

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

---

Школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
Отделение школы (НОЦ) автоматизации и робототехники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Система автоматического управления механической рукой</b>
УДК 681.51.01:007.52-2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т4Б	Вебер Максим Яковлевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР	Паньшин Геннадий Леонидович			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОСГН	Хаперская Алена Васильевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Обладать естественнонаучными и математическими знаниями для решения инженерных задач в области разработки, производства и эксплуатации систем управления техническими объектами и средств автоматизации.
P2	Обладать знаниями о передовом отечественном и зарубежном опыте в области управления техническими объектами с использованием вычислительной техники
P3	Применять полученные знания (P1 и P2) для формулирования и решения инженерных задач при проектировании, производстве и эксплуатации современных систем управления техническими объектами и их составляющих с использованием передовых научно-технических знаний, достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие методы анализа и синтеза систем управления, методы расчета средств автоматизации, уметь выбирать и использовать подходящее программное обеспечение, техническое оборудование, приборы и оснащение для автоматизации и управления техническими объектами.
P5	Уметь находить электронные и литературные источники информации для решения задач по управлению техническими объектами
P6	Уметь планировать и проводить эксперименты, обрабатывать данные и проводить моделирование с использованием вычислительной техники, использовать их результаты для ведения инновационной инженерной деятельности в области управления техническими объектами.
P7	Демонстрировать компетенции, связанные с инженерной деятельностью в области научно-исследовательских работ, проектирования и эксплуатации систем управления и средств автоматизации на предприятиях и организациях – потенциальных работодателях, а также готовность следовать их корпоративной культуре
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации и управления техническими объектами, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

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

---

Школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки (специальность) 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
Отделение школы (НОЦ) автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
8Т4Б	Веберу Максиму Яковлевичу

Тема работы:

Система автоматического управления механической рукой	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	- Микроконтроллер Arduino UNO; - механическая рука (4 степени свободы);
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Исследование автоматических систем управления манипуляторами, исследование прямой и обратной задачи кинематики, изучение существующих методов решения обратной задачи кинематики, разработка алгоритма автоматического управления для перемещения механического манипулятора.
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация в формате *.pptx, 10 слайдов

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Хаперская А. В.
Социальная ответственность	Невский Е. С.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	06.02.2018 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ОАР	Паньшин Геннадий Леонидович			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т4Б	Вебер Максим Яковлевич		

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

---

Школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки (специальность) 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
Уровень образования – Бакалавр  
Отделение школы (НОЦ) автоматизации и робототехники  
Период выполнения - весенний семестр 2018 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2018 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	75
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР	Паньшин Геннадий Леонидович			

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т4Б	Вебер Максим Яковлевич

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

**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, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
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 потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценка конкурентоспособности, рассмотрение альтернатив проведения НИ, SWOT анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Определение структуры и трудоёмкости работ в рамках НИ, разработка графика проведения НИ, планирование бюджета НИ.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности, формирование бюджета НИ

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

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

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель ОСГН	Хаперская А. В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т4Б	Вебер Максим Яковлевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т4Б	Вебер Максим Яковлевич

<b>Школа</b>		<b>Отделение</b>	<b>АР</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
Состав системы	В данном разделе описаны основные компоненты, задействованные в автоматической системе управления механическим манипулятором.
Производственная безопасность	В работе присутствуют такие вредные факторы как шум на рабочем месте и электромагнитное излучение. Опасные факторы присутствующие в работе являются движущиеся механизмы и передвигающиеся изделия, материалы и электрический ток.
Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Наиболее вероятным чрезвычайными ситуациями при разработке устройства являются пожар на рабочем месте. Пожар в кабинете исследователя может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера, которые описаны в данном разделе.
Защита данных	В данной работе происходит передача данных между персональным компьютером и микроконтроллером через протокол UART. Вследствие помех, которые могут возникнуть при передаче данных, в разделе рассмотрены методы защиты информации.
Специальные правовые нормы трудового законодательства	Правовые нормы трудового законодательства согласно «Трудовому кодексу Российской Федерации» от 30.12.2001 №197-ФЗ.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>01.03.2018</b>
---	-------------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т4Б	Вебер Максим Яковлевич		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа включает в себя: 79 страниц, 16 рисунков, 22 таблицы, 40 формул, 12 источников.

Ключевые слова: микроконтроллер Arduino, САУ, ОЗК.

Цель работы – разработка автоматической системы управления механической рукой на основе микроконтроллера Arduino.

В процессе исследования проводился обзор литературы, изучение видов задач кинематики и методов решения обратной задачи кинематики, создание прототипа устройства, разработка программы на языке Arduino.

В результате исследования был спроектирована и собрана автоматическая система управления механическим манипулятором, которая формирует 3D-рельеф.

В будущем планируется исправить нынешние недочёты конструкции и создать полноценное устройство.

## **Обозначения и сокращения**

USB – Universal Serial Bus или универсальная последовательная шина;

IDE – Integrated Development Environment или интегрированная среда разработки;

ОЗК – Обратная Задача Кинематики;

НТИ – Научно-Техническое Исследование;

ЭВМ – Электронно-Вычислительная Машина;

МК – Микроконтроллер;

ШИМ – Широтно-Импульсная Модуляция;

GND – Ground.

## Содержание

Введение.....	13
1 Основные положения .....	15
1.1 Промышленные роботы и их конструкция .....	15
1.2 Основные определения и понятия .....	17
1.2.1 Кинематика точки.....	17
1.2.2 Естественный способ задания движения .....	18
1.2.3 Векторный способ задания движения .....	18
1.2.3 Координатный способ задания движения.....	19
1.3 Прямая и обратная задачи кинематики .....	21
1.3.1 Аналитические методы решения обратной задачи кинематики .....	24
1.3.2 Численные методы решения обратной задачи кинематики.....	24
2 Решение обратной задачи кинематике для механической руки .....	26
2.1 Особенности обратной кинематической задачи.....	26
2.2 Аналитический расчет многозвенного механизма.....	26
2.3 Устройство исполнительного механизма.....	31
3 Алгоритмы управления манипулятором.....	36
3.1 Алгоритм инициализации .....	36
3.2 Блок схема алгоритма управления механическим манипулятором и программа для Arduino.....	37
3.3 Анализ точности исполнения обратной задачи кинематики.....	39
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	42

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	43
4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований .....	50
4.3 Планирование научно-исследовательских работ .....	52
5 Социальная ответственность .....	68
5.1 Аннотация .....	68
5.2 Введение .....	68
5.3 Состав системы .....	69
5.4 Производственная безопасность .....	69
5.4.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования .....	69
5.4.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов .....	70
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	72
5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований .....	72
5.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при исследовании объекта .....	72
5.6 Защита данных .....	73
5.7 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	74
Заключение .....	75
Conclusion .....	77
Список использованных источников .....	78

## **Введение**

Механические манипуляторы стали не только одной из движущих сил автоматизации и робототехники, но и одним из важнейших средств для экономических изменений в сфере труда.

Необходимость в применении таких систем возникла на заре ядерной эпохи. Первый электромеханический манипулятор был разработан в США группой сотрудников Аргоннской национальной лаборатории и предназначался для перемещения радиоактивных материалов. Первые промышленные образцы в Советском Союзе появились несколько позже, в 1971 году. В дальнейшем роботы-манипуляторы проникли во множество других сфер жизни, такие как машиностроение, авиастроение, медицина и военная область.

Манипуляторы все больше и больше заменяют человеческий труд в опасных сферах производства. Они выполняют работы с более высокой точностью и безопасностью, обеспечивая высокое качество работы. Практической целью создания таких роботов являлась передача им тех видов деятельности, которые для человека являются трудоемкими, тяжелыми, вредными для здоровья и жизни. Это, как правило, подъемные работы, сварка, окраска, резка и пр.

Разработка и внедрение механических манипуляторов позволили перейти на новый, более высокий научно-технический уровень решения задач по комплексной автоматизации на промышленных предприятиях, перераспределить функции между человеком и машиной и значительно повысить производительность труда. Применение роботов является одним из путей решения острой проблемы трудовых ресурсов и имеет высокое социальное значение.

Для изучения принципов проектирования и работы механических манипуляторов автором было принято решение разработать простейший манипулятор на базе доступных элементов робототехники.

Целью данной работы является создание автоматической системы управления механическим манипулятором, формирующей 3D-рельеф. Для достижения результата, были поставлены следующие задания:

1. Ознакомление с теоретическим материалом по теме: «Кинематика манипулятора и основные задачи кинематики»;
2. Выбор метода для решения обратной задачи кинематики;
3. Разработка алгоритма управления;
4. Тестирование устройства.

## **1 Основные положения**

### **1.1 Промышленные роботы и их конструкция**

То, каким образом будет сконструирован механический манипулятор, зависит от множества факторов, которые, в свою очередь, зависят, как и от его дальнейшего назначения, так и последующих условий применения.

Робототехника считается довольно новым и стремительно развивающимся направлением науки и техники. Это направление непосредственно связано с использованием и разработкой роботов и робототехнических систем. Вследствие скорого развития робототехники в науке, сразу возникло большое количество новых проблем и задач, что послужило дополнительным толчком к их дальнейшему развитию.

Робот, который является одним из самых главных объектов, рассматриваемых в этой науке, является совершенно многофункциональным механизмом, который предназначен для воспроизведения-копирования функций присущих человеку, то есть двигательных и интеллектуальных. Существуют множество различных роботов, которые в той или иной мере способны воспроизводить двигательные и мыслительные функции человека. Среди таких роботов важнейшим видом идут манипуляционные роботы. Особенностью роботов такого типа, одной из ветвей которых идут промышленные роботы, является присутствие манипулятора – исполнительно-рабочего органа.

