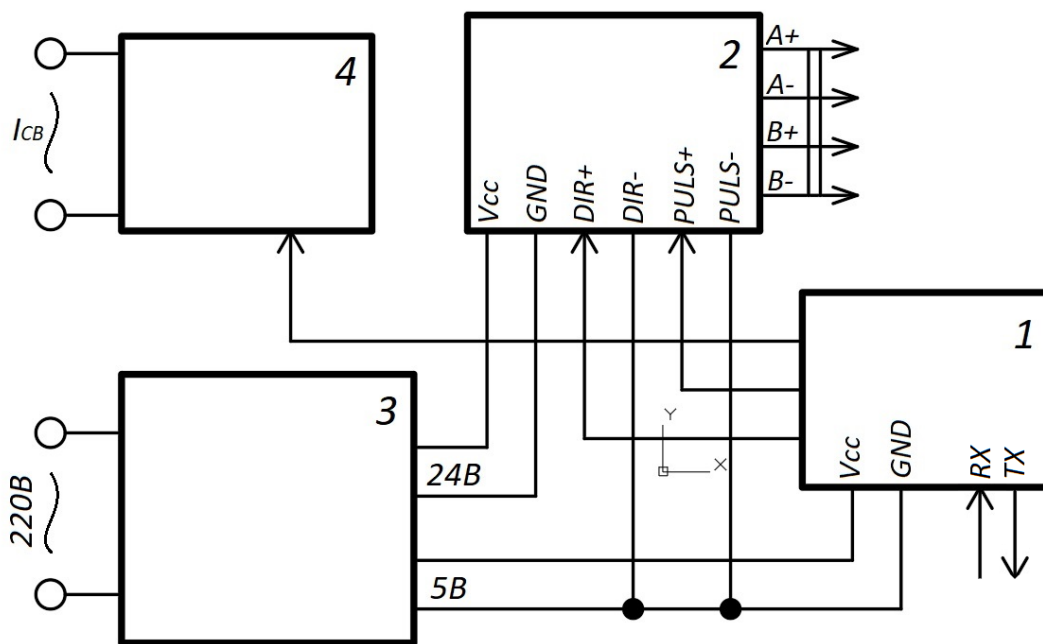
3.3.1 Проектирование аппаратной части блока ЧПУ

В соответствии с разделом 2.2.2 формируется блок ЧПУ системы манипулирования. Центральное место в блоке имеет программируемая плата управления с микроконтроллером (1). Принципиальная схема блока ЧПУ представлена на рисунке 3.10.

Плата управления соединяется с компьютером через последовательный интерфейс UART имеющий два вывода для сигналов:

- TX – выход для передачи данных;
- RX – вход для приема данных.

Через данные выходы происходит общение оператора с манипулятором, производится загрузка команд и проверка системы. На плате имеется несколько сигнальных выводов, через которые подаются управляющие сигналы на драйвера двигателей (2). Возможна передача одного из двух сигналом: низкого (0 В) и высокого (5 В).



1 – Плата управления с микроконтроллером; 2 – драйверы двигателей; 3 – блок питания; 4 – реле управления источником питания.

Рисунок 3.10 – Принципиальная схема блока ЧПУ

Драйверы двигателя необходимы для задания направления и скорости вращения, а также количества шагов электродвигателя. Подача кратковременного высокого сигнала с платы управления на вывод PULS+ драйвера двигателя приводит к повороту вала двигателя на один шаг. Для постоянного вращения двигателя необходимо постоянно передавать чередующиеся высокий и низкий сигналы на данный вывод. Управление скоростью вращения двигателя осуществляется за счет регулирования частоты смены высокого и низкого сигналов. Направление вращения задается за счет подачи на выход DIR+ постоянного во времени низкого или высокого сигнала. Внутри же самого драйвера при этом происходит изменение чередования подачи электричества на катушки А и В шагового двигателя.

Реле управления источником питания (4) предназначено для включения и отключения сварочного тока. Реле представляет из себя управляемый выключатель, переключая свое состояние по сигналу с платы управления. Существует два типа реле: низкого и высокого уровня. В

блоке использовано реле высокого уровня, которое при подаче высокого сигнала на него начинает пропускать ток.

Питание всей системы осуществляется через блок питания подключаемый в сеть 220 В и имеющий два канала в 5 и 24 В. Пяти вольтовой канал необходим для питания всей логической схемы манипулятора, в двадцати четырех вольтовой для питания электродвигателей.

Все компоненты собраны в корпусе, описанном в корпусе 2.2.2. На задней панели имеет один разъем D-SUB 9 для подключения блока к компьютеру, один разъем для подключения питания, пять быстросъемных четырех контактных и семь трех контактных разъемов для подключения шаговых двигателей, индуктивных датчиков и дополнительного оборудования. Собранный блок ЧПУ представлен на рисунке 3.11.

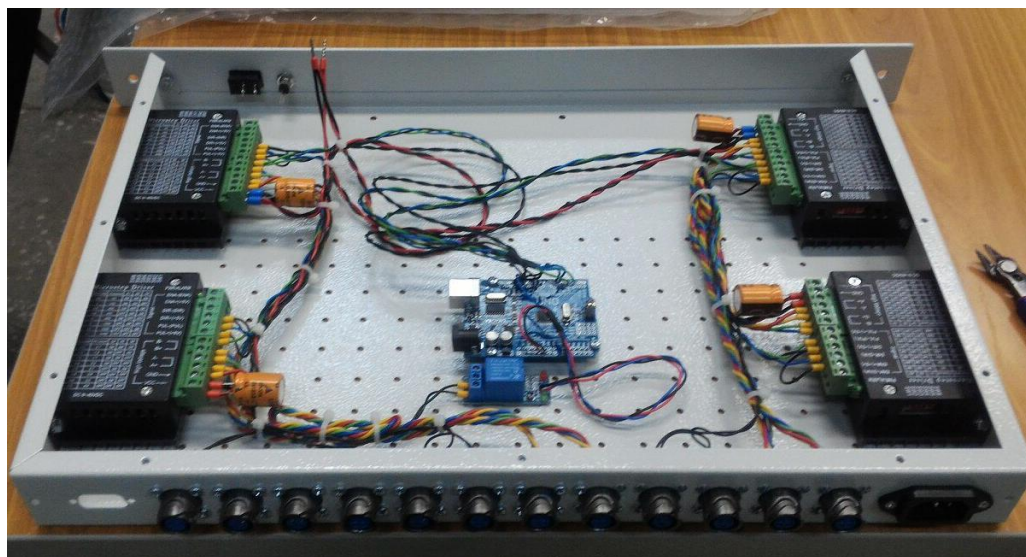


Рисунок 3.11 – Блок ЧПУ системы манипулирования

3.3.2 Подбор программного обеспечения для блока ЧПУ

Для управления манипулятором кроме аппаратной части необходимо программное обеспечение способствующие общению машины

и оператора. Современные промышленные и любительские станки управляются с помощью G-кодов. G-код – условное именование языка программирования устройств ЧПУ. Был создан компанией Electronic Industries Alliance в начале 1960-х. [11] Координат движения рабочего органа в данном языке задаются в декартовой системе координат, что соответствует выбранной ранее при проектировании механической части манипулятора.

Программа, написанная с использованием G-кода, имеет жёсткую структуру. Все команды управления объединяются в кадры — группы, состоящие из одной или более команд. Кадр завершается символом перевода строки (CR/LF) и может иметь явно указанный номер, начинающийся с буквы N, за исключением первого кадра программы и комментариев. Первый (а в некоторых случаях ещё и последний) кадр содержит только один необязательный знак «%». Завершается программа командами M02 или M30.

Примеры основных G-кодов с их описанием приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – G-коды отвечающие за перемещение образца [11]

Код	Наименование	Описание
1	2	3
G00	Ускоренное перемещение	Код G00 используется для выполнения ускоренного перемещения образца. Точка, в которую производится перемещение, задается координатами X, Y, Z.
G01	Линейная интерполяция	Код обеспечивает перемещение образца по прямой линии с заданной скоростью. Точка, в которую производится перемещение, задается координатами X, Y и Z, а скорость перемещения F-адресом.

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
G02	Круговая интерполяция (дуга в направлении часовой стрелки)	Код предназначен для выполнения перемещения образца по дуге с заданной скоростью. Точка, в которую производится перемещение, задается координатами X, Y и Z, а скорость перемещения F-адресом.
G03	Круговая интерполяция (дуга против часовой стрелки)	Код предназначен для выполнения перемещения образца по дуге с заданной скоростью. Точка, в которую производится перемещение, задается координатами X, Y и Z, а скорость перемещения F-адресом.
G04	Выдержка	Код используется для выполнения выдержки (паузы) с заданным временем. Время задается X- или P-адресом. Адрес P определяет время выдержки в миллисекундах, а X – в секундах.

Для восприятия и обработки команд, написанных на G-кодах, микропроцессором, в него необходимо загрузить соответствующее программное обеспечение. На данный момент существует множество различных проектов манипуляторов, станков ЧПУ и т. п. с управлением на G-кодах и с открытым исходным кодом. Выбор программного обеспечения (прошивки) производится из тех основных вариантов:

1. Marlin;
2. Teacup;
3. GRBL.

Marlin – это прошивка с открытым исходным кодом сделанная в рамках проекта «RepRap» для разработки быстрых прототипов 3D-принтеров. Данная прошивка позиционируется как одна из самых оптимизированных и простых. Может поддерживать большой набор команд G-кодов, поддерживать постоянную передачу данных с

компьютером и поддерживать значительное количество подключаемых периферийных устройств. Способно работать с кинематикой SCARE. Однако данная прошивка не всегда работает корректно, так как ее разработка ведётся децентрализованно, а объем функций лишком велик.

Прошивка Teacup это «RepRap» прошивка с акцентом на производительность, стабильность, чистоту кода и простоту использования, она оптимизирована на низкое потребление памяти. Имеет свой графический интерфейс Teacup Configtool который помогает выполнить конфигурацию, калибровку и загрузку программного обеспечения. На данный момент не плохо показывает себя на различных микроконтроллерах, однако имеются некоторые несоответствия G кодов прошивки и управляющих программ, а также ошибки в работе программного обеспечения.

GRBL – это бесплатное высокопроизводительное программное обеспечение с открытым исходным кодом, предназначенное для управления станками и манипуляторами работающими под контролем микропроцессоров. Изначально Grbl применялся в проектировании 3D-принтеров. Но в скорее код был адаптирован под управление различными станками ЧПУ, например, лазерными фрезами, гравёрами, различными рисовальными автоматами и т.д.

Основное преимущество является простой и производительный код прошивки, оптимизированный под работу на маломощных микропроцессорах. Однако достигнуто все это за счет предумышленного отказа от поддержки некоторых функций G-кодов и управления механизмами с тремя степенями подвижности по осям X, Y и Z, без вращений вокруг них.

3.4 Итоги проектирования

В ходе проекта была выполнена модель автоматизированной исследовательской установки, представленная на рисунке 3.12, а также всех модулей.

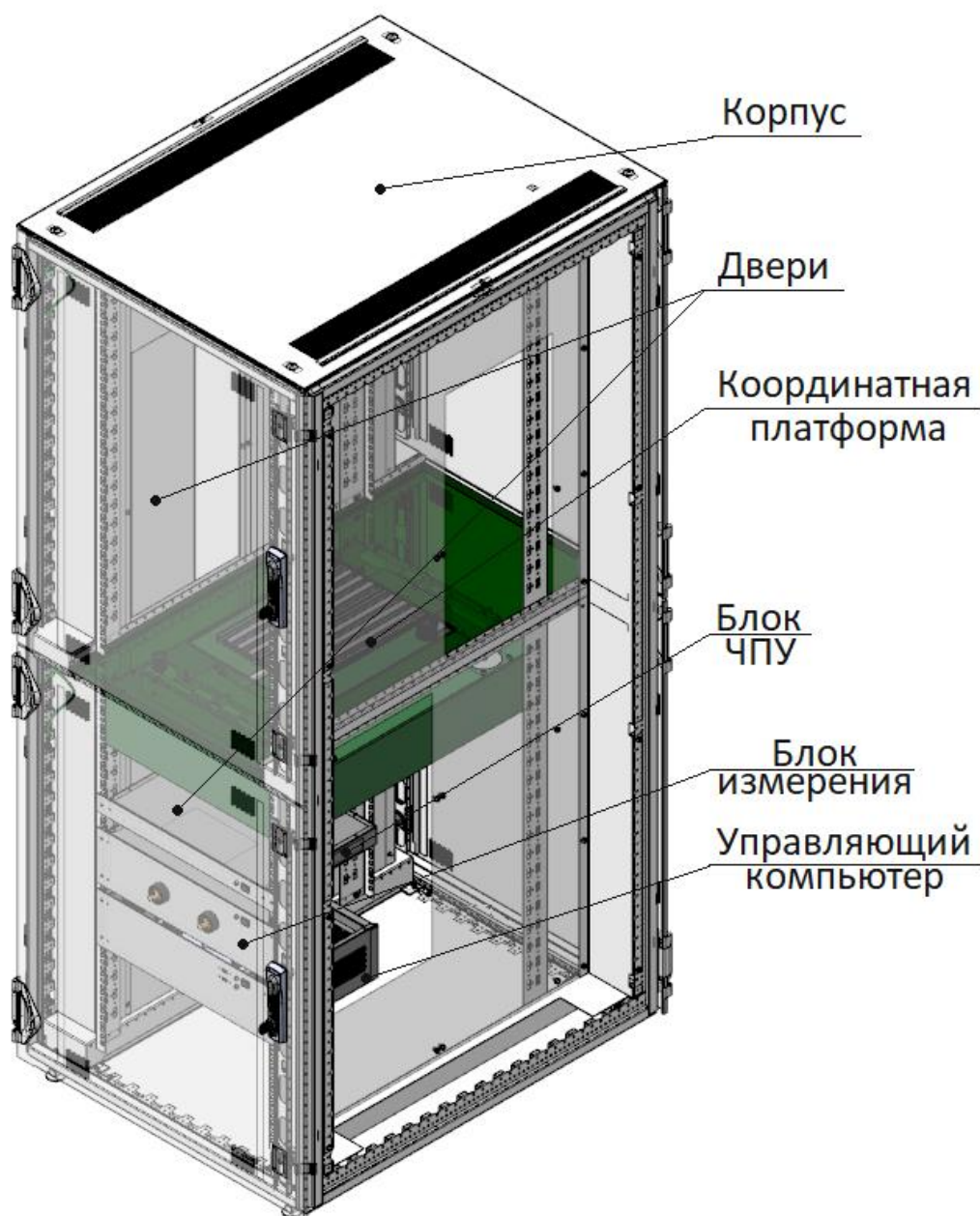


Рисунок 3.12 – Модель автоматизированной установки для исследования процессов дуговой сварки и наплавки

Затем произвелась сборка и проверка модулей установки соответствии со всеми описанными выше требованиями. На рисунке 3.13 представлены собранные модули (сверху вниз): блок измерения электрических параметров режимов сварки и наплавки, блок ЧПУ, управляющий компьютер.