Целью изобретения роботов было присвоение им такого функционала, которые для человека считаются трудными и невыполнимыми, в том числе опасные для жизни и здоровья человека. Погрузка или разгрузка техники, производственных материалов и основные производственные операции: сварка, окраска, резка, сборка, а также работы в условиях экстремального плана: на большой глубине, в космическом пространстве, в радиоактивных и зараженных средах – все это операции второстепенного плана.

Как раз потребность в разрешении некоторых задач производственного плана послужила бурному развитию в последние года исследованиям в сфере робототехники и развития роботов. Благодаря промышленным роботам находят решения к задачам тотальной автоматизации мелкосерийного и среднего производства в современном машиностроении.

В результате развития робототехники человечество получило возможность решать принципиально новые научные, исследовательские и производственные задачи, такого типа как создание искусственного интеллекта, и совершенно новые технологии, касающиеся земли и космического пространства.

В настоящее время в робототехнике идет развитие двух главных путей конструирования роботов. Одно из них связано с разработкой роботов специального назначения, которые разрабатываются для того чтобы оснастить технологическое оборудование какой либо конкретной модели и выполнять некие технологические функции. Роботы такого типа, зачастую, будут обладать малым числом степеней подвижности, но показывать высокие показатели быстродействия, стабильности, точности и исправности. Но такая конструкция будет ограничивать возможность из использования при каком либо изменении условий технологического процесса.

Вторым путем является разработка универсальных и всесторонних промышленных роботов, особенностью которых будет применение в достаточно широких диапазонах изменения условий технологического и других процессах. Такие роботы в свою очередь обладают большим количеством степеней подвижности, но обеспечение в них высокой точности и надежности является более трудной задачей, в то же время они требуют более тщательных затрат на изготовление. Тем более часто бывает такое, что не все степени подвижности будут использоваться.

## 1.2 Основные определения и понятия

### 1.2.1 Кинематика точки

Материальной точкой называется тело, размерами которого при описании его движения можно пренебречь. Положение точки в момент времени  $t$  задается радиус-вектором  $\vec{r}$ , проведенным к этой точке из начала координат (рисунок 1). В процессе движения конец радиус-вектора описывает пространственную кривую — траекторию. В прямоугольной декартовой системе координат положение радиус-вектора задается тремя его проекциями на оси — координатами  $x, y, z$ . Путь — длина участка траектории, пройденного точкой за рассматриваемый интервал времени. Путь — величина скалярная, неотрицательная и не убывающая со временем. Перемещением точки называется вектор  $\Delta\vec{r}$  соединяющий начальное положение точки с конечным и равный разности радиус-векторов в конечный и начальный моменты времени.

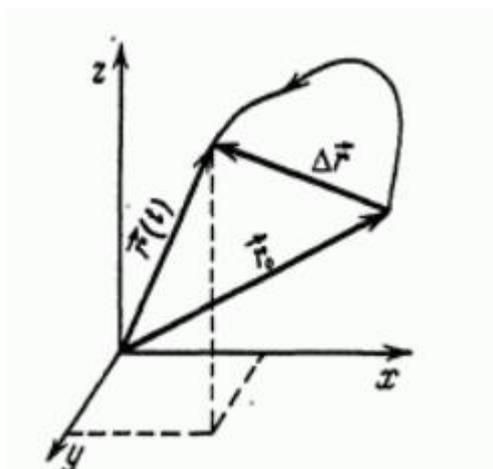


Рисунок 1 – Система координат

Движение точки по отношению к выбранной системе отсчета считается заданным, если известен способ, с помощью которого можно определить положение точки в любой момент времени. Задать движение точки — это означает указать способ, который позволяет в любой момент времени определить ее положение по отношению к выбранной системе отсчета.

### 1.2.2 Естественный способ задания движения

Естественным способом задания движения пользуются в тех случаях, когда траектория движущейся точки известна заранее. Непрерывная линия, которую описывает движущаяся точка относительно данной системы отсчета, называется траекторией точки (рисунок 2). Если траектория является прямой линией, то движение точки называется прямолинейным, а если кривой линией – то криволинейным.

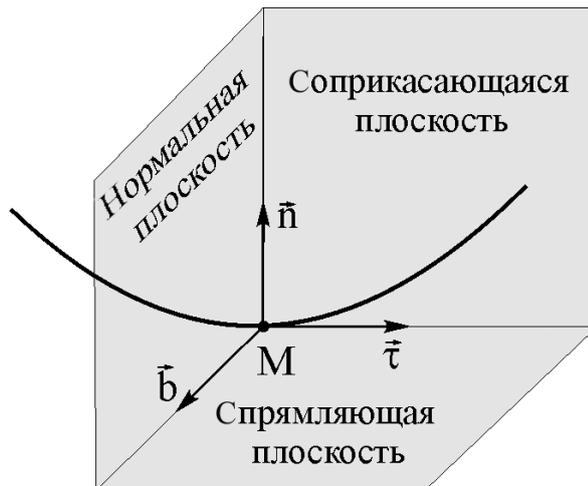


Рисунок 2 – Траектория точки

При движении точка будет перемещаться вдоль траектории, следовательно, расстояние будет с течением времени изменяться. Чтобы определить положение точки на траектории в любой момент времени, надо знать зависимость вида:  $s = f(t)$ .

### 1.2.3 Векторный способ задания движения

В этом случае положение точки в пространстве определяется только радиусом – вектором, проведенным из начала декартовой системы координат (рисунок 3).

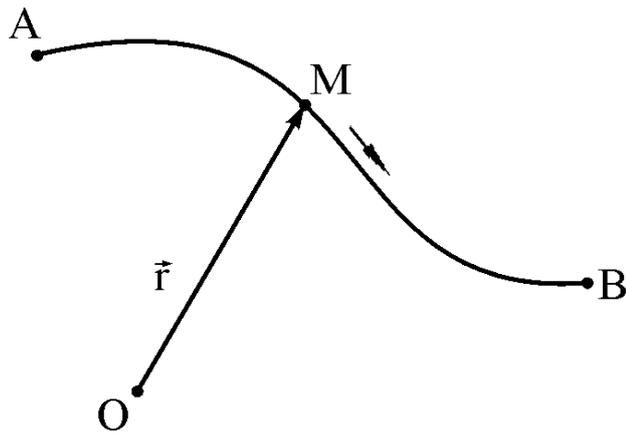


Рисунок 3 – Векторный способ

Уравнение движения в этом случае имеет вид:  $\bar{r} = \bar{r}(t)$

Уравнение скорости:  $\bar{V} = \frac{d\bar{r}}{dt}$

Уравнение ускорения:  $\bar{W} = \frac{d\bar{V}}{dt} = \frac{d^2\bar{r}}{dt^2}$

Векторный способ задания движения удобен для установления общих зависимостей, так как позволяет описать движение точки одним векторным уравнением вместо трех скалярных.

### 1.2.3 Координатный способ задания движения

Пусть мы имеем неподвижную прямоугольную систему координат с центром в неподвижной точке O. При этом положение точки M однозначно определяются ее координатами x, y, z (рисунок 4). Координатный способ задания движения точки – это такой способ, при котором заданы зависимости координат от времени. То есть заданы три функции от времени

$$\text{(при трехмерном движении): } \begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

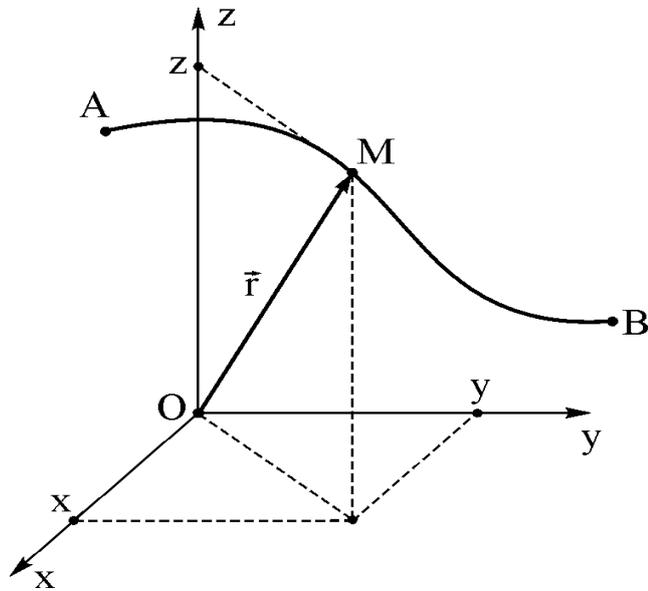


Рисунок 4 – Координатный способ

Эти уравнения являются и уравнениями траектории в параметрической форме. Исключая из этих уравнений параметр  $t$ , можно получить три пары систем двух уравнений, каждая из которых представляет траекторию точки, как пересечение поверхностей. Кроме декартовых могут быть использованы другие системы координат (сферическая, цилиндрическая).

Используя формулы для определения скорости и ускорения точки при векторном способе задания движения, можно получить аналогичные формулы для координатного способа:

$$\bar{V} = \frac{dx}{dt} \bar{i} + \frac{dy}{dt} \bar{j} + \frac{dz}{dt} \bar{k} \quad (1)$$

То есть:

$$\left. \begin{aligned} \bar{V} &= \frac{dx}{dt} \bar{i} + \frac{dy}{dt} \bar{j} + \frac{dz}{dt} \bar{k} = V_x \bar{i} + V_y \bar{j} + V_z \bar{k} \\ V &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Направление вектора скорости определяется с помощью направляющих косинусов:

$$\left. \begin{aligned} \cos(x, \bar{V}) &= \frac{V_x}{V} \\ \cos(y, \bar{V}) &= \frac{V_y}{V} \\ \cos(z, \bar{V}) &= \frac{V_z}{V} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

### 1.3 Прямая и обратная задачи кинематики

При решении конкретных задач кинематики могут возникать две принципиально различные ситуации в зависимости от того, какая информация известна о движении точки.