Рисунок 3.13 – Собранные модули

Каждый модуль, по отдельности, прошел проверку на работоспособность. Так координатная платформа подключенный к любому персональному компьютеру через блок ЧПУ, позволяет отработать любую траекторию движения образцов (рисунок 3.14).

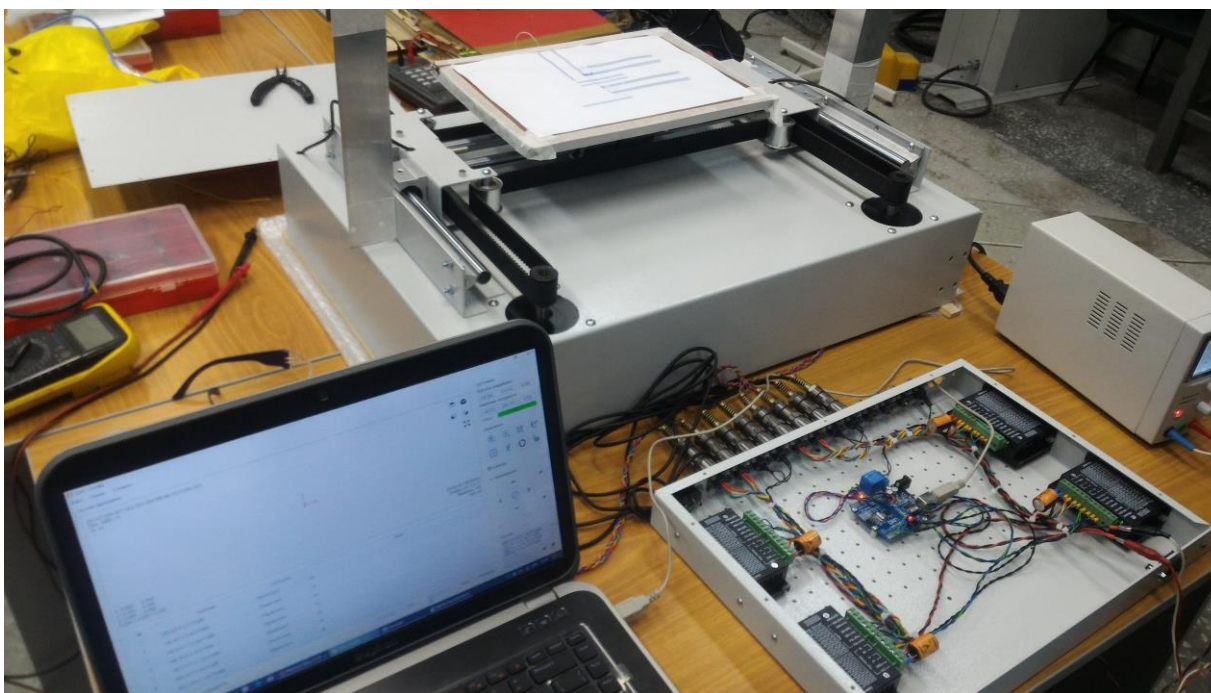


Рисунок 3.14 – Проверка работоспособности системы манипулирования

Собранные модули были установлены в стойку для электротехнического оборудования и полностью подключены. Для обеспечения работоспособности на персональный компьютер установлена операционная система Windows и программа Candle CNC. Candle CNC – программное обеспечение позволяющие передавать на блок ЧПУ программу движения стола координатной платформы, написанную на G-кодах. Программы движения для координатной платформы загружаются в память компьютера с флеш-накопителя. Первый тестовый образец установки представлен на рисунке 3.15.

На изготовленной установке была произведена пробная наплавка металла на стальную пластину. Системой манипулирования отработывалась сложная траектория движения электрода относительно образца, что отчетливо видно на фото показанном на рисунке 3.16. Одновременно проверку проходил блок измерения параметров режимов

сварки и напалки, передавая данные на компьютер. Поступающие в компьютер данные выводились на подключенный монитор.



Рисунок 3.15 – Тестовый образец автоматизированной исследовательской установки



Рисунок 3.16 – Образец наплавленного металла с двухсторонним проплавлением, лицевая (с лево) и обратная (с права) стороны.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка координатной платформы с ЧПУ для сварки и наплавки образцов» выполнена в рамках магистерской диссертации целью, которой является разработка автоматизированной установки для исследований процессов дуговой сварки и наплавки. Основной акцент в работе был сделан на разработке системы манипулирования установкой, необходимой для исключения человеческого фактора в процессе проведения процессов сварки и наплавки. Это позволит повысить качество и скорость проводимых исследований.

В данном разделе ВКР выполнено технико-экономическое обоснование научно-исследовательского проекта. В частности это оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения данного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также планирование и организация научно-исследовательского проекта.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Заинтересованными лицами в получении автоматизированной исследовательской установки являются сотрудники кафедры ОТСП ИШНКиБ ТПУ и Института физики прочности и материаловедения СО РАН. Так же потенциальными потребителями могут стать исследовательские отделы различных организаций и предприятий, занимающиеся исследованиями в сварочном производстве. Для более четкого понимания картины производится сегментирование, где в качестве критериев выбираются основное отраслевое направление организации и уровень автоматизации в ней. Карта сегментирования представлена на рисунке 4.1.

		Уровень автоматизации эксперимента		
		Ручной	Механизированный	Автоматизированный
Отраслевое направление	Производство			
	Исследования			
	Разработка			

ОАО «НПК «Уралвагонзавод» ТПУ ИФПМ СО РАН

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования исследований процессов сварки и наплавки

По представленной карте можно говорить о постепенном переходе исследований в сварочном производстве к автоматизации процесса, связано это с необходимостью в повышении качества, достоверности и скорости проведения исследований. Однако большинство организаций по-прежнему используют ручной труд или обходятся механизацией части эксперимент, на них и ориентирован данный проект.

4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

На данный момент не существует стандартизированного оборудования для исследования процессов сварки и наплавки, и как следствие отсутствуют конкурентные исполнения установок. Применение промышленных сварочных роботов для проведения исследовательских работ способно обеспечить нужный уровень автоматизации процесса. Однако роботы являются технически сложным и дорогостоящим оборудованием, требующим соответствующего уровня обслуживания высококвалифицированными специалистами.

В этой работе в качестве альтернативы разрабатывается манипулятор способный обеспечить необходимые сварочные движения, но более дешевый за счет упрощения конструкции. Рациональность разработки проверяется за счет сравнения с промышленными сварочными роботами, для этого составляется оценочная карта (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
2. Пространственные положения сварки	0,15	3	4	5	0,45	0,6	0,75
3. Удобство видеосъемки процессов	0,15	5	2	2	0,75	0,3	0,3
4. Повышение производительности	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
5. Модульность конструкции	0,1	4	5	2	0,4	0,5	0,2
6. Уровень шума	0,05	3	4	2	0,2	0,2	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность проекта	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
2. Цена	0,2	5	3	2	1	0,6	0,4
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
4. Финансирование научной разработки	0,05	4	3	2	0,2	0,15	0,1
Итого:	1	44	40	32	4,45	3,7	3

Примечание. Б_ф – манипулятор разрабатываемой установки; Б_{к1} – манипулятор производства компании KUKA; Б_{к2} – промышленный сварочный робот.

Достаточно сильным конкурентом могут оказаться роботизированные системы различных производителей подобные KUKA. Имея модульную конструкцию, они свободно настраиваются под необходимые задачи, а относительно простой интерфейс позволяет быстро

освоиться с управлением, однако, на данный момент, все эти системы, так же как и промышленные роботы, не удобны для проведения видеосъемки процессов сварки и наплавки. Связано это с их конструктивной особенностью – объектом манипулирования является сварочная горелка. В проекте объектом манипулирования является сварочный образец, а горелка закреплена не подвижно, это позволяет сфокусировать камеру на эпицентре происхождения процессов сварки и наплавки.

Высокая стоимость конкурентных предложений является одним из определяющих критериев, недоступных для определенного числа организаций. Поэтому основная ориентация проекта идет на разработку недорогостоящей системы манипулирования, позволяющей автоматизировать исследования сварки и наплавки. Снизить стоимость манипулятора удалось, что за счет упрощения конструкции манипулятора. Это позволяет составить конкуренцию модульным роботам по критериям цена-качество.

4.3 SWOT – анализ

На основе работы, проведенной в предыдущих разделах магистерской диссертации, был составлен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.2.

Для выявления соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды строятся интерактивные матрицы проекта (Таблицы 4.3 – 4.6)

Таблица 4.2 – Матрица первого этапа SWOT – анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Актуальность проекта. С2. Наличие опытного руководителя. С3. Удобство в эксплуатации. С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С5. Широкая область применения. С6. Наличие бюджетного финансирования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1 Отсутствие прототипа разрабатываемой установки Сл2. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых для сборки установки. Сл3. Сложность с подбором литературы имеющей описание исследовательских установок. Сл4. Отсутствие опыта в решении данной проблемы у собственных исполнителей.</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление спроса на разрабатываемую установку у исследовательских отделений различных организаций и предприятий. В3. Получение более точных данных при проведении исследовательских работ.</p>		
<p>Угрозы: У1. Понижение стоимости конкурентных технологий У2. Введение дополнительных государственных требований и сертификации продукции. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>		

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
B1		+	+	0	+	0	+
B2		+	0	+	+	+	0
B3		-	0	+	0	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1C1C2C4C6; B2C1C3C4C5; B3C3C5.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Возможности проекта	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
B1		+	-	+	+
B2		+	-	+	-
B3		-	-	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл1Сл3Сл4; B2Сл1Сл3.

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Угрозы проекта	Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
У1		+	-	-	+	-	-
У2		-	+	-	-	-	-
У3		+	-	-	+	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные стороны и угрозы: У1С1С4; У2С2; У3С1С4С6.

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Угрозы проекта	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
У1		+	+	+	+
У2		-	+	-	-
У3		+	+	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1Сл2Сл3Сл4; У2Сл2; У3Сл1Сл2.

Таким образом, по анализу интерактивных таблиц можно составить итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Итоговая матрица SWOT – анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Актуальность проекта. С2. Наличие опытного руководителя. С3. Удобство в эксплуатации. С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С5. Широкая область применения. С6. Наличие бюджетного финансирования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1 Отсутствие прототипа разрабатываемой установки Сл2. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых для сборки установки. Сл3. Сложность с подбором литературы имеющей описание исследовательских установок. Сл4. Отсутствие опыта в решении данной проблемы у собственных исполнителей.</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление спроса на разрабатываемую установку у исследовательских отделений различных организаций и предприятий. В3. Получение более точных данных при проведении исследовательских работ.</p>	<p>Удобство в эксплуатации, широкая область применения позволят добиться более точных данных при проведение исследований. Данные преимущества позволят привлечь к разработки различные организации. Использование их инфраструктуры и ресурсов повысит качество и скорость разработки.</p>	<p>Наличие инновационной инфраструктуры ТПУ позволит компенсировать отсутствие прототипа и литературы по разработке исследовательских установок. Привлечение сторонних организаций позволит сократить срок поставок некоторых комплектующих.</p>
<p>Угрозы: У1. Понижение стоимости конкурентных технологий У2. Введение дополнительных государственных требований и сертификации продукции. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>Снижение стоимости конкурентных решений может привести к потери преимущества связанного с дешевизной производства.</p>	<p>Несвоевременное финансовое обеспечение исследования увеличивает срок разработки окончательного варианта установки. Введение дополнительных государственных требований и сертификации продукции так же увеличит срок сборки рабочего образца.</p>

4.4 Планирование управления научно-техническим проектом

4.4.1 План проекта

Таблица 4.8 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Утверждение темы	3	1.02	3.02	Руководитель
2	Подбор и изучение материалов по теме	11	4.02	14.02	Дипломник
3	Составление плана	4	15.02	18.02	Руководитель
4	Календарное планирование работ	3	19.02	21.02	Руководитель
5	Изучение литературы и подбор нормативной документации в соответствие теме	20	22.02	13.03	Дипломник
6	Формирования общей концепции установки	3	14.03	16.03	Руководитель, Дипломник
7	Проектирование механической части установки	16	17.03	1.04	Руководитель, Дипломник
8	Проектирование электросхем и системы управления установки	23	2.04	24.04	Руководитель, Дипломник
9	Проектирование корпуса и несущих частей установки	10	25.04	4.05	Дипломник
10	Построение модели и заказ комплектующих	15	5.05	19.05	Руководитель, Дипломник
11	Сборка прототипа и испытания	5	20.05	24.05	Руководитель, Дипломник
12	Формирование описания установки и заключения по работе	12	25.05	05.05	Руководитель, Дипломник
Итого:		125			