Задачу определения характеристик движения по известному закону движения называют прямой задачей кинематики. Другими словами, прямая задача — это вычисление положения  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  рабочего органа манипулятора по его кинематической схеме и заданной ориентации  $A_1, A_2 \dots A_n$  его звеньев ( $n$  — число степеней свободы манипулятора,  $A$  — углы поворота). Таким образом, решение прямой задачи говорит — где будет находиться рабочий орган манипулятора, при заданных углах между его звеньями.

Рассмотрим пример прямой задачи кинематики.

Имеем манипулятор, способный работать только в одной плоскости и имеющий два сустава (рисунок 5).

Первый сустав  $L_1$  закреплён на основании и повернут на угол  $Q_1$ , второй сустав  $L_2$ , крепится к концу первого сустава и повернут относительно него на угол  $Q_2$ . Рабочий орган манипулятора находится на конце второго сустава.

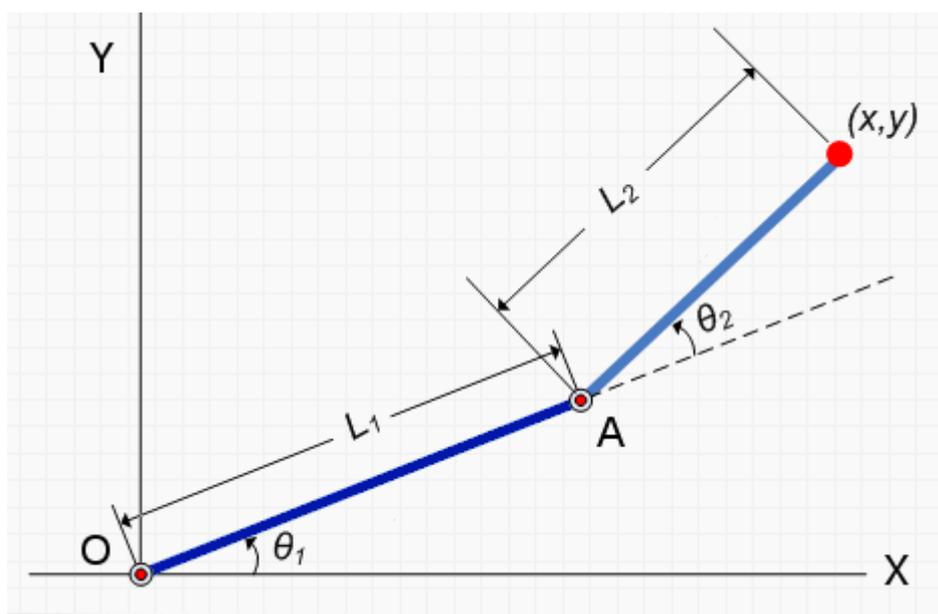


Рисунок 5 – Манипулятор с двумя звеньями

Имеются две системы отсчёта — первая, связанная с точкой крепления плеча  $L_1$  —  $O$ , а вторая — с началом координат в точке крепления локтя —  $A$ .

Найдём смещение второй системы относительно первой (координаты точки  $A$  в системе отсчёта  $O$ ):

$$\left. \begin{aligned} X_A &= L_1 \cdot \cos(Q_1) \\ Y_A &= L_1 \cdot \sin(Q_1) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Координаты  $(x, y)$  в системе отсчёта локтя:

$$\left. \begin{aligned} X'' &= L_2 \cdot \cos(Q_2) \\ Y'' &= L_2 \cdot \sin(Q_2) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

По рисунку видно, что в системе  $O$ , локоть  $L_2$  повёрнут относительно плеча на  $Q_1+Q_2$ :

$$\left. \begin{aligned} X' &= L_2 \cdot \cos(Q_1 + Q_2) \\ Y' &= L_2 \cdot \sin(Q_1 + Q_2) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Таким образом получаем координаты  $x$  и  $y$  :

$$\left. \begin{aligned} x &= X_A + X' = L_1 \cdot \cos(Q_1) + L_2 \cdot \cos(Q_1 + Q_2) \\ y &= Y_A + Y' = L_1 \cdot \sin(Q_1) + L_2 \cdot \sin(Q_1 + Q_2) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Обратная задача кинематики (ОЗК), как и прямая задача о положении, является одной из основных задач кинематического анализа и синтеза манипуляторов. Управление манипуляционными роботами, как правило, осуществляется в пространстве обобщенных координат, а координаты объектов манипулирования задаются в некоторой базовой системе. Таким образом, для управления положением и ориентацией робота возникает необходимость получения решения обратной задачи.

Следует отметить, что решить ОЗК можно только для точек, лежащих в рабочей области робота. Если решения для точки нет, то точка лежит за пределами рабочей области робота. Если манипулятор робота не обладает 6

степенями свободы, то не всякая ориентация возможна в точке рабочей области.

В общем случае ОЗК имеет неоднозначное решение (т.е. несколько решений). Например, на рисунке 6 одна и та же точка может быть достигнута при верхней (Рисунок 6, а) и нижней (Рисунок 6, б) конфигурации манипулятора.

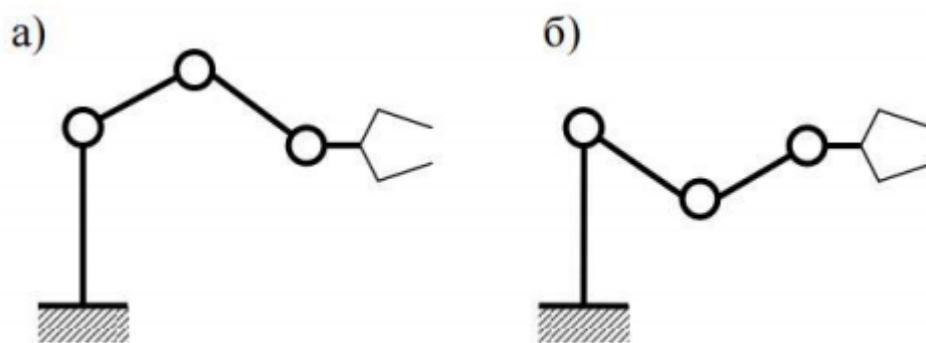


Рисунок 6 – Пример неоднозначности решения ОЗК:

а) звенья «сверху»; б) звенья «снизу»

ОЗК о положении состоит в определении обобщенных координат манипулятора:  $r_j (j = \overline{1, m}), m \leq 6$  по заданным в опорной системе координатам выходного звена-хвата робота:  $q_i (i = \overline{1, n})$ , где  $n$  – число степеней свободы. Для решения обратной задачи необходимым условием является  $n = m$ , означающее, что в этом случае можно составить  $n$  независимых уравнений, число неизвестных в котором также равно  $n$ .

Если  $n > m$ , то решение обратной задачи существует, однако обратная задача в этом случае решается неоднозначно. Говорят, что манипулятор имеет избыточные степени подвижности. На практике это означает, что избыточные степени повышают функциональные возможности манипулятора.

Существуют различные методы получения решения обратной задачи, но, в целом, все методы решения ОЗК можно разделить на аналитические и численные. Ниже рассмотрены ограничения, достоинства и недостатки каждого из методов.

### **1.3.1 Аналитические методы решения обратной задачи кинематики**

К достоинствам аналитического метода решения ОЗК относят получение произвольной точности решения. Однако, нахождение точного решения в виде аналитических зависимостей для обобщенных координат от конструктивных параметров и заданного вектора положения манипулятора представляется возможным не для всех манипуляторов. Аналитическое решение, таким образом, существует только для роботов с определенной конструкцией. Например, оси части смежных сочленений должны пересекаться в одной точке или должны быть параллельны либо перпендикулярны между собой.

Нахождение обобщенных координат в явном виде достаточно сложная задача, поскольку уравнения являются нелинейными. Для упрощения задачи существует ряд методов, предназначенных для более простого получения аналитических выражений. Метод обратных преобразований позволяет решать ОЗК простых манипуляторов.

Хотя метод обратных преобразований дает общий подход к решению, из него не следует, каким образом выбирать из нескольких существующих решений одно, соответствующее требуемой конфигурации манипулятора.

### **1.3.2 Численные методы решения обратной задачи кинематики**

В случае если решение обратной задачи в виде аналитических выражений невозможно, используются численные методы.

Численный метод позволяет решить ОЗК для тех конструкций манипуляторов, для которых получение точного решения в аналитических выражениях не представляется возможным либо достаточно затруднительно. Это является основным достоинством при использовании численного метода применительно к поставленной задаче.

Кроме того, численные методы решения обратной задачи позволяют достичь требуемой точности решения. Однако время сходимости того или

иного метода заранее неизвестно и во многом зависит от начального приближения. В результате, чувствительность к количеству переменных целевой функции, виду гиперповерхности, а также различная скорость сходимости и потери на поиск требуют значительных вычислительных мощностей, что затрудняет их использование в реальном времени.

## **2 Решение обратной задачи кинематике для механической руки**

### **2.1 Особенности обратной кинематической задачи**

Важной особенностью проекта является специфика вычислений тригонометрических функций. В конце выполненных вычислений возможно появление таких интервалов, в которых не будут лежать решения. Такое случается при расчете функции  $\arccos$ . С каждой итерацией такие интервалы будут отсекаются, однако на последней итерации возможно получение лишнего интервала.

Следующая особенность связана с тем, что, если механизм уже имеет три звена и более, то задача будет иметь неограниченное количество решений, исключая некоторые частные случаи. Часто бывает, что в случае стремящегося к бесконечности числу решений процесс вычислений не приводит к окончательному принятию значений переменных, полученные решения остаются в виде грубых интервалов.

### **2.2 Аналитический расчет многозвенного механизма**

При управлении роботом следует выбрать то решение, которое окажется ближе к текущему положению звеньев. Универсального решения обратной задачи кинематики не существует. Для разных кинематических схем робота должны быть разные подходы к решению. В любом случае, задача сводится к простому школьному курсу геометрии (стереометрии). В основном применяются:

- теорема Пифагора;
- теорема косинусов;
- теорема синусов.

Известны длины звеньев  $L_1, L_2, L_3, L_4$  и положение рабочей точки  $P$   
 $x, y, z$ .

Задача: найти обобщенные координаты:  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  и  $\varphi_4$  (рисунок 7).

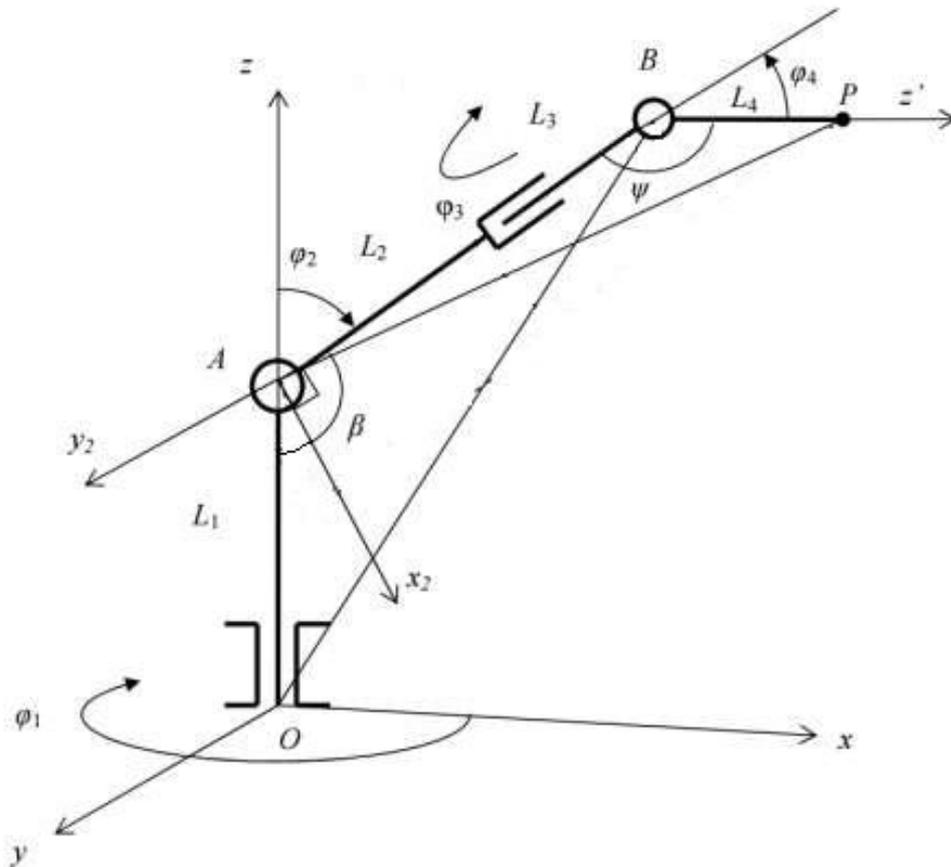


Рисунок 7 – Четырехзвенный механизм

Первым этапом следует обозначить переходное условие:

- 1 Координата  $X > 18,2$  см.
- 2 Координата  $Y > 18,2$  см.

При выполнении любого из этих условий, управление от первого и третьего звена переходит ко второму и четвертому звену.

Вариант управления механическим манипулятором при координатах  $X, Y \leq 18,2$  см (рисунок 8):

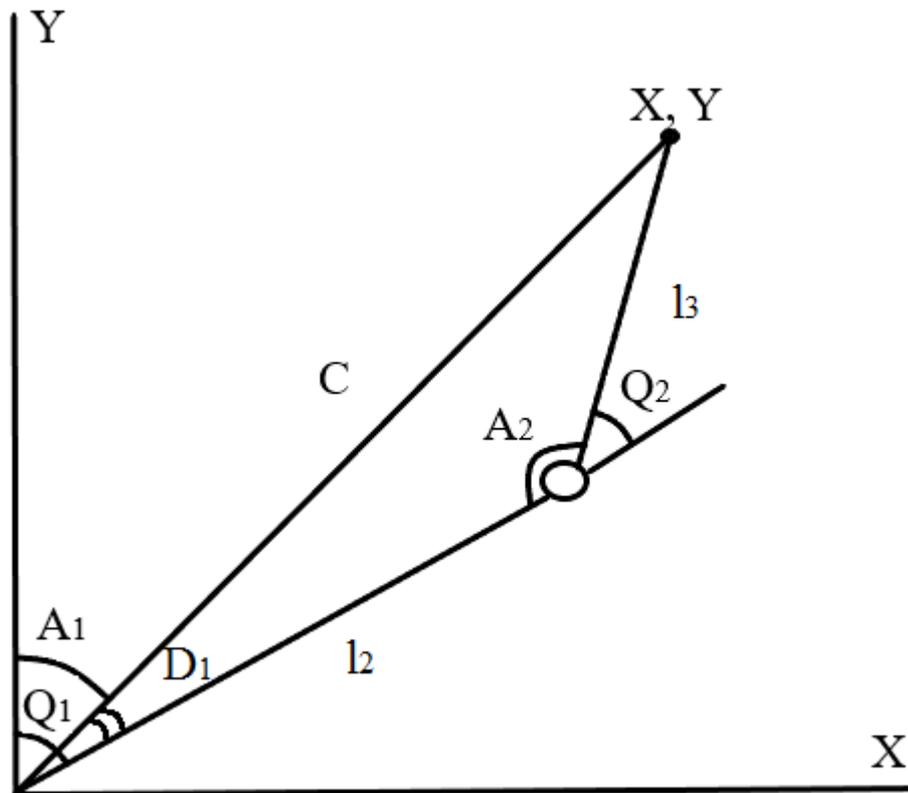


Рисунок 8 – Графическое отображение к заданному условию

Зная координаты  $X$ ,  $Y$ , по теореме Пифагора можно определить вектор  $C$  (8):

$$C^2 = X^2 + Y^2. \quad (8)$$

Отсюда следует, что горизонтальная проекция на ось  $X$  равна (9):

$$x = \sin A_1 * C, \quad (9)$$

а вертикальная проекция на ось  $Y$  равна (10):

$$y = \cos A_1 * C. \quad (10)$$

Исходя из значений полученных проекций легко получить угол  $A_1$  (11), он будет равен арктангенсу отношения вертикальной к горизонтальной проекции:

$$A_1 = \arctg \frac{x}{y}. \quad (11)$$

Из рисунка 2.2 видно, что угол  $Q_1$  равен сумме углов  $A_1$  и  $D_1$ . Определим угол  $D_1$  (13) по теореме косинусов, которая гласит, что для

плоского треугольника со сторонами  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и углом  $\alpha$ , который противолежит стороне  $a$ , справедливо соотношение (12):

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 * b * c * \cos\alpha. \quad (12)$$

Тогда

$$D_1 = \arccos((C^2 + l_2^2 - l_3^2)/(2 * C * l_2)), \quad (13)$$

а угол  $Q_1$  равен (14):

$$Q_1 = \arctg \frac{x}{y} + \arccos((C^2 + l_2^2 - l_3^2)/(2 * C * l_2)). \quad (14)$$

Также по теореме косинусов определим угол  $A_2$  (15):

$$A_2 = \arccos((l_3^2 + l_2^2 - C^2)/(2 * l_3 * l_2)). \quad (15)$$

Так как углы  $A_2$  и  $Q_2$  в сумме составляют  $180^\circ$ , угол  $Q_2$  будет равняться (16):

$$Q_2 = 180 - \arccos((l_3^2 + l_2^2 - C^2)/(2 * l_3 * l_2)). \quad (16)$$

В таком случае серводвигатели первого и четвертого звена должны принимать значения равные  $90^\circ$ .

Для того чтобы не возникала неоднозначность в решениях, на серводвигатель третьего звена накладывается ограничение: угол  $A_2$  не должен превышать  $180^\circ$ .