Таблица 4.9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Утверждение темы	Руководитель	3	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	11	■	■											
3	Составление плана	Руководитель	4		■											
4	Календарное планирование	Руководитель	3			■										
5	Изучение литературы и подбор нормативной документации в соответствие теме	Дипломник	20			■	■									
6	Формирования общей концепции установки	Руководитель, Дипломник	3				■	■								
7	Проектирование механической части установки	Руководитель, Дипломник	16					■	■	■						
8	Проектирование электросхем и системы управления установки	Руководитель, Дипломник	23						■	■	■					
9	Проектирование корпуса и несущих частей установки	Дипломник	10								■	■				
10	Построение модели и заказ комплектующих	Руководитель, Дипломник	15									■	■			
11	Сборка прототипа и испытания	Руководитель, Дипломник	5										■	■		
12	Формирование описания установки и заключения по работе	Руководитель, Дипломник	12											■	■	

■ – руководитель, ■ – дипломник

4.4.2 Бюджет научно-технического исследования

Таблица 4.10 – Группировка затрат по статьям

№	Статьи					
	Сырье, материалы, покупные изделия и покупные полуфабрикаты	Специальное оборудование и комплектующие для сборки установки	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы
1.	Шкаф для оборудования VARISTAR Colocation RAL 7021	Драйвер шагового двигателя HD	Руководитель	Руководитель	Руководитель	Печать и ксерокопирование материалов исследования
2.	Корпус манипулятора	Шаговый электродвигатель	Дипломник	Дипломник	Дипломник	Оплата услуг связи
3.	Корпус модуля	Контроллер Arduino UNO-R3				Оплата электроэнергии
4.	Алюминиевый профиль	Блоки питания MeanWell				
5.	Зубчатый ремень M5	Электронное реле				
6.	Зубчатый шкив HTD-M5	Индуктивный датчик LG12A3-10-J/EZ				
7.	Натяжной ролик	Набор коммутации и разъемов				
8.	Пластина фиксирующая					
9.	Бумага					
10.	ПК					
11.	USB флеш-диск					
Итого руб.:	89925,5	50737	336085,5	50412,82	104741,04	97522,22
Плановая себестоимость	$\Sigma 729424,08$					

Расчет стоимости материальных затрат производилось по действующим прейскурантам и договорным ценам. В стоимость материальных затрат включили транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Результаты по данной статье представлены в таблице 4.11.

В статью специальное оборудование для экспериментальных работ включили все затраты, связанные с приобретением специального оборудования. Определение стоимости спецоборудования производили по действующим прейскурантам, а также учли доставку и монтаж в размере 15 % от его цены. Результаты по данной статье представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.11 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Шкаф для оборудования VARISTAR Colocation RAL 7021	штука	1	21000	21000
Корпус модуля	штука	3	1050	3150
Корпус манипулятора	штука	1	960	960
Алюминиевый профиль	м ²	0,06	31466	1888
Зубчатый шкив НТD-M5	штука	4	1020	4080
Зубчатый ремень M5	м	2,5	655	1637,5
Натяжной ролик	штука	4	332	1328
Пластина фиксирующая	штука	2	786	1572
Бумага	пачка	3	270	810
ПК	штука	1	52000	52000
USB Флеш-диск	штука	1	1500	1500
Итого по статье				89925,5

Таблица 4.12 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование и комплектующие для сборки установки»

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц	Цена единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
1.	Драйвер шагового двигателя HD	4	5130	20520
2.	Шаговый электродвигатель PL86H75-D14	4	3848	15392
3.	Контроллер Arduino UNO-R3	1	640	640
4.	Блоки питания MeanWell	1	3254	3254
5.	Электронное реле	1	525	525
6.	Индуктивный датчик LG12A3-10-J/EZ	4	593	2372
7.	Набор коммутации и разъемов	3	2678	8034
Итого по статье				50737

Основная заработная плата

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1.	Руководитель	84	3486,04	298683,84
2.	Дипломник	115	321,36	37401,66
Итого по статье $C_{осн}$				336085,5

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	125	125
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	25	42
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	100	83

Для руководителя:

$$З_{\text{м}} = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.} \quad (4.1)$$

$$З_{\text{дн}} = 34190 \cdot 10,4/100 = 3555,76 \text{ руб.} \quad (4.2)$$

$$З_{\text{осн}} = 3555,76 \cdot 84 = 298683,84 \text{ руб.} \quad (4.3)$$

Для дипломника:

$$З_{\text{м}} = 1854 \cdot 1,3 = 2410,2 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{дн}} = 2410,2 \cdot 11,2/83 = 325,23 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{осн}} = 321,36 \cdot 115 = 37401,66 \text{ руб.}$$

Таблица 4.15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	К _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	26300	1,3	34190	3555,76	84	298683,84
Дипломник	1854	1,3	2410,2	325,23	115	37401,66

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (4.4)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 4.16 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Дипломник
Основная зарплата	298683,84	37401,66
Дополнительная зарплата	44802,576	5610,24
Зарплата исполнителя	343486,41	43011,9
Итого по статье С _{зп}	386498,31	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.5)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 4.17 – Отчисления на социальные нужды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления, руб.
Руководитель	298683,84	44802,57	93084,82
Дипломник	37401,66	5610,24	11656,22
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%		
Итого по статье $C_{\text{внеб}}$			104741,04

Накладные расходы

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.6)$$

где: $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, равный 70%.

Таблица 4.18 – Накладные расходы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Накладные расходы, руб.
Руководитель	298683,84	44802,57	103045,9
Дипломник	37401,66	5610,24	12903,6
Коэффициент накладных расходов	70 %		
Итого по статье $C_{\text{накл}}$			115949,5

5 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка координатной платформы с ЧПУ для сварки и наплавки образцов» выполнена в рамках магистерской диссертации целью, которой является разработка автоматизированной установки для исследований процессов дуговой сварки и наплавки.

В данном разделе ВКР проанализированы основные аспекты социальной ответственности, необходимые в ходе исследования (экологические возможные негативные последствия и ущерб здоровью человека и окружающей среде, чрезвычайные ситуация, правовые нормы и др.).

Основной акцент в данной работе был сделан на разработке системы манипулирования установкой. Исходные данные для расчетов брались по параметрам механизированной сварки в среде защитного газа плавящимся электродом. На ее основе, с оглядкой на другие виды дуговой сварки, производится анализ вредного влияния эксплуатации установки на человека и окружающую среду, а также методы борьбы с ним.

5.1 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Так планируется использование разрабатываемой исследовательской установки в лабораториях различных организаций и предприятий. В связи, с чем необходимо выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при ее эксплуатации.

При исследовании сварочных процессов возникают следующие опасные и вредные факторы:

- воздействие электрического тока, вследствие неисправности оборудования;
- взрывоопасные смеси защитных газов при сварке;
- искры, брызги и выбросы расплавленного металла;
- вредные и газообразные токсические вещества в составе сварочного аэрозоля;
- чрезмерная запыленность и загазованность воздуха вследствие попадания пыли флюсов, подгорания масла и т. п.;
- повышенная температура и тепловое излучение свариваемых изделий и сварочной ванны;
- отклонение напряженности магнитного поля в помещении;
- опасные зоны подвижных частей оборудования;
- шум.

Перечень возможных негативных факторов, возможные при эксплуатации исследовательской установки, сведен в таблицу 5.1

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы возможные при эксплуатации исследовательской установки

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Манипулятор установки;	1. Превышение уровня шума	1. Движущиеся машины и механизмы; незащищенные подвижные элементы производственного оборудования 2. Электрический ток	ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ[12], ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ[13].

Продолжение таблицы 5.1

2. Протекание процессов дуговых способов сварки и наплавки	1. Повышенная запыленность воздуха; 2. Повышенные температуры вокруг рабочей зоны; 3. Превышение уровня шума; 4. Интенсивные излучения сварочной дуги и ванны; 5. Отклонение напряженности магнитного поля в помещении	1. Электрический ток; 2. Брызги расплавленного металла и искры; 3. Различные примеси, газы в воздухе	ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ[12], ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ[13], ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ[14], ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ[15], СанПиН 2.2.4.548–96[16].
------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Из многочисленных факторов, которые ухудшают самочувствие рабочих и вызывают заболевание организма, наиболее значительными являются: избыточное тепло, влага, пыль и содержание вредных выделений (отработавшие газы, пары кислот и щелочей, пары растворителей).

Высокая температура воздуха оказывает неблагоприятное влияние на жизненно важные органы и системы человека (сердечно-сосудистую, центрально-нервную, пищеварение и др.), вызывая нарушение нормальной их деятельности. Повышение температуры тела человека приводит к расслаблению его и к понижению внимания.

Повышенная влажность воздуха создаёт неблагоприятные метеорологические условия: происходит нарушение терморегуляции и перегревание организма, уменьшается испарение пота, а, следовательно, уменьшается и отдача тепла организмом человека. Низкая же относительная влажность воздуха способствует испарению пота, в результате чего происходит быстрая отдача тепла организмом [17]. Оптимальные и допустимые нормы температуры и влажности воздуха в

рабочей зоне производственных помещений, легкой категорией работ, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые нормы температуры и влажности воздуха в рабочей зоне производственных помещений[15]

Период года	Температура, °С			Относительная влажность, %	
	Оптимальная	Допустимая		Оптимальная	Допустимая, не более
		Верхняя граница	Нижняя граница		
Холодный	21-23	24	20	40-60	75
Теплый	22-24	28	21	40-60	60 (при 27 °С)

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, создаваемых манипулятором установки

Основным источником вредных и опасных факторов в манипуляторе является привод. Привод включает в себя зубчато-ременную передачу, направляющие для кареток, сами каретки и электродвигатели. Во избежание попадания частей тела оператора или иных предметов в привод, вся механическая часть манипулятора, за исключением подвижного стола, установлена внутри корпуса и закрыта защитным кожухом.

Электродвигатели, так же являются источником шума. Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Для рабочих помещений административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещений для измерительных и аналитических работ уровень шума не должен превышать 50 дБА [12].

Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой

системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление. Корпус установки создает определенный уровень шумоизоляции, позволяя снизить вредные последствия от громкого звука, создаваемого при работе приводов манипулятора.

Вторым опасным фактором, после повреждений, вызванных от неаккуратного обращения с механическими частями манипулятора, является поражение электрическим током. В зависимости от индивидуальных показателей человека (масса, рост, строение тела, пол, род занятий), его физического состояния (болезнь, наличие состояния алкогольного опьянения), параметров протекающего тока (сила тока и его частота), состояния окружающей среды зависит поражающее воздействие на организм.

Одним из наиболее опасных параметров являются переменный ток с частотой от 10 до 120 Гц. Наиболее безопасным напряжением для человека является до 12 В, условно безопасным до 36 В [13]. Опасной величиной считается ток, более 1 мА, а смертельным более 100 мА. Опасность поражения человека электрическим током существует во всех случаях, когда используются электрические установки и оборудование.

Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

– перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей держателей электрода;

– при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети установку;

– запрещается при включении оборудования для дуговой сварки одновременно прикасаться к электроду и изделию.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электротехнические средства.

Электрические схемы установки сконструированы в отдельных корпусах в соответствии с функциональным назначением, это позволяет безопасно производить ремонт и обслуживания установки, а также экранировать оборудование. Все разъёмные контакты, имеющие соединение мама-папа, выполнены так, что при случайном рассоединении, в корпусе оставались штыревые контакты. В этом случае на соединительных проводах остаются изолированные гнездовые соединения не способные создать электрический контакт (замкнуться) с окружающими предметами. В корпусе установки так же предусмотрено общее заземление. В блоке питания установлены предохранители, защищающие установку от перегрузок. Так же стоит отметить, что основной рабочий цикл происходит при изоляции всех систем от оператора.

5.1.2 Анализ специфичных вредных и опасных факторов, создаваемых в процессе дуговой сварки и наплавки

Одним из наиболее опасных и характерных факторов при исследовании сварочных процессов является попадание в воздух рабочей зоны различных аэрозолей, паров различных загрязнений или расплавленного металла, рабочего газа и т. п.

Причиной образования сварочных аэрозолей и вредных веществ в процессе сварки могут быть наличие масла и антикоррозионного покрытия (Zn, Cd, Cr) на поверхности свариваемых деталей. Помимо этого, при

сварке деталей из цветных металлов также выделяются вредные вещества, такие как окислы меди (Cu_2O , CuO), цинка (ZnO), свинца (PbO , PbO_2) и др. [18].

Токсичные включения, входящие в состав сварочного аэрозоля, и вредные газы при их попадании в организм человека через дыхательные пути могут оказывать на него неблагоприятное воздействие и вызывать ряд профзаболеваний (пневмокониоз, развития фиброзных изменений в легких). Мелкие частицы пыли (от 2 до 5 мкм), проникающие глубоко в дыхательные пути, представляют наибольшую опасность для здоровья, пылинки размером до 10 мкм и более задерживаются в бронхах, также вызывая их заболевания. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны [15]

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности
Железа оксид с примесью оксидов марганца (до 3%)	6	A	IV
Хрома оксид	1	A	III
Медь металлическая	1/0,5	A	II
Цинка оксид	0,5	A	II
Свинец и его соединения	0,01/0,005	A	I

Примечания. 1. ПДК для атмосферного воздуха, указанные в числителе, являются максимально разовыми, а в знаменателе и без дроби - среднесуточными. 2. П - пары и/или газы; А - аэрозоли.