Вариант управления механическим манипулятором при координатах  $X, Y \geq 18,2$  см (рисунок 9):

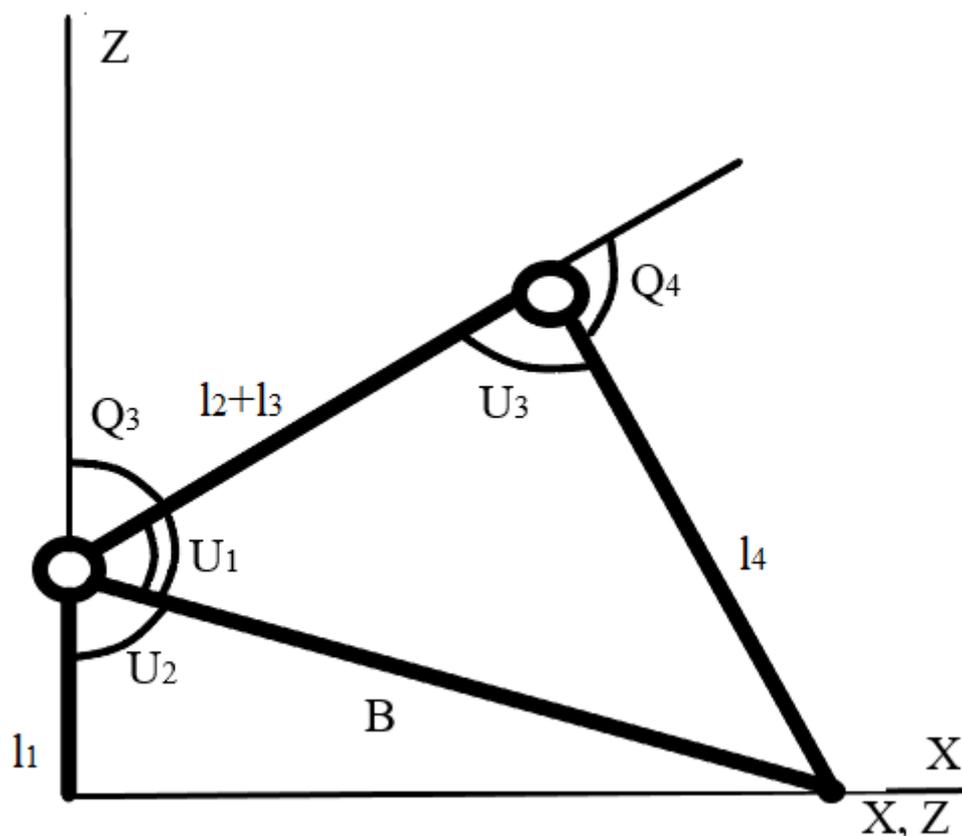


Рисунок 9 - Графическое отображение при координатах  $X, Y \geq 18,2$

По теореме Пифагора определим вектор  $B$ , который указывает на расстояние от серводвигателя второго звена до точки, к которой должен передвинуться манипулятор (17):

$$B^2 = l^2 + X^2. \quad (17)$$

Рассчитываются по формуле (18) и (19) проекции на ось  $X$  и  $Y$  соответственно:

$$x = \cos U_2 * B \quad (18)$$

$$l_1 = \sin U_2 * B \quad (19)$$

Определение угла  $U_2$ , производится с помощью функции  $arctg$  (20):

$$U_2 = arctg \left( \frac{l_1}{x} \right) \quad (20)$$

По теореме косинусов (21) определим угол  $U_1$  (22)

$$l_4^2 = B^2 + l_{23}^2 - 2 * B * l_{23} * \cos U_1 \quad (21)$$

$$U_1 = \arccos((B^2 + l_{23}^2 - l_4^2)/(2 * B * l_{23})) \quad (22)$$

Углы  $U_1, U_2, Q_3$ , в сумме равны  $180^\circ$ , поэтому можно найти угол  $Q_3$  (23):

$$Q_3 = 180 - \arctg\left(\frac{l_1}{x}\right) - \arccos\left(\frac{B^2 + l_{23}^2 - l_4^2}{2 * B * l_{23}}\right) \quad (23)$$

Найдем по теореме косинусов (24) угол  $U_3$  (25):

$$B^2 = l_4^2 + l_{23}^2 - 2 * l_4 * l_{23} * \cos U_1 \quad (24)$$

$$U_3 = \arccos\left(\frac{l_4^2 + l_{23}^2 - B^2}{2 * l_4 * l_{23}}\right) \quad (25)$$

Углы  $U_3$  и  $Q_4$  – смежные, поэтому угол  $Q_4$  равен (26):

$$Q_4 = 180 - \arccos\left(\frac{l_4^2 + l_{23}^2 - B^2}{2 * l_4 * l_{23}}\right) \quad (26)$$

Серводвигателю первого звена угол поворота задается следующим выражением (27):

$$Q_5 = \arctg \frac{x}{y} \quad (27)$$

### 2.3 Устройство исполнительного механизма

Главным элементом в конструкции является серводвигатель, на который поступают управляющие сигналы, вырабатываемые микроконтроллером в соответствии с заданным алгоритмом управления.

Сервопривод – это устройство точной кинематики, включающее в себя мотор, редуктор и потенциометр для определения угла поворота вала и для поддержания его постоянного значения (рисунок 10).

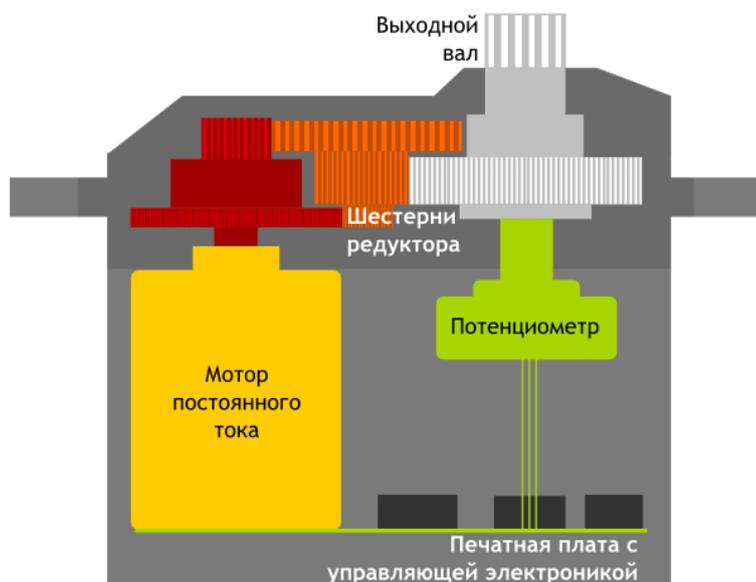


Рисунок 10 - Устройство сервопривода

Схема работы сервопривода основана на использовании обратной связи (контура с замкнутой схемой, в котором сигнал на входе и выходе не согласован). В качестве сервопривода может выступать любой тип механического привода, в составе которого есть датчик и блок управления, который автоматически поддерживает все установленные параметры на датчике.

Принцип работы сервопривода основан на обратной связи с одним или несколькими системными сигналами. Выходной показатель подается на вход, где сравнивается его значение с задающим действием и выполняются необходимые действия – например, выключается двигатель. Самым простым вариантом реализации является переменный резистор, управляемый валом – при изменении параметров резистора меняются параметры питающего двигателя тока.

В современных сервоприводах механизм управления гораздо сложнее, он использует встроенные микросхемы-контроллеры. В зависимости от типа используемого механизма обратной связи выделяют аналоговые и цифровые сервоприводы. Первые используют элементы, похожие на потенциометр, вторые – контроллеры.

Вся схема управления серводвигателя находится внутри корпуса, управляющие сигналы и питание идут по трем проводам: земля, напряжение питания и управляющий сигнал.

Схема подключения сервопривода к Arduino обычно следующая: черный провод присоединяется к выводу GND (Ground), красный провод присоединяется к выводу 5V, оранжевый (желтый) провод – к аналоговому выводу с ШИМ (Широтно-Импульсная Модуляция).

Выделяют два основных вида серводвигателей – с непрерывным вращением и с фиксированным углом (чаще всего, 180 или 270 градусов). Отличие сервомотора ограниченного вращения заключается в механических элементах конструкции, которые могут блокировать движение вала вне заданных параметрами углов. Достигнув угла 180, вал окажет воздействие на

ограничитель, а тот отдаст команду на выключение мотора. У серводвигателей непрерывного вращения таких ограничителей нет.

В данной работе выбраны сервоприводы с фиксированным углом вращения равным  $180^\circ$ , это обусловлено ограничениями, накладываемыми ОЗК.

У большинства сервоприводов связующим звеном между валом и внешними элементами является шестеренка, поэтому очень важно, из какого материала она сделана. Наиболее доступные варианты это металлические или пластмассовые шестерни. В связи с повышенными требованиями к надежности шестеренок были выбраны металлические шестерни.

Решающее значение в управлении сервоприводами выполняет управляющий сигнал, который представляет собой импульсы постоянной частоты и переменной ширины. Длина импульса – это один из важнейших параметров, который определяет положение сервопривода. Эту длину можно задать в программе вручную методом подбора через угол или использовать команды библиотеки.

Когда сигнал попадает в управляющую схему, генератор подает свой импульс, длительность которого определяется с помощью потенциометра. В другой части схемы происходит сравнение длительности поданного сигнала и сигнала с генератора. Если эти сигналы разные по длительности, включается электромотор, направление вращения которого определяется тем, какой из импульсов короче. При равенстве длины импульсов мотор останавливается.

Схема подключения серводвигателя к Arduino позволяет не только посылать управляющий сигнал, но и считывать показания с сервопривода. Команда `myservo.read(0)` считывает текущий угол поворота вала сервопривода, и его можно увидеть на мониторе порта.

Стандартная частота, с которой подаются импульсы, равна 50 Гц, то есть 1 импульс в 20 миллисекунд. При таких значениях длительность

составляет 1520 микросекунд, и сервопривод занимает среднее положение (рисунок 11). Изменение длины импульса приводит к повороту сервопривода – при увеличении длительности поворот осуществляется по часовой стрелке, при уменьшении – против часовой стрелки.



Рисунок 11 – Диаграмма управляющих импульсов

Имеются границы длительности – в Arduino в библиотеке Servo для 0° установлено значение импульса (рисунок 12) в 544 мкс (нижняя граница), для 180° – 2400 мкс (верхняя граница).