Для защиты оператора от сварочных аэрозолей, паров и газов, выделяющихся в процессе эксплуатации установки, в корпусе предусмотрена установка системы местной вентиляции. Данная система подключается к общей вентиляции помещения и служит для удаления опасных веществ из рабочей зоны установки.

Электрическая дуга, которая является мощным источником яркого света, невидимых ультрафиолетовых и инфракрасных лучей, вызывает сильные боли, слезотечение и светобоязнь при воздействии на незащищённые глаза в течение 10-20 секунд в радиусе до 1 м. Длительное (в течение 10-20 лет) воздействие выделяющегося при дуговой сварке сварочного аэрозоля может стать причиной профессионального заболевания сварщика – пневмокониоза. При этом заболевании поражаются органы дыхания, в особенности, легкие [17].

Воздействие инфракрасного (теплового) излучения, при отсутствии средств индивидуальной защиты может привести к нарушению терморегуляции вплоть до теплового удара.

Во время эксплуатации исследовательской установки горение дуги происходит внутри корпуса. Для наблюдения процесса предусмотрены окна закрытые стеклами со светофильтрами, защищающими глаза оператора от вредного воздействия яркого света дуги. А так же в установке присутствует видео камера, позволяющая наблюдать процесс сварки на подключаемом мониторе, при полном закрытии корпуса.

При проведении сварочных работ так же возникают электромагнитные поля, оказывавшие специфическое воздействие на ткани человека. Согласно [18] предельно допустимый уровень напряженности электростатических полей устанавливается равным 60 кВ/м в течение 1 ч. Электромагнитные поля изменяют ориентацию клеток, нарушают функции сердечно-сосудистой системы и обмена веществ. Корпус установки выступает в роле экранирующей перегородки.

Опасным фактором неблагоприятно воздействующий на здоровье человека в процессе сварки являются искры и брызги расплавленного металла из зоны сварки. Это явление также может быть причиной местных ожогов. Но данный фактор полностью исключается, так как горение дуги и расплавление металла происходит в полностью закрытом рабочем пространстве, внутри установки.

Таким образом в автоматизированной исследовательской установке влияние всех вредных и опасных факторы сведены к минимуму за счет отстранения человека от непосредственного участия в процессе сварки или наплавки и изоляции рабочей зоны, в закрытом корпусе.

5.2 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность – это допустимый уровень негативного воздействия со стороны природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

При проведении исследований сварочных процессов загрязнение окружающей среды происходит за счет выбросов в атмосферу, не уловленной фильтрацией пыли, газов и других сварочных аэрозолей, а также образования твёрдых отходов (огарки электродов, спёкшийся флюс и так далее).

Воздушная среда помещений загрязняется сварочными аэрозолями, в состав которых могут входить оксиды марганца, хрома, цинка и кремния, фтористые и другие соединения, а также газы (оксиды углерода, азота и т.п.). Эти вещества оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека. В связи с этим необходимо проводить мероприятия по очистке вредных выбросов, например, устанавливать очистные фильтры на выходе воздуховода, что значительно снизит количество выбросов вредных веществ в атмосферу [18].

Химический состав выделяющихся при сварке загрязнений зависит в основном от сварочных материалов (проволоки, покрытий, газы) и в меньшей степени от химического состава свариваемых металлов.

При полуавтоматической сварке (в защитной среде и без нее) общая масса выделяемых вредных веществ меньше в 1,5 - 2 раза чем при ручной дуговой, а при сварке под флюсом - в 4 - 6 раз. Так например,

удельное выделение вредных веществ при сварке проволокой СВ - 08Г2С представлено в таблице 5.4.

Особую опасность при проведении сварочных работ представляют разнообразные пыли – взвешенные в воздухе частицы твердых веществ. Газ или воздух, в которых неопределенное долгое время находится во взвешенном состоянии пыль или капельки жидкости, называют аэродисперсной системой (аэрозолем). В аэрозоле пыль или частицы жидкости представляют собой дисперсную фазу, а газ или воздух – дисперсную среду.

Таблица 5.4 – Удельное выделение загрязняющих веществ при сварке, в граммах на килограмм наплавленного металла

Марка проволоки	Пыль, г/кг	Окислы марганца (Mn_2O_2), г/кг	Оксиды хрома (Cr_2O_3), г/кг	Оксиды железа (Fe_2O_3), г/кг	Оксиды углерода (СО), г/кг
Св-08Г2С	9,7	0,5	0,02	7,48	14,0

Для удаления сварочного аэрозоля применяют общеобменную вентиляцию, принцип действия которой заключается в разбавлении вредных выделений до допустимых концентраций большим количеством приточного воздуха, подаваемого в помещение. Это приводит к тому, что непосредственно в рабочей зоне сохраняется повышенная концентрация вредных паров и пыли. Предлагается рабочие места оборудовать системой местной вентиляции, способной не только удалять вредные выбросы непосредственно из зоны их возникновения, но и обеспечить очистку удаляемого воздуха перед выбросом в атмосферу.

В качестве фильтров, применяемых для осуществления местной вентиляции, рекомендуется использовать «сухие» пористые фильтры так называемые рукавные фильтры ФРКИ. Степень очистки газов в них при соблюдении правил технической эксплуатации достигает 99,9% [19].

К твердым отходам, образующимся при проведении исследований в сварочном производстве можно отнести уже отработанные образцы, обрезки металла, используемого для их изготовления, остатки от использования расходного материала, огарки электродов и прочие. Отходы собираются в мусоросборники и контейнеры, которые по мере заполнения удаляются из помещений в специально отведенные места. Вывозят отходы, как правило на специально выделенные места захоронения или на общие свалки [20].

Использование вторичных сырьевых ресурсов и отходов производства - одно из важнейших направлений повышения эффективности производства. Является необходимым условием снижения уровня промышленного загрязнения окружающей среды.

Существует два пути утилизации металлических отходов: без переплава и с переплавом. В соответствии с этим отходы можно подразделить на следующие две основные группы: деловые (кусковые) отходы сортового и листового проката, используемые для изготовления новых образцов или предназначенные для передачи другим предприятиям; металлолом и стружка.

Очевидно, что утилизация отходов без переплава является более рациональной, поскольку в этом случае отпадает необходимость в их переработке, связанной с большими энергозатратами и отрицательно воздействующей на окружающую среду.

Наиболее целесообразно производить переработку отходов в местах их образования. Это полностью распространяется на утилизацию металлических отходов. Вместе с экономией металла обеспечивается экономия транспортных затрат, более эффективно используются основные фонды учреждений и уменьшаются затраты живого труда.

Переработка металлических отходов с переплавом является основным путем их утилизации. Выплавка вторичных металлов из

скрапа - амортизационного лома, т.е. металлолома, получаемого от амортизации и морального износа металлических конструкций, машин и т.д., и производственных отходов (обрезков, стружки и т.п.) представляет собой самую крупную сферу потребления, твердых отходов в промышленности [20].

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека.

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций являются, во-первых, внутренние, к которым относятся: сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина. Во-вторых, внешние чрезвычайные ситуации, - это стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов, терроризм, войны.

Противопожарная защита – это комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожаров.

Пожар – неконтролируемое горение, приводящее к ущербу и возможным человеческим жертвам. Опасными факторами пожара,

воздействующими на людей являются: открытый огонь; искры; повышенная температура окружающей среды; токсичные продукты горения, дым; пониженная концентрация кислорода. В соответствии с СП 12.13130.2009 помещения в которых производятся исследования сварочных процессов относятся к категории Г, так как в них могут находиться негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и горючие газы, которые сжигаются в качестве топлива [21].

Основными причинами пожаров от электрического тока является короткое замыкание, перегрузки электрических установок, переходные сопротивления и искрения. Причинами короткого замыкания могут неправильный выбор сечения и марки кабелей приводов, износ и различные механические повреждения изоляций. Перегрузка электрических цепей вызывает нагрев электрических установок, снижение диэлектрических свойств изоляции и ее воспламенение. Большие переходные сопротивления вызывают нарушения диэлектрических свойств изоляции и ее возгорание. Они, как правило возникают, когда проводники состоят из проводов разного сечения и разнородного материала, а также плохого контакта между собой и коммуникационными аппаратами. Искрение происходит в момент разъединения находящихся под напряжением проводов включателей, предохранителей и т.п.

Места, отведенные под проведение исследований сварочных процессов, и установки сварочных агрегатов очищаются от горючих и легковоспламеняющихся материалов в радиусе 5 метров. При проведении сварочных работ запрещается пользоваться одеждой и рукавицами со следами от масел, жиров, керосина и других горючих жидкостей.

Запрещается: загромождать входы и выходы; складировать материалы возле пожарных щитов и гидрантов и загромождать подходы к ним; устраивать склады легковоспламеняющихся и горючих материалов;

курить в местах хранения и применения легковоспламеняющихся и горючих материалов.

Пожарные краны, рукава, стволы, огнетушители и другие средства тушения пожаров должны содержаться в исправном состоянии и храниться в определенных местах по согласованию с органами пожарного надзора.

К техническим мероприятиям предупреждения пожара относится соблюдение противопожарных норм и правил при устройстве оборудования, вентиляции, освещения и отопления [17].

Рабочие места, проходы и проезды необходимо содержать в чистоте.

В помещении запрещается хранить пропан, керосин, бензин и другие легковоспламеняющиеся и горючие жидкости и материалы.

Для хранения спецодежды выделяются специальные помещения.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу. Число эвакуационных выходов из здания, помещения и каждого этажа установить не менее двух. Ширина участков путей эвакуации не менее 2 м, а дверей на путях эвакуации не менее 1 м. Ширина наружных дверей лестничных клеток не менее ширины маршевой лестницы, высота прохода на путях эвакуации не менее 2 м.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Все требования по технике безопасности можно разделить на следующие виды: требования безопасности к сварочному оборудованию, предупреждение травматизма, требования к вентиляции помещения, противопожарная безопасность.

К электросварочному оборудованию предъявляются следующие требования безопасности. Электросварочная установка всегда должна иметь паспорт, инструкцию по эксплуатации, инвентарный номер. Электроустановки включаются в электросеть только при помощи пусковых устройств. Включать в электросеть и отключать от нее электросварочные установки, а также производить ремонтные работы должны только электромонтеры. Прочему персоналу эти операции производить запрещается. Необходимо постоянно следить за исправностью изоляции питающих проводов, отсутствием оголенных токоведущих частей, а также за целостностью заземляющего провода. Состояние изоляции должно проверяться мегомметром не реже одного раза в месяц. Размещение сварочного оборудования, а также расположение и конструкция его узлов и механизмов должны обеспечивать безопасный и свободный доступ к нему.

Все электрооборудование должно быть заземлено. Заземление выполняется с целью обеспечения безопасности людей при нарушении изоляции токоведущих частей, для обеспечения нормальных режимов работы установки, для защиты электрооборудования от перенапряжений, для молниезащиты зданий и сооружений. Надежность заземления проверяется путем замеров.

Наиболее распространенными средствами индивидуальной защиты от различных вредных и опасных факторов является спецодежда, спецобувь, предохранительные приспособления.

Для предохранения тела от ожогов основной защитой является использование специальной одежды и обуви. Костюм и рукавицы должны быть исправными. Костюм одевается с напуском брюк на обувь, чтобы не оставалось незащищенных частей тела. Наиболее подходящей обувью являются ботинки без шнурков с гладким верхом и застежкой сзади либо с резиновыми растягивающими боковинами. Пользование рукавицами предохраняет руки одновременно от ожогов и от порезов об острые кромки металла. В качестве защитных средств от действия излучения дуги, кроме спецодежды, используются маска или шлем. Глаза защищаются от излучения специальными темными стеклами, светофильтрами, вставленными в щиток или шлем, которым сварщик защищает лицо во время сварочных работ [18].

К проведению сварочных работ разрешается допускать сварщиков после соответствующего обучения, имеющих удостоверение на право выполнения данного вида сварочных работ, прошедших инструктаж и проверку знаний техники безопасности с оформлением в специальном журнале, а также прошедших медицинский осмотр. Запрещается выполнять электросварочные работы лицам, не достигшим 18-летнего возраста. Все сварщики должны ежегодно проходить проверку знаний инструкции по охране труда.

Не подготовленному персоналу категорически запрещается исправлять силовые электрические цепи. Не разрешается скручивать сварочные провода и использовать провода с поврежденной изоляцией. Запрещается выполнять сварочные работы вблизи взрывоопасных и огнеопасных материалов. Не разрешается загромождать, закрывать пожарные проезды и проходы к пожарному инвентарю, оборудованию и пожарным кранам. Персоналу необходимо уметь пользоваться средствами огнетушения и применять их в соответствии с инструкциями в зависимости от характера горящего вещества и вещества огнетушителя. Во время работы сварщик обязан закрывать лицо щитком или шлемом со

специальными защитными стеклами, для защиты кожи от ожогов работать в спецодежде и рукавицах.

Проверка сварочного аппарата должна производиться в следующие сроки. Наружный осмотр каждый раз перед работой. Ревизия с разборкой и проверкой – не реже двух раз в год.

При сварке в среде защитных газов необходимо тщательно соблюдать правила обращения с газовыми баллонами. Баллоны необходимо окрашивать и делать на них ясные надписи с указанием наименования заполненного в них газа. Баллоны должны быть снабжены вентилями, плотно ввертывающимися в отверстие горловины или в расходно-наполнительные штуцеры у специальных баллонов, не имеющих горловин. Вентили баллонов должны быть снабжены заглушкой, плотно закрывающейся в боковой штуцер. Необходимо помнить, что причинами взрыва баллонов могут явиться сильные удары баллонов при падении, толчках и т.д., нагрев баллонов посторонними источниками тепла и другие нарушения правил их эксплуатации.