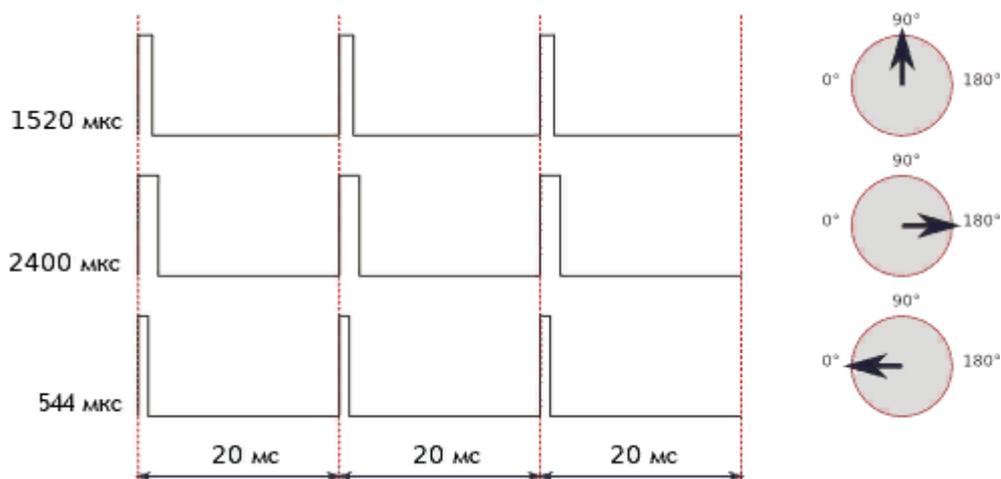


Рисунок 12 – Границы ширины импульса

Важно учитывать, что на конкретном устройстве настройки могут несколько отличаться от общепринятых значений. У некоторых устройств среднее положение и ширина импульса может быть равной 760 мкс. Все

принятые значения также могут незначительно отличаться из-за погрешности, которая может быть допущена при производстве устройства.

Выбор сервопривода связан с тем, что он обладает стабильной работой, высокой устойчивостью к помехам, малыми габаритами и широким диапазоном контроля скорости. Важными особенностями сервоприводов являются способность увеличивать мощность и обеспечение обратной информационной связи.

### 3 Алгоритмы управления манипулятором

#### 3.1 Алгоритм инициализации

Задача алгоритма инициализации заключается в установке всех звеньев манипулятора в исходное положение и обозначение плоскости, в которой будут производиться дальнейшие операции. Такое исходное положение определяется начальными углами ( $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ , см. рисунок 2.1), которые устанавливаются серводвигателями:

- угол первого серводвигателя равняется  $130^\circ$ ;
- угол второго серводвигателя приравнивается к  $80^\circ$ ;
- угол третьего и четвертого серводвигателя принимаются равными  $0^\circ$ .

При таком значении углов, механический манипулятор принимает вертикальное положение в координатах  $X = 0$  и  $Y = 0$ .

Для того чтобы обозначить плоскость в которой будут производиться операции, манипулятор производит движение к трем точкам (рисунок 13). Первая находится на оси  $X$  с координатами  $X = 20, Y = 0, Z = 0$ , вторая - на оси  $Y$  с координатами  $X = 0, Y = 20, Z = 0$ , третья точка имеет координаты  $X = 15, Y = 15, Z = 0$ . После того как будет обозначена рабочая плоскость манипулятор принимает исходное положение и готов к работе.



Рисунок 13 – Блок «исходное положение»

### **3.2 Блок схема алгоритма управления механическим манипулятором и программа для Arduino.**

Первым этапом в работе программы является принятие исходного положения и определение рабочей плоскости.

Вторым этапом является перемещение манипулятора по координатам, которые будут изменяться по заданному циклу. Движение манипулятора к заданной точке будет осуществляться, пока не нажата кнопка, которая находится на рабочем конце манипулятора. Как только кнопка нажмется, на микроконтроллер поступит сигнал для перехода к следующей координате. В качестве кнопки используется тактовая кнопка, которая замыкает цепь пока

есть давление на толкателе. После вывода информации о координатах конечной точки на последовательный порт, эти же данные автоматически копируются и передаются в программу MS Excel. По полученным данным программа, используя графические средства, строит поверхностную гистограмму.

Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 14.

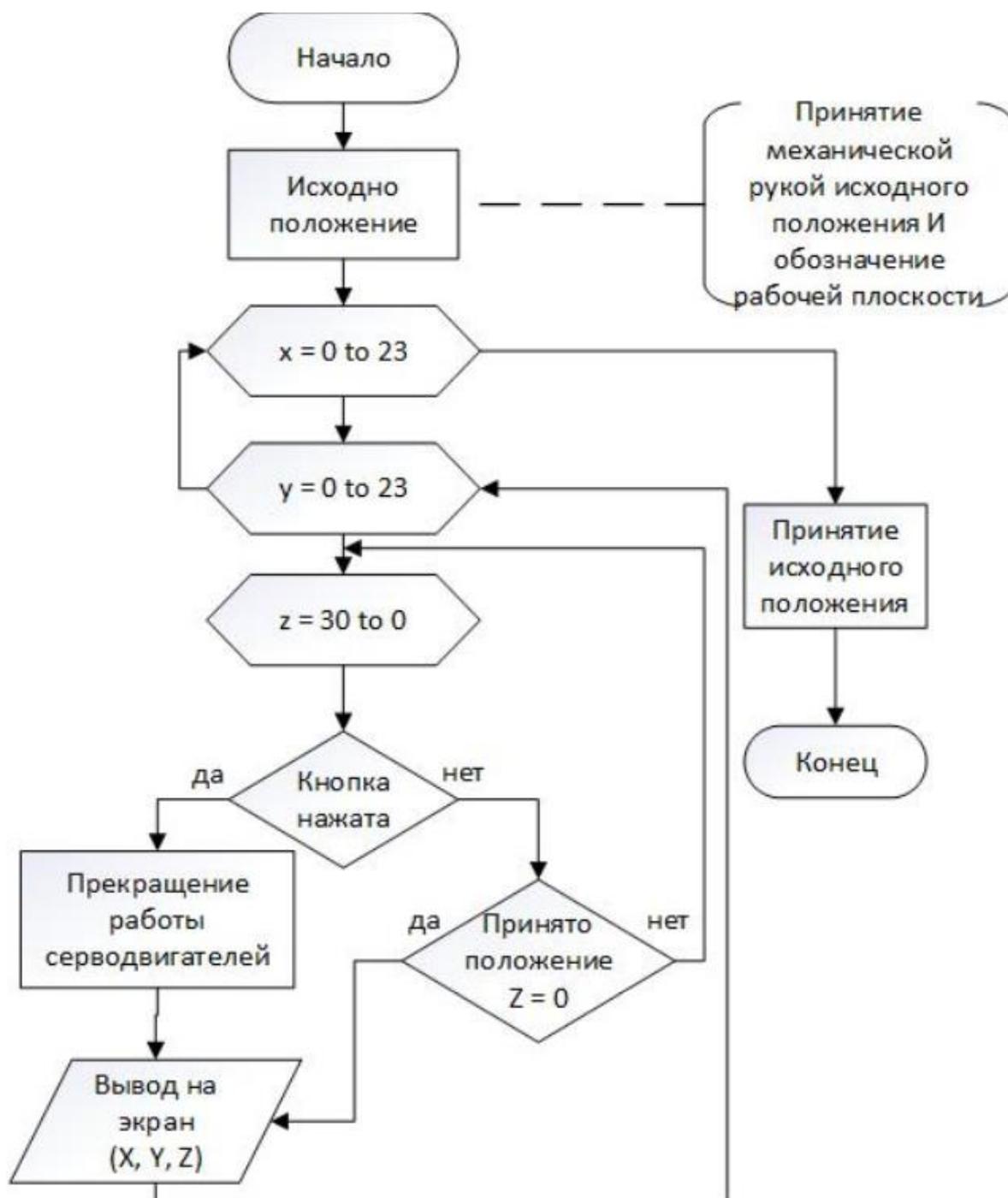


Рисунок 14 – Алгоритм управления

### 3.3 Анализ точности исполнения обратной задачи кинематики

Управление механическим манипулятором, подобному тому, что описан в данной работе, осуществляется посредством решения прямой и обратной задачи кинематики. Для анализа точности исполнения работы алгоритма, основанного на данном решении, необходимо вычислить погрешность перемещения манипулятора. Определение погрешности связано с проведением испытаний, когда манипулятор передвигается в заданную точку. Разница между заданным и полученным значениями координат по каждой оси определяет величину погрешности данного метода.

Для этого на этапе инициализации манипулятору подается команда передвинуться в точку с координатами  $X = 16$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0$ . Проведем измерения действительных значений координат, в которые передвинулся манипулятор (рисунок 15).

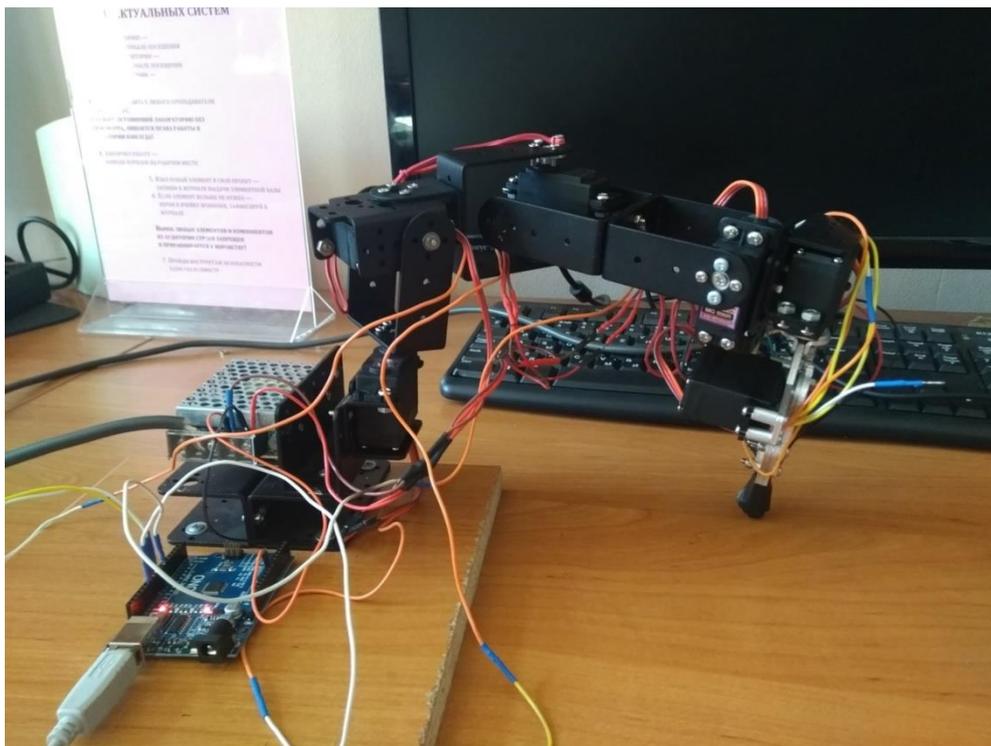


Рисунок 15 – Манипулятор касается оси X

Проведя измерения, получили следующие значения координат  $X = 16,9$ ,  $Y = 0,9$ ,  $Z = 0$ . Приведенная погрешность исполнения ОЗК в данной точке по оси X составила 3,9%, по оси Y – 3,9 %. Так как манипулятор коснулся поверхности, то погрешность по координате Z отсутствует.