Заключение

В ходе работы была разработана и изготовлена координатная платформа автоматизированной установки для проведения исследований процессов сварки и наплавки, которая отличается простотой исполнения и низкой себестоимостью. Модульная конструкция позволяет использовать координатную платформу не только для проведения исследований, но и для обучения студентов основам программирования промышленных роботов.

Дискретность перемещения координатной платформы 0,1 мм, максимальная скорость – 10000 мм/мин, размер рабочей зоны в горизонтальной плоскости 300x200 мм. Максимальный вес перемещаемого образца 10 кг. Питание и правление шаговыми электродвигателями осуществляется через блок числового программного управления, свободно программируемый под необходимые задачи.

Использование в качестве корпуса установки стандартного шкафа для электротехнического оборудования облегчает монтаж дополнительной оснастки. Размещение в корпусе установки компьютера и блока измерения сварочного тока и напряжения дуги позволяет сразу же провести анализ получаемых данных. Конструкция координатной платформы установки позволяет проводить видеосъемку процессов сварки и наплавки, без применения дополнительной системы, фокусирующей камеру на дуге и месте образования сварного соединения.

Список используемых источников

1. Бахматов П.В. Методология научных исследований в сварке: Учебное пособие / П.В. Бахматов, В.И. Муравьев. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2012. – 199с.
2. Процессы в дуге и перенос металла при сварке MIG/MAG [Электронный ресурс]: Обучающий курс. – Лекции в формате Microsoft PowerPoint / В.Е. Пономарев, А.М. Сливинский. – Киев: НТУУ «КПИ», UFU, МУАЦ ИЭС им. Е.О. Патона, 2003.
3. Ильященко Д.П. Влияние энергетических параметров инверторных источников питания на структуру и свойства неразъемных соединений при ручной дуговой сварке: Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. / Науч. руководитель Д.А. Чинахов. – Югра: ЮТИ ТПУ, 2017. – 137с.
4. Быковский Д.П., Петровский В.Н., Успенский С.А. Исследование пароплазменного факела при сварке титана излучением мощного иттербиевого волоконного лазера // Квантовая электроника, том 3, № 3, 2015.
5. Павлов Н.В., Крюков А.В., Кузнецов Н.Е. Сравнительные санитарно-гигиенические характеристики способов сварки плавящимся электродом в защитных газах // Технологии и материалы, №3. – Югра: Общество с ограниченной ответственностью «НПО Сварочное производство», 2016.
6. Белянин П.Н. Промышленные роботы. – Москва: Машиностроение, 1975. – 400с.
7. Теория механизмов и механика машин: Учебник для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.; Под редакцией К.В. Фролова. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва: Высшая школа, 1998. – 496с.

8. Баханович А.Г. Проектирование зубчато-ременных передач: Учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей / А.Г. Баханович. – Минск: БНТУ, 2004. – 39с.
9. Емельянов А.В. Шаговые двигатели: Учебное пособие / А.В. Емельянов, А.Н. Шилин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2005. – 48с.
10. Гладков Э.А. Автоматизация сварочных процессов: Учебник / Э.А. Гладков, В.Н. Бродягин, Р.А. Перковский. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 421с.
11. Ловыгин А. А., Теверовский Л. В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система / А. А. Ловыгин, Л. В. Теверовский. - Москва: ДКМ Пресс, 2015. – 280с.
12. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
13. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
14. ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля
15. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
16. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
17. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф.Козьяков. Высш.шк., 1999.-448 с.: ил.
18. Думов С.И. – Технология электрической сварки плавлением: Учеб. Для машиностр. Вузов/Под ред. С.И. Думова,-3-е изд., переработанное И доп. – Л.:Машиностроение,1987.–461с.
19. Методические указания по определению эколого-экономической эффективности технологических процессов и производств в дипломных работах. – Москва: 1985 – 98с.

20. Ансеров Ю.М., Дурнев В.Д. Машиностроение и охрана окружающей среды. - Ленинград: Машиностроение, 1989. - 224 с

21. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

Приложение А

Раздел (2)

Разработка требований к конструкции исследовательской установки

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ61	Кудинов Дмитрий Игоревич		

Консультант отделения электронной инженерии ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Слободян М.С.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения электронной инженерии ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Игна О. Н.	д. п. н.		

2 Development of design requirements for research installations

Based on the above, the primary requirements for installation are formed. Since the installation is designed modular, that is, each unit is independent, for the convenience of its use, all modules are installed in a single housing.

The basic modules required for most studies are:

- Manipulation system.
- The measuring unit of electrical parameters of welding modes.
- High-speed video recording unit.
- Control computer.
- Welding aerosol removal system.

The functional diagram of the installation is shown in figure 2.1.

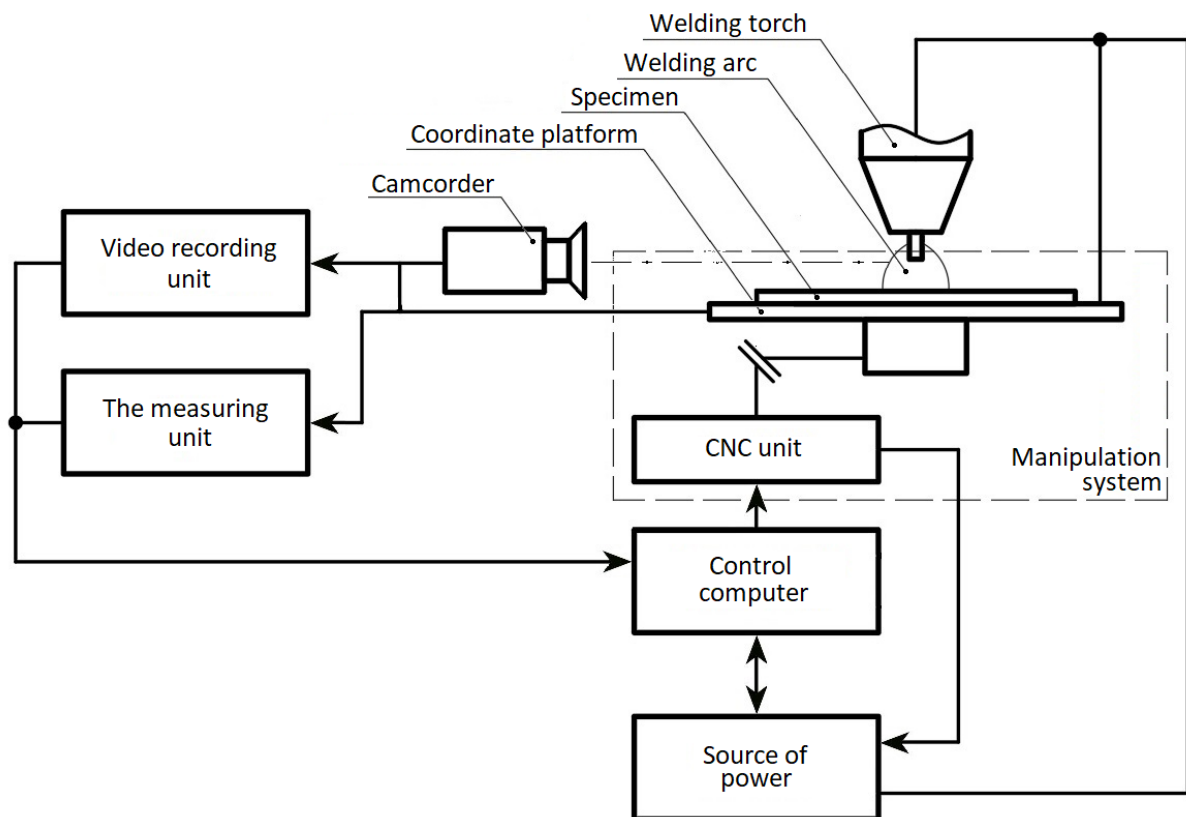


Figure 2.1 - Functional diagram of the installation

The video recording unit allows high-speed shooting of welding and surfacing processes. For this, the video camera is focused on the gap between the fixed welding torch and the movable welding sample.

To measure the welding amperage and voltage, a measuring unit is included in the welding circuit. Inside the measurement unit, there are current and voltage sensors that send data to the installation's control computer.

The installation is controlled through a computer with special software installed. All data coming from the unit for measuring the electrical parameters of the welding and surfacing modes is recorded in the computer's memory. The connected monitor allows display the video from the high-speed camera. The installed software allows to analyze the incoming data.

Through the computer operator is controlled by the system of manipulation. The manipulation system consists of a coordinate platform and a unit with numerical program control (CNC unit). In the CNC unit, the commands received from the computer are processed, which are converted into signals controlling the motors of the coordinate platform. Through the CNC unit, the welding power source is also controlled.

The coordinate platform of the manipulation system is designed to motion the welding sample relative to the burner during welding and surfacing.

2.1 General description of the installation housing

As the housing of the installation it is supposed to use a standard cabinet for electrical equipment, since it provides a convenient system for securing various modules. This will allow using ready-made solutions for fixing all necessary equipment and modules inside. The sizes of the modules installed in the housing, electrical equipment, are measured in units.

The housing of the installation is supposed to be divided into 2 halves. In the upper half is the working space of the manipulator, as well as high-speed video camera, welding torch, ventilation system and glass with light filters,

necessary for monitoring the welding and surfacing processes. In the lower half, units of numerical program control and measurement of the electrical parameters of the welding and surfacing modes, the controlling computer, as well as the power source of the welding chain are installed. Each half has doors necessary to restrict access to the inside of the installation.

In addition to the convenience of configuring the modules, the housing will protect users from the harmful effects of ultraviolet radiation, aerosols, vapors and gases, or damage from the emanating splashes of molten metal, and the mechanisms and equipment installed inside from undesirable environmental influences or careless handling.

A conceptual representation of the installation housing with mounted modules is shown in Figure 2.2.

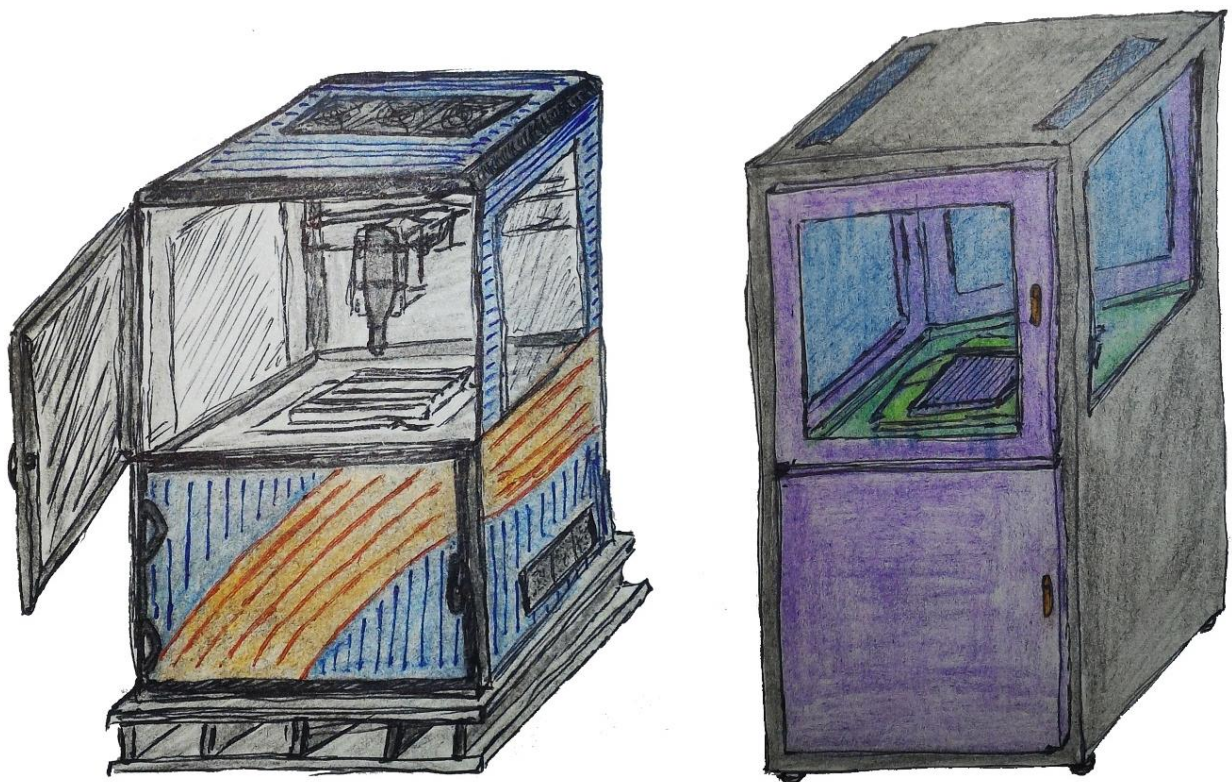


Figure 2.2 - The concept of an automated installation for research of arc welding and surfacing processes

2.2 Description of the basic installation modules

2.2.1 High-speed video recording unit

For video shooting of welding and surfacing processes, an optical system with a laser and a video camera is built into the installation, similar to that described in Section 1.1.

The camera is installed in the upper half, at the same level as the manipulator, so that the welding zone and the arc fall into the focus of the camera. The camera connects to the computer to transmit, process and display the resulting video.

The laser installation, which is necessary for re-arc-ing, is already installed in the lower half under the camera. This is connected with the large dimensions of the laser. The optical system redirects and changes the laser beam so as to light up the arc and get its shadow image on the camera. Then, under the laser, a measuring unit, a controlling computer, necessary peripheral devices and other equipment are installed.