Для определения среднего значения величины погрешности производится серия подобных экспериментов. Результат проведенных испытаний приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты испытаний

№ эксперимента	$X_{\text{ном}}, Y_{\text{ном}}$ см	$X_{\text{зад}}$ см	$X_{\text{экс}}$ см	$Y_{\text{зад}}$ см	$Y_{\text{экс}}$ см	$\varepsilon_X$ , %	$\varepsilon_Y$ , %
1	23,3	16	16,9	0	0,9	3,9	3,9
2		0	0,5	16	17,1	2,1	4,7
3		12	11,3	12	12,8	3,0	3,4
4		16	16,8	0	1,0	3,4	4,3
5		0	0,6	16	16,9	2,6	3,9
6		12	11,5	12	12,9	2,1	3,9
Среднее значение погрешности						2,9	4,0

Чтобы определить погрешность по оси  $Z$  положим на плоскость некоторый объект и считаем показания (рисунок 16), которые будет выдавать последовательный порт Arduino. Тем самым сможем найти погрешность по оси  $Z$ .

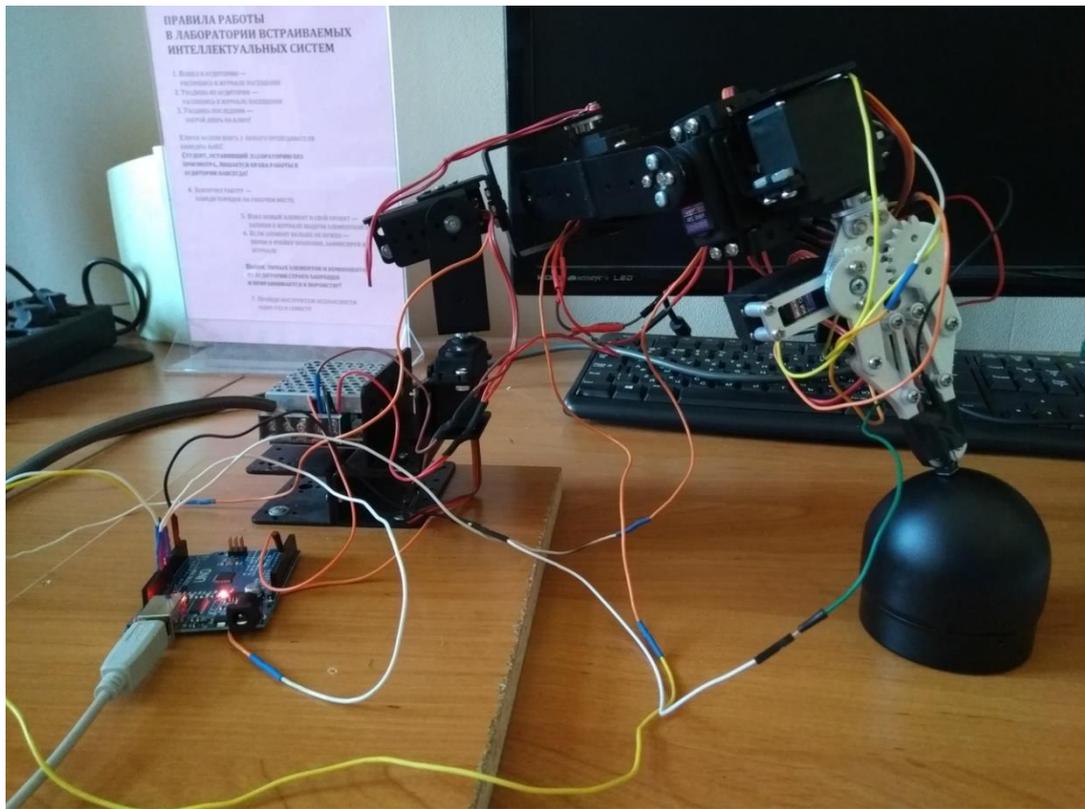


Рисунок 16 – Работа манипулятора

После проведения серии экспериментов с различными объектами, полученные результаты были сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты эксперимента по оси Z

№ эксперимента	$Z_{\text{ном}}$ , см	$Z_{\text{зад}}$ , см	$Z_{\text{эксп}}$ , см	$\varepsilon_Z$ , %
1	30	7,5	8	1,7
2		5	6	3,3
3		2,5	2	1,7
Среднее значение погрешности				2,2

#### **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В современном мире ценность образования специалиста во многом зависит от того, насколько его знания необходимы предприятию. Особенно ценятся на специалисты, которые могут не только разработать технические и технологические решения, но и экономически обосновать их в соответствии с запросами рынка. Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Данный раздел выпускной квалификационной работы включает в себя оценку коммерческого потенциала создания проекта – автоматической системы перемещения механического манипулятора, предназначенной для формирования 3D-рельефа. В данной части происходит определение возможных альтернатив разработки проекта, которые будут отвечать требованиям финансовой и ресурсной эффективности.

Конечным продуктом анализа является опытный образец устройства. Поэтому в разделе произведен учет материальных затрат на изготовление полученной автоматической системы, снабженной механической рукой, микроконтроллером Arduino UNO и блоком питания.

В разделе представлен анализ готового к реализации проекта, а также оценка альтернативных решений создания проекта. Также произведен расчет ресурсной и финансовой эффективности исследования.

## 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

### 4.1.1 Потенциальные конкуренты для результатов исследования

Для анализа существующей конкуренции необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Объектом разработки является автоматическая система перемещения механического манипулятора, предназначенная для формирования 3D-рельефа. Группу потребителей могут составить предприятия, где требуется составления 3D поверхности; либо центры молодежного инновационного творчества, где устройство может применяться в качестве робототехнического конструктора. Сегментирование рынка произведено по следующим критериям: размер компании-заказчика и вид компании. Карта сегментирования приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Карта сегментирования

Критерий		Вид компании	
		Автоматизированное производство	Детские кружки по робототехнике
Размер компании	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		

Карта сегментирования услуг по разработке колесных роботов:



На карте сегментирования незанятыми являются ниши разработки роботов для мелких компаний в автоматизированных производствах и

детских кружках, а также для средних кружков по робототехнике. В соответствии с картой сегментирования, в качестве сегментов, на которые следует направить максимальные усилия и ресурсы, выбраны следующие сегменты: разработка конструкторов для средних и мелких детских кружков по робототехнике; разработка автоматических систем перемещения механических манипуляторов для некрупных автоматизированных производств.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Показатели оценки качества разработки</b>							
Энергоэффективность	0,1	3,0	4,0	3,5	0,30	0,40	0,35
Помехоустойчивость	0,05	4,0	4,0	4,0	0,20	0,20	0,20
Надежность	0,05	4,0	4,5	4,0	0,20	0,23	0,20
Уровень материалоемкой разработки	0,05	1,0	2,0	1,0	0,05	0,10	0,05
Уровень шума	0,05	2,5	4,0	2,5	0,13	0,20	0,13
Безопасность	0,1	4,0	4,5	3,5	0,40	0,45	0,35
Функциональная мощность	0,05	4,0	4,5	4,0	0,20	0,23	0,20
Простота эксплуатации	0,05	4,0	4,5	3,5	0,20	0,23	0,18
Возможность подключения к ЭВМ	0,05	4,5	4,5	4,0	0,23	0,23	0,20

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>							
Конкурентоспособность	0,05	3,0	3,5	3,0	0,15	0,18	0,15
Уровень проникновения на рынок	0,05	2,5	3,0	2,0	0,13	0,15	0,1
Перспективность рынка	0,05	4,0	4,0	3,5	0,20	0,20	0,18
Цена	0,1	2,0	1,0	2,0	0,20	0,10	0,20
Послепродажное обслуживание	0,05	3,5	2,0	2,5	0,18	0,10	0,13
Финансовая эффективность	0,05	3,0	3,0	2,5	0,15	0,15	0,13
Срок выхода на рынок	0,05	1,5	2,5	2,5	0,08	0,13	0,13
Наличие сертификации разработки	0,05	0,5	2,0	2,0	0,03	0,10	0,10
Итого	1	Суммарная оценка			3,03	3,38	2,98

Слабыми сторонами проекта являются низкий уровень проникновения на рынок и отложенный срок выхода на него. В то же время, продукт удовлетворяет таким показателям, как энергоэффективность, материалоемкость и простота обслуживания. Таким образом, продукт является конкурентоспособным в условиях существующего рынка.