2.2.2 Unit with numerical program control for manipulator

The CNC unit is designed to control the coordinate platform of the manipulation system. The CNC unit receives commands entered by the operator through the computer, as well as signals from the manipulator sensors, which are converted into control signals for the motors. In the same way, the power supply of the motors and the welding chain is controlled through the CNC unit. The CNC block includes:

- Control board with microcontroller.
- Motor drivers.
- Power supply.
- Power supply control relay.

Figure 2.3 shows the model of the CNC unit.

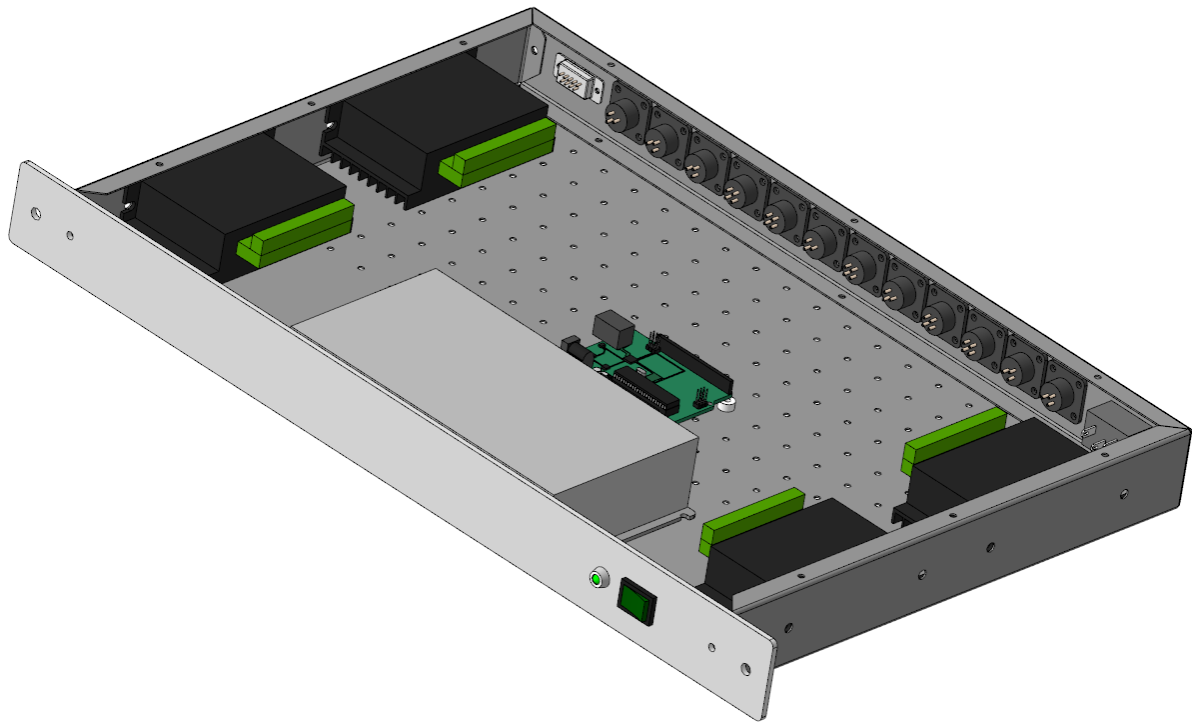


Figure 2.3 - CNC unit of the manipulation system

The microcontroller is the main control element in the CNC unit. It uses the installed software to convert the commands entered by the operator into signals necessary for controlling stepper motors. Signals from sensors restricting the working space, also enter the microcontroller to limit the operation of the engines and thereby protect the system from damage. When designing the manipulator control system, the Atmel AVR ATmega328P microcontroller was used with a preloaded program loader and mounted on a printed circuit board to facilitate programming.

ATmega328P is a 28 pin microcontroller, with an 8-bit processor, which has high performance. Special functions of the microcontroller:

- power-on reset and software detection of voltage drop;
- internal calibrate clock generator;
- processing of internal and external interrupts;

- six sleep modes (reduced power consumption and noise reduction for more accurate conversion of the ADC).

Power supply and processor speed:

- 1.8 - 5.5 V at a frequency of up to 4 MHz;
- 2.7 - 5.5 V at a frequency of up to 10 MHz;
- 4.5 - 5.5 V at a frequency of up to 20 MHz.

The microcontroller requires a maximum of 5V for power, which is not enough for the normal operation of the stepper motor. Therefore, the motor drivers are used to power the high-voltage windings of the motor, as well as control the direction and speed of its rotation, and precisely set the number of steps.

The stepper motor driver is an electronic power device that, based on digital signals, controls the high-voltage windings of the stepper motor and allows you to make steps (rotate). The motor drivers allow you to increase the number of motor steps at the hardware level, by controlling the voltage on its windings. This mode of operation is called micro step.

The micro stepping mode is provided by obtaining a stator field that rotates more smoothly than under normal modes. As a result, less vibration and quieter operation are provided. In addition, a smaller pitch angle is able to provide more accurate positioning. The motor drivers in this manipulator are set to the 1/16 step mode.

To power the manipulator, the power supply is connected to the 220 V network in the CNC unit. The design uses the MeanWell RID-125-2405 power supply. This unit converts the power of the supply network into two stabilized voltages - 5 V to supply the entire logic of the CNC and 24 V for stepper motors.

The power supply control relay is required to turn the welding current on and off. The relay is controlled from the microcontroller in accordance with the program or the operator's commands.

All components are assembled in a standard enclosure that is installed in a 19-inch rack for electrical equipment. The height of the case of the NC block is equal to 1 unit (44.45 mm).

2.2.3 The measuring unit of electrical parameters of welding modes

The measurement unit is designed for oscillographing of electrical parameters of welding and surfacing modes. For this purpose, a current-measuring oscilloscope sensor with a power supply is installed inside the of the measuring unit.

The housing of the measuring unit are made with a height of 3 units (133.35 mm). In the front panel of the unit there is an indicator showing the connection of voltage, as well as the power button. On the body of the unit there are holes for the installation of welding contacts, internal fastening of necessary electronic components and connectors for power and communication with the computer for data transmission (figure 2.4).

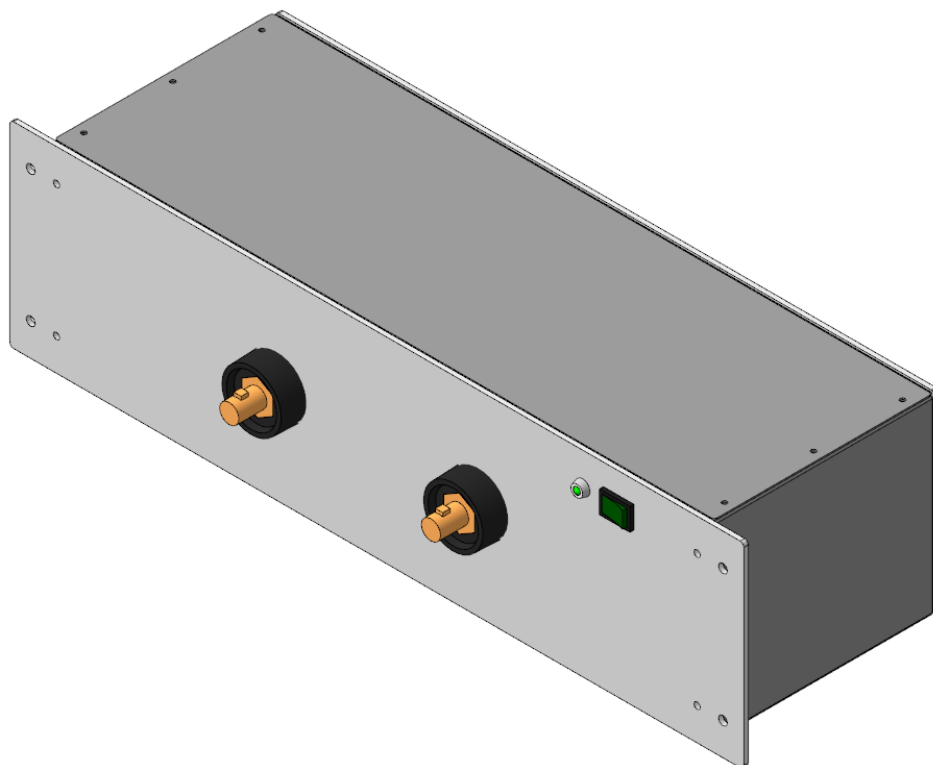


Figure 2.4 - Measuring unit

2.2.4 Control computer for the installation

To control the automated research installation, as well as the processing of data received from the measurement and video recording unit, the computer is mounted in the case. It is a standard personal computer, with the corresponding components:

- Motherboard.
- Hard disk.
- RAM memory.
- Power supply unit.
- Graphic card (video card).

Also, several expansion cards are connected to the motherboard to work with all the installation modules. For example, an oscilloscope board that allows to receive and process data from the measuring unit (figure 2.5).

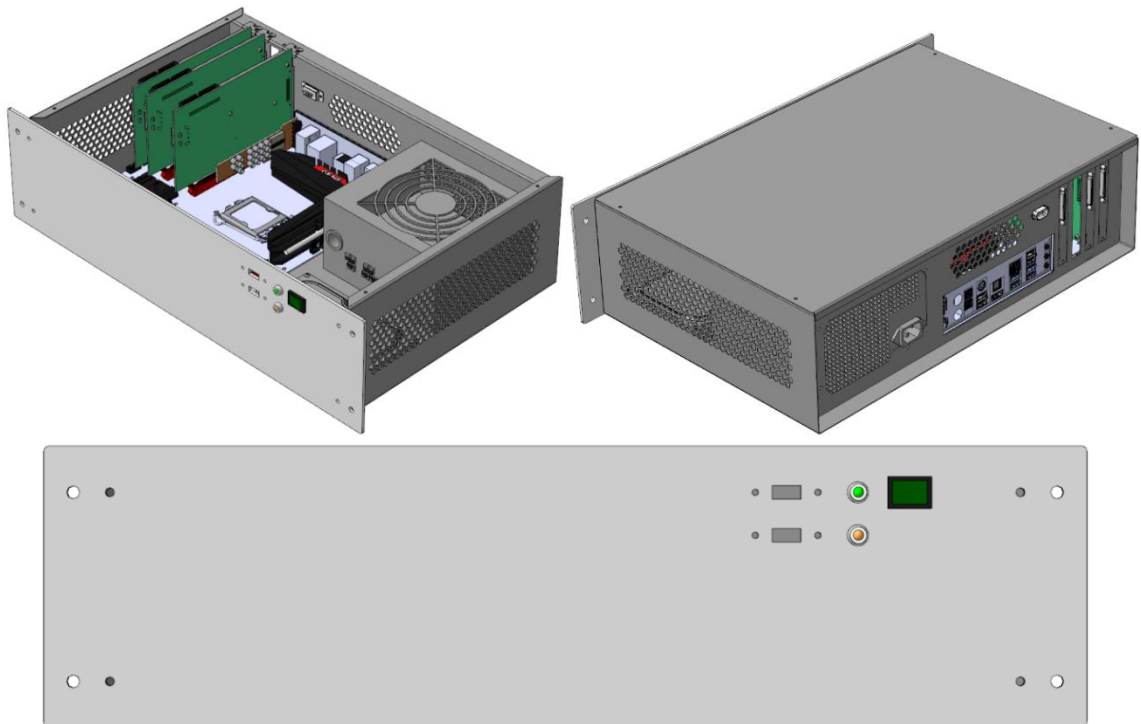


Figure 2.5 - Research installation computer

The computer case is made 3 units high. On the front of the computer, there are holes for installing USB connectors, a hard drive activity light indicator, an indicator showing the connection of voltage, as well as power on / off buttons. On the back panel, there are mounting windows of the connectors of the motherboard and its extensions executed according to ATX standards. There are also holes for installing the power supply, and additional communication connectors. In the case there are holes for mounting the motherboard and hard disk.

2.3 Definition of the basic requirements for the coordinate platform of the manipulation system

Firstly, it is necessary to determine the trajectory of moving the manipulator. In practice, in the welding industry, a large number of trajectories of the electrode end movement are applied (Figure 2.6) with arc welding methods, which are necessary to improve the quality of the welded joint.

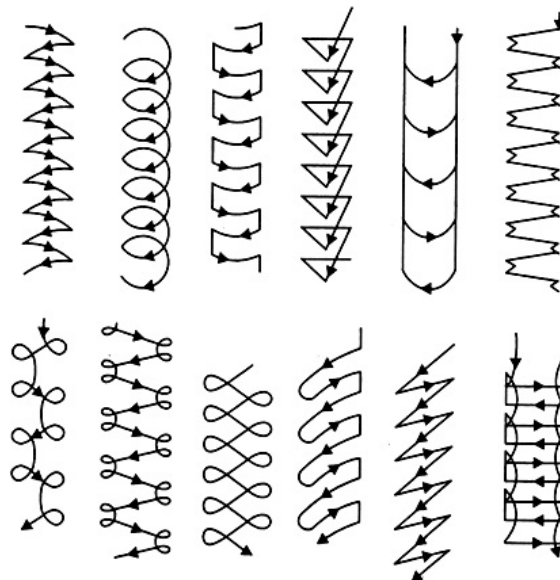


Figure 2.6 - Schemes of the possible trajectories of the electrode movement

The quality of the welded joint depends on the shape and width of the trajectories of the electrode movement. Therefore, the coordinate platform must be able to repeat any complex trajectory of the welding torch movement relative to the sample. To do this, greater accuracy is required in positioning the coordinate platform of the manipulator.

Complex trajectories of motion of the end of the electrode can be obtained using an industrial robot. However, from the above, one can understand that the use of an industrial robot as a manipulation system is undesirable. The design of most modern robots makes it difficult or completely impossible to produce video of the processes occurring at the point of connection formation during welding and surfacing. The main problem in this case is that the robot moves the welding torch because of what for video shooting it is necessary to design an arc-tracking system that moves the camcorder. Such a system, together with the robot will occupy a considerable space in the room, which is an undesirable factor. Do not forget that robots are technically complex and expensive equipment that requires an appropriate level of service by highly qualified specialists. High cost is one of the defining criteria influencing the choice of using a robot during the research. Therefore, it is necessary to develop a low-cost alternative manipulation system based on a simpler coordinate platform. One of the main differences of the manipulation system used in the installation is that welding objects are chosen as the moving object.

Based on paragraph 1.3, the manipulation system should have a compact design, possibly overlapped by its own working space, which is accomplished by selecting the coordinate system and the corresponding kinematics. According to [6], there are five main types of manipulators differing in the coordinate system and the corresponding kinematics in which the motion is specified:

1. Manipulators working in a Cartesian coordinate system;
2. Manipulators operating in a cylindrical coordinate system;
3. Manipulators working in a spherical coordinate system;

4. Articulated manipulators operating in an angular coordinate system;
5. Manipulators according to SCARA.

Three mutually perpendicular displacement axes along which the manipulation object moves defines the first type of manipulators. This type of manipulators works in a Cartesian coordinate system (figure 2.7).

The position of the object in this system is given by the coordinates x , y and z . The motion is given by the coordinate dependences of the time t .

This type of manipulators has a high resolution and high mobility, which makes it possible to achieve any trajectory of motion of a moving object, is one of the simplest in controlling the movement of links, since it is independent of the gravitational load.

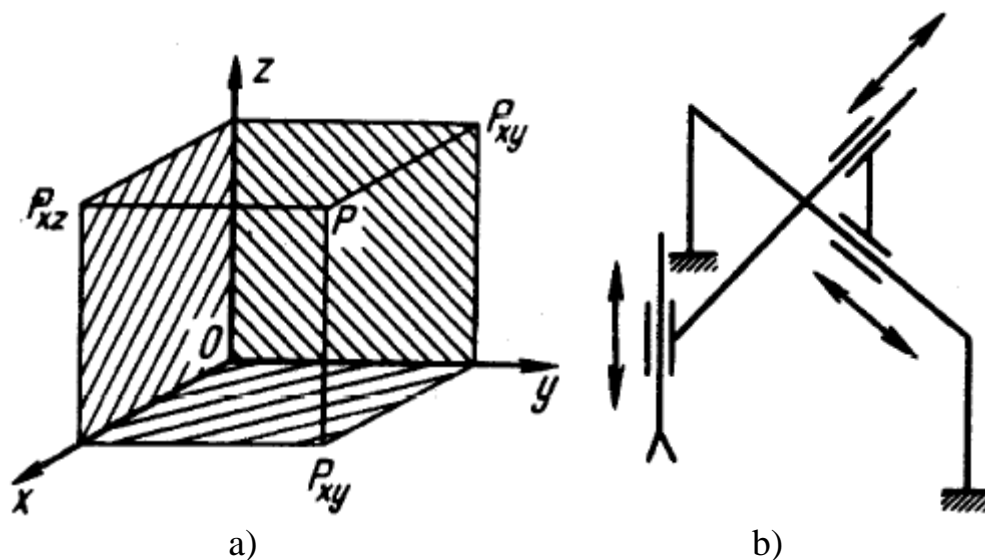


Figure 2.7 - Cartesian coordinate system (a) and the general kinematics of manipulators working in it (b)

The main drawback of most executions is the relationship between the dimensions of the manipulator and its working space. This is due to the fact that the size of the working space is limited by the dimensions of the guides, along which the final link of the manipulator moves.

The second type of manipulators works in a cylindrical coordinate system. This coordinate system is characterized by the movement of the object in the main coordinate plane in the direction of the radius vector r and the angle φ (the planar polar coordinate system), and also along the normal to it z . Motion in this coordinate system is given by changing r from time and angle φ (figure 2.8).

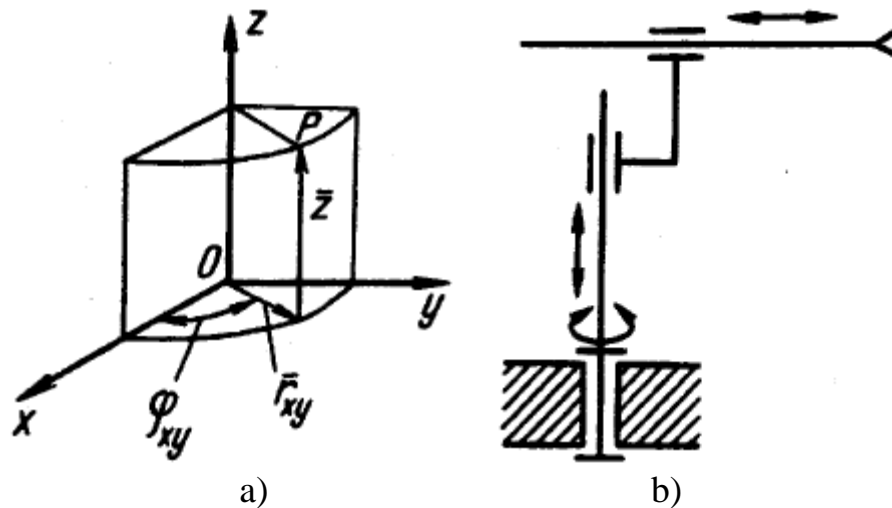


Figure 2.8 - Cylindrical coordinate system (a) and the general kinematics of manipulators working in it (b)

With this type of construction, the manipulator can be made quite rigid and almost completely independent of the gravitational loads. However, such a manipulator will have less accuracy and resolution than those working in a Cartesian coordinate system.

The third type of manipulators - working in a spherical (spatial polar) coordinate system. The displacement of the object of manipulation in space is carried out due to the linear movement of the arm of the industrial robot by the value of r and its angular displacements φ and θ in two mutually perpendicular planes (figure 2.9). Manipulators of this type have the smallest weight and minimal complexity of construction, as well as good resolution.

Disadvantages of this type are: significant moments in some engine junctions, and limited ability to avoid collision with obstacles. It is also worth noting that this type of manipulators is oriented to work in space, when using it in this project, all kinematics will eventually be reduced to manipulators of the second type.

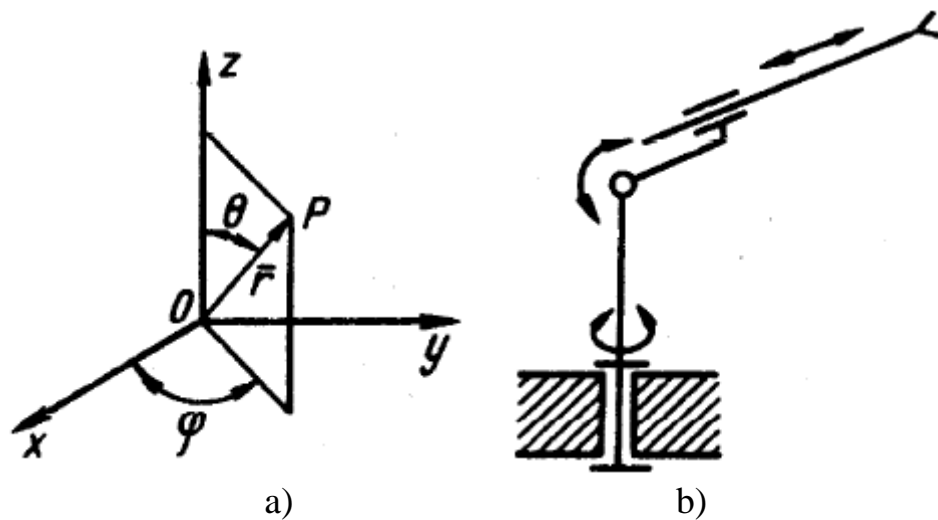


Figure 2.9 - Spherical coordinate system (a) and the general kinematics of manipulators working in it (b)

The fourth type of manipulators works in the angular coordinate system. A variation of such a coordinate system is an angular flat or spatial (cylindrical and spherical) coordinate system, characteristic for the movements of multi-link articulated arms of industrial robots and manipulators.

In an angular planar coordinate system, the manipulation object moves in the coordinate plane due to the relative rotations of links having a constant length. An angular cylindrical system is characterized by an additional displacement relative to the principal coordinate plane in the direction of the z coordinate perpendicular to it. In an angular spherical coordinate system, the movement of an object in space occurs only due to relative angular rotations, with at least one link being able to rotate through angles φ and θ in two mutually perpendicular planes (figure 2.10). To control the movement of the point P, it is necessary to determine the angles θ and φ as a function of the rectangular coordinates x and y. This inverse problem requires significant computations

with inverse trigonometric functions and can be performed at high speed only on a computer, which causes difficulty in writing a program for manipulator control. Also, the drawbacks of this type of manipulators include:

- large variable moments, which determines the increased load on the motor;
- lower resolution and accuracy than the types discussed above.

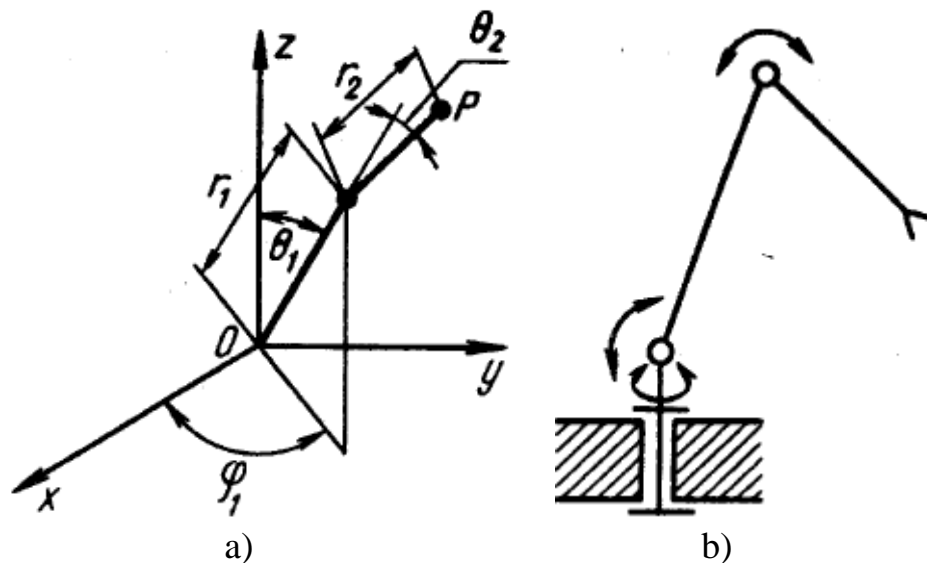


Figure 2.10 - The angular coordinate system (a) and the general kinematics of the manipulators working in it (b)

The fifth type of manipulators is built by SCARA. They also work in the angular coordinate system, but they have greater mobility in the horizontal plane. Structurally, it is a union of manipulators working in a cylindrical and angular coordinate system. This type of manipulators has 2 rotational pairs, connected by rigid levers for moving the working element in the plane.

Such a structural scheme allows "folding" the manipulator reducing its size and increasing the working area. The position of the manipulation object is set by the angle of rotation of the links, similar to plane angular kinematics and height z , as in a cylindrical coordinate system (figure 2.11).

At the moment, this kinematics is one of the most promising, but it is also difficult to control, since it requires complex processing of the inverse

- CoreXY.
- Delta XY.

XY Gantry - is a standard kinematics, in which to move an object along one axis, one engine is used that controls this axis. Danae kinematics has quite large overall dimensions and high inertia, this is due to the location of one of the engines on the movable carriage. One example of the implementation of this kinematics is shown in figure 2.12.

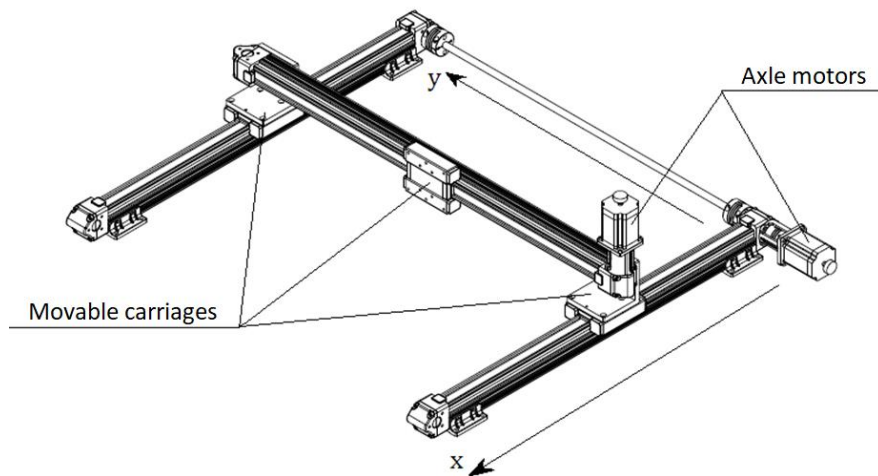


Figure 2.12 - Example of execution XY Gantry

In all the kinematics described below, the displacement of the object is accomplished by means of two engines operating independently of each other. In these kinematics, almost completely solved the problem with the inertia of the system, since the motors are fixed permanently in the manipulator housing.

Delta XY - a simplified variation of the delta robot, consists of two mobile carriages connected to a common platform (end link) by lever (pantographic) mechanisms with articulated joints. The position of the manipulation object is set by shifting the carriages relative to each other and mixing the common platform through the linkage (figure 2.13). The main difficulty in using such kinematics is the transformation of the free trajectory of

the displacement of the working member into translational mutual movement of the carriages. Also, the platform, on which the welding sample will be attached, and the sample itself will create a bending moment on the arms and carriages of the manipulator, which worsens the positioning accuracy.