#### **4.1.3 Технология QuaD**

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Проведенная процедура QuaD представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
Энергоэффективность	0,1	90	100	0,90	0,09
Помехоустойчивость	0,05	70	100	0,70	0,04
Надежность	0,05	50	100	0,50	0,03
Уровень материалоемкой разработки	0,05	80	100	0,80	0,04
Уровень шума	0,05	70	100	0,70	0,04
Безопасность	0,1	65	100	0,65	0,07
Функциональная мощность	0,05	70	100	0,70	0,04
Простота эксплуатации	0,05	40	100	0,40	0,02
Возможность подключения к ЭВМ	0,05	90	100	0,90	0,05
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
Конкурентоспособность	0,05	50	100	0,50	0,03
Уровень проникновения на рынок	0,05	65	100	0,65	0,03
Перспективность рынка	0,05	80	100	0,80	0,04
Цена	0,1	90	100	0,90	0,09
Послепродажное обслуживание	0,05	70	100	0,70	0,04
Финансовая эффективность	0,05	70	100	0,70	0,04
Срок выхода на рынок	0,05	30	100	0,30	0,02
Наличие сертификации разработки	0,05	20	100	0,20	0,01
Итого	1				

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i * B_i,$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таким образом, значение  $P_{cp}$  равное 72 позволяет сказать, что перспективность разработки выше среднего.

#### 4.1.4 SWOT-анализ

Для исследования внутренней и внешней среды проекта был проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта – SWOT-анализ. Итоговая матрица SWOT-анализа, полученная в результате реализации всех этапов исследования, приведена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.  С2. Простота эксплуатации и обслуживания.  С3. Наличие прототипа разработки.  С4. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Недостаточная проработка человеко-машинного интерфейса.  Сл2. Незавершенность проекта.  Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство «под ключ».  Сл4. Ограниченный функционал устройства.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Повышение стоимости разработок конкурентов.  В2. Повышение доступности необходимых элементов.  В3. Повышенный интерес пользователей к робототехнике.  В4. Тенденция к использованию микроконтроллерных устройств.</p>	<p>В1С1С4 – проведение рекламной компании для детских робототехнических кружков.   В2С1С2 – проведение мер по улучшению и расширению проекта.</p>	<p>Сл1Сл4В1 – привлечение внешнего финансирования (в т.ч. оформление заявок на молодежные гранты).   Сл2Сл3Сл4Сл5В3 – проведение мероприятий по повышению квалификации разработчика.</p>

<p><b>Угрозы:</b>  У1. Большой срок поставки оборудования, необходимого для проведения научного исследования.  У2. Несвоевременное финансирование научного исследования.  У3. Дифференциация в области политики поставщиков.  У4. Увеличение срока выхода на рынок при неудовлетворительных результатах испытаний.  У5. Создание более совершенных микроконтроллеров.</p>	<p>У1С3С4 – использование инновационной структуры ТПУ, можно применять имеющиеся элементы электроники для расширения проекта.   У5С1С3 – модульная структура установки микроконтроллера позволит заменить устаревший микроконтроллер на новый.</p>	<p>У1Сл3 – учет параллельных процессов в проекте сократит ожидание поставки материалов.   У2Сл3Сл4 – привлечение инвесторов в проект поможет минимизировать влияние несвоевременности финансирования со стороны образовательного учреждения.</p>
---	--	--

Вторым этапом является выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого составляются интерактивные матрицы, приведенные в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Интерактивные матрицы

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	0	-	+
	В2	+	+	-	+
	В3	+	0	0	-
	В4	0	-	-	-
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	-	-	-	-
	В2	-	-	-	-
	В3	0	+	+	-
	В4	+	-	-	0
Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	-	-	+	-
	У2	+	-	-	0
	У3	+	+	-	+
	У4	-	+	+	-
	У5	+	+	+	-

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	+	0
	У2	-	-	+	+
	У3	-	-	+	0
	У4	+	+	-	-
	У5	0	-	+	-

Таким образом, сильные стороны проекта удовлетворяют его возможностям. Невысокая стоимость проекта и его простота позволяют использовать практически все возможности для развития исследований. Однако, слабые стороны проекта в сочетании с внешними угрозами ставят под вопрос будущее развитие проекта. Для их минимизации необходимо повысить уровень квалификации разработчиков.

## 4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Вышеизложенный метод анализа предложенного технического решения ориентирован на совершенствование результатов научного исследования, находящегося на стадии создания прототипа. Однако, для анализа возможных альтернатив построения объекта можно использовать и другой метод – морфологический.

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей морфологии объекта исследования. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Для определения таких альтернатив используется морфологическая матрица (см. таблицу 4.6). Для ее построения были выделены следующие морфологические характеристики: аппаратная платформа, датчик расстояния с учетом габаритов платформы, двигателя, питание робота.

Таблица 4.6 - Морфологическая матрица альтернативных решений

Варианты исполнения	1	2	3
А. Аппаратная платформа	Arduino UNO	Raspberry Pi	Без микроконтроллера
Б. Двигатели	Коллекторные двигатели постоянного тока	Шаговые двигатели	Без двигателей
В. Питание	Литий-полимерный аккумулятор	Блок питания HTS-50M-5 (5V, 10A, 50W)	Без питания

Возможными комбинациями являются следующие варианты.

A1B2B2 – Arduino UNO, шаговые двигатели, блок питания HTS-50M-5 (5V, 10A, 50W). Существующий вариант, наиболее эффективный с точки зрения разработчика.

A1B2B1 – Arduino UNO, шаговые двигатели, литий-полимерный аккумулятор. литий-полимерный аккумулятор имеет недостаток, так как, выдает ток, которого не хватает для полноценной работы всех серводвигателей, вследствие чего от него пришлось отказаться.

A2B2B2 – Raspberry Pi, шаговые двигатели, блок питания HTS-50M-5 (5V, 10A, 50W). Такой вариант аппаратной платформы из-за сложности языка программирования, что приводит к дополнительным затратам времени. Поэтому, с учетом цели создания манипулятора, этот вариант анализу не подлежит.

## 4.3 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.3.1 Структура работы в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для реализации проекта необходимы исполнители в лице руководителя и инженера. Перечень этапов, работ и исполнителей приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Постановка задачи	1	Подбор и изучение материалов по теме, определение целей, преследуемых разработчиками	Руководитель
Разработка технического задания - ТЗ	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер
Теоретические исследования	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
	4	Выбор способа решения задачи	Инженер
	5	Разработка принципиальной схемы устройства	Инженер
	6	Подбор компонентов	Инженер

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
		устройства	
Экспериментальные исследования	7	Сборка устройства	Инженер
	8	Оптимизация аппаратной части	Инженер
	9	Создание программной части	Инженер
	10	Тестирование и отладка работы устройства	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка полученных результатов	Руководитель
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	12	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта	Инженер
	13	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

#### 4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости  $t_{ож\ i}$  используется формула (28):

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (28)$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая и параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (29)$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобной и наглядной формой представления графика проведения работ является ленточный график в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (30)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (31)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Воспользуемся формулой 32 для определения коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22.$$

Полученные данные сведены в таблицу 4.8.

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{p_i}$		Длительность работ в календарных днях, $T_{k_i}$	
	$t_{\min}$ , чел-дни		$t_{\max}$ , чел-дни		$t_{\text{ож}_i}$ , чел-дни		Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент				
Подбор и изучение материалов по теме, определение целей, преследуемых разработчиками	1		4		2,2		2,2		3	
Составление и утверждение технического задания	3	3	5	5	3,8	3,8	1,9	1,9	3	3
Календарное планирование работ по теме	1	1	3	3	1,8	1,8	0,9	0,9	2	2

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях, $T_{k_i}$	
	$t_{\min}$ , чел-дни		$t_{\max}$ , чел-дни		$t_{ож_i}$ , чел-дни		$T_{p_i}$			
	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
Выбор способа решения задачи		2		4		2,8		2,8		4
Разработка принципиальной схемы устройства		2		6		3,6		3,6		5
Подбор компонентов устройства		1		5		2,6		2,6		4
Сборка устройства		4		8		5,6		5,6		7
Оптимизация аппаратной части		1		6		3		3		4
Создание программной части		5		10		7		7		9
Тестирование и отладка работы устройства	2	2	5	5	3,2	3,2	1,6	1,6	2	2
Оценка полученных результатов	3		6		4,2		4,2		6	
Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта		4		8		5,6		5,6		7

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож_i}$ , чел-дни					
	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)		1		3		1,8		1,8		3

На основе полученной таблицы 4.8 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ с разбивкой по месяцам и декадам. График работ приведен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Календарный план-график выполнения проекта

№	Вид работ	Исполнители	$T_{k_i}$ , кал дн.	Продолжительность выполнения работ														
				март			апрель			май			июнь					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Подбор и изучение материалов по теме, определение целей, преследуемых разработчиками	Руководитель	3	■														
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, студент	3	■	■													
3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент	2	■	■													
4	Выбор способа решения задачи	Студент	4		■													
5	Разработка принципиальной схемы устройства	Студент	5			■												
6	Подбор компонентов устройства	Студент	4				■											
7	Сборка устройства	Студент	7					■										
8	Оптимизация аппаратной части	Студент	4						■									
9	Создание программной части	Студент	9							■								
10	Тестирование и отладка работы устройства	Руководитель, студент	2								■							
11	Оценка полученных результатов	Руководитель	6									■						
12	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта	Студент	7										■					
13	Составление пояснительной записки	Студент	3											■				

#### 4.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

##### 4.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (33)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

В таблице 4.10 сведены данные о материальных затратах на научное исследование.

Таблица 4.10 - Материальные затраты

Вид исполнения	Наименование материалов	Цена за ед., руб	Количество	Сумма, руб
А1Б2В2 (исп. 1)	Платформа Arduino UNO	900	1	900
	Комплект манипулятора с шестью серводвигателями MG969R	4400	1	4400
	Набор гибких проводников	200	1	200
	Платформа из ДСП