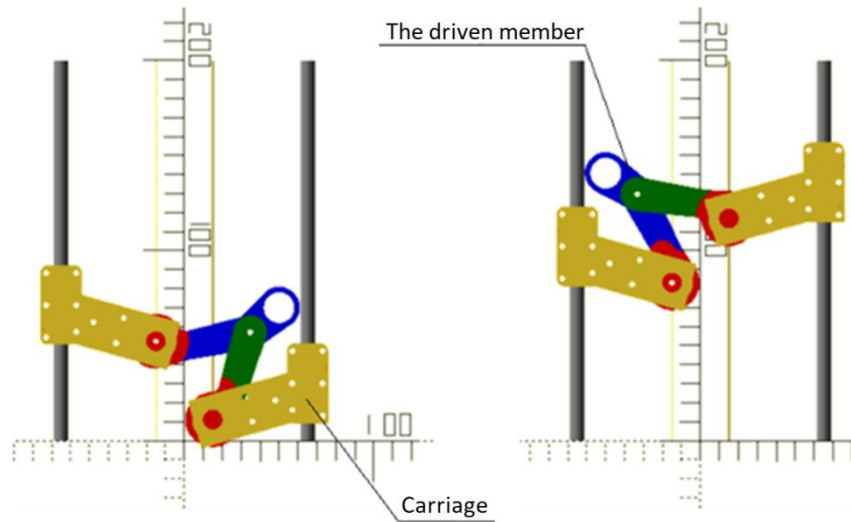


Figure 2.13 - Structural diagram of the kinematics of Delta XY

The remaining two kinematics have general principles of construction. H-Bot and CoreXY - circuits built on the belt drive, the final link is driven by a pair of electric motors. Electric motors operate independently of each other, however their interaction allows to provide the specified trajectory of movement of a final link of the manipulator. Perhaps this is due to the fact that the toothed belt connects to the central carriage and, passing through the pulley system and the motors, forms a closed loop. The CoreXY scheme uses two intersecting belts to form a closed loop, which complicates its design.

Therefore, in the project, the development of the coordinate platform is based on the H-bot. In this kinematics, the belt at one end is fixed on a carriage moving along the y axis, passes through pulleys on carriages moving along the x axis, through a fixed roller and two stepper motors closing into the H-shaped contour. By adjusting the speed and direction of rotation of stepper motors, you

can specify any trajectory of motion of the moving object in the horizontal plane (figure 2.14).

This kinematics allows you to make a coordinate platform with a working space that covers the entire floor space. The resolution of the coordinate platform is adjusted by selecting the pitch of the tooth of the toothed belt and the drive pulleys, as well as the selection of the angle of rotation of the motor shaft.

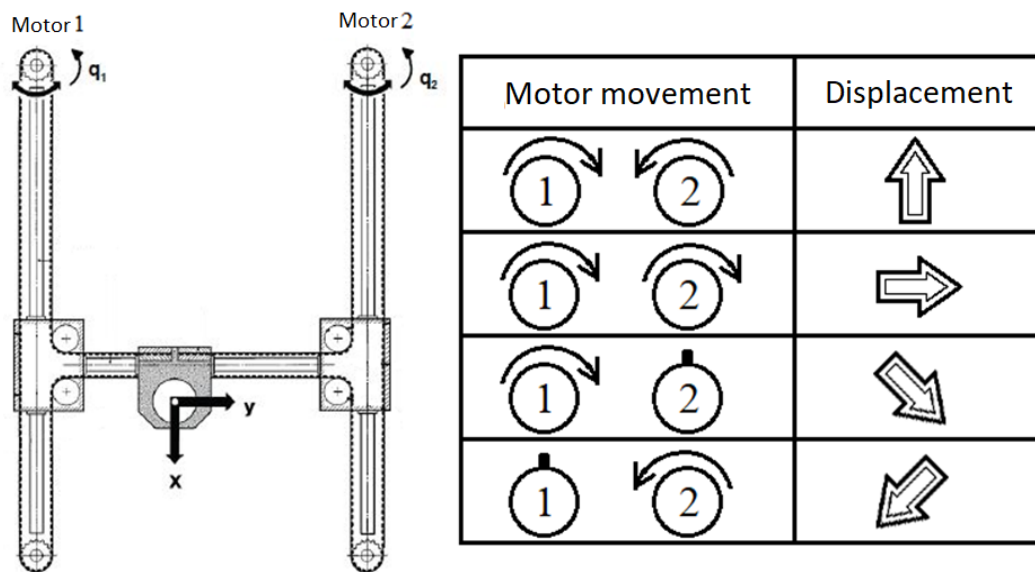


Figure 2.14 - Kinematics H-bot and table of carriage movement depending on mutual rotation of motors

And so we can distinguish the following advantages of this kinematics:

- compactness;
- motionless motors - the movement of the closing link is made by the movement of the belt;
- the need for only one belt and two electric motors for the system.

To increase the total mass of samples that can move the coordinate table in the circuit two additional electric motors are added to the place of the slave axes. Additional engines connect with opposing pairs.

To control a pair of electric motors, one signaling effect is sufficient, which allows them to be synchronized completely. However, it should be said

that there is a need to ensure a precise rotation of the electric motors. This fact can cause complexity when creating a manipulator control program.

To limit the course of the coordinate platform, inductive sensors are used, installed at the extreme positions along the x and y-axes. They also allow you to set the coordinate table in the initial working position.

Figure 2.15 shows the model of the final version of the coordinate platform of the H-Bot manipulation system. The design of the coordinate platform is described in section 3.2.

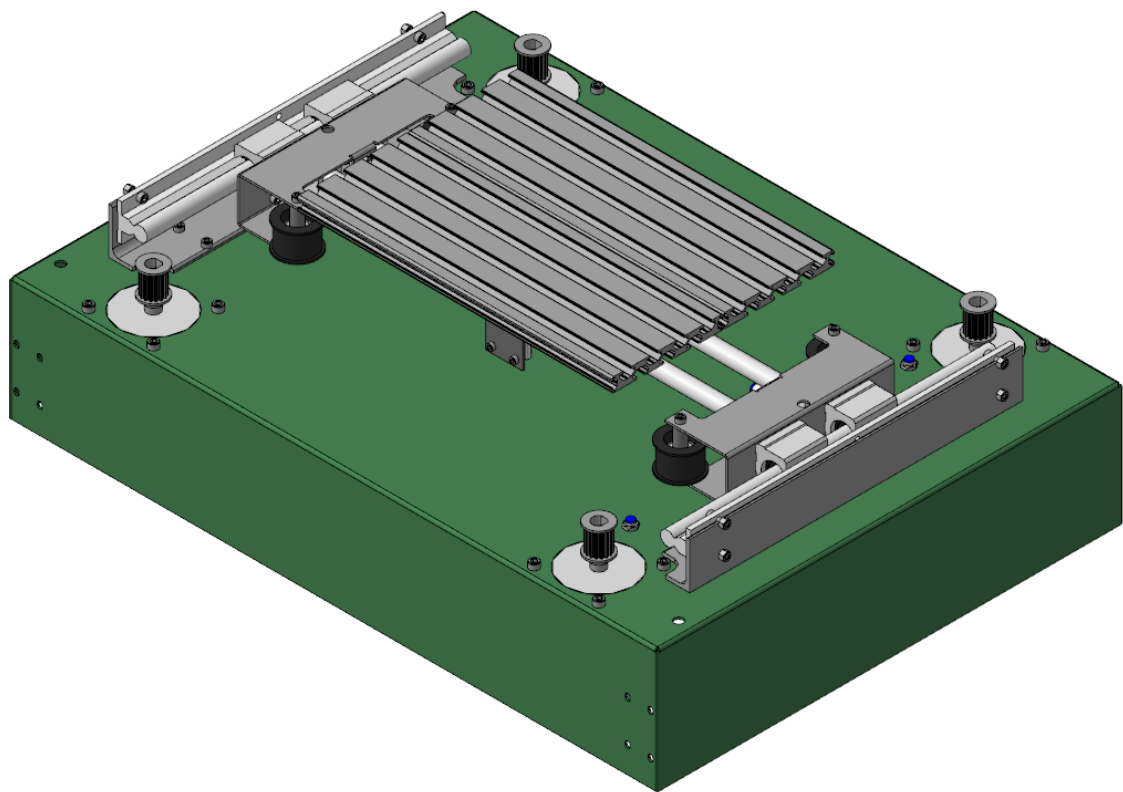
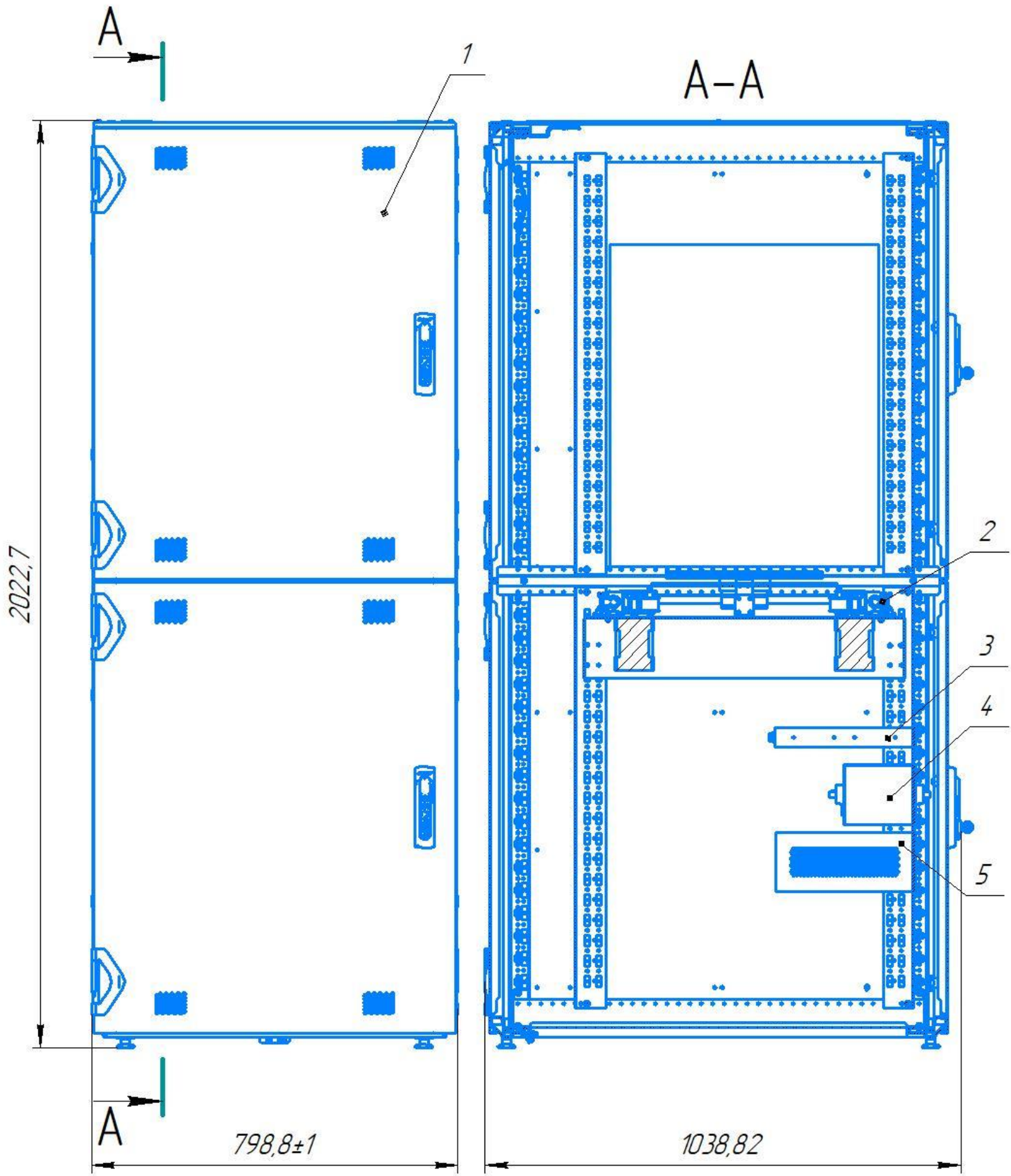


Figure 2.15 - Coordinate platform system manipulation

Приложение Б

Чертеж установки



Технические характеристики координатной платформы:
 1. Дискретность перемещения 0,1мм;
 2. Максимальная скорость 10000мм/мин;
 3. Размер рабочей зоны 300x200мм.

				ФЮРА.44 1465.000					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Автоматизированная установка для исследований процессов дуговой сварки и наплавки	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.		Кудинов Д.И.					238,76	1:10	
Проб.		Гордынец А.С.				Лист	1	Листов	2
Т.контр.						ТПУ			
Н.контр.						гр. 1ВМ61			
Утв.		Киселев А.С.			Формат А3				

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
Инв. № инв.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	Подп. и дата		

2022,7

798,8±1

1038,82

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
			ФЮРА.441465.000	Сборочный чертеж		
				<u>Сборочные единицы</u>		
		1		Корпус	1	
		2		Координатная платформа	1	
		3		Блок числового программного управления	1	
		4		Блок измерения сварочного тока и напряжения дуги	1	
		5		Управляющий компьютер	1	

ФЮРА.441465.000						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Кудинов Д.И.				
Пров.		Гордынец А.С.				
Н.контр.						
Утв.		Киселев А.С.				
Автоматизированная установка для исследований процессов дуговой сварки и наплавки				Лит.	Лист	Листов
					2	2
				ТПУ гр. IBM61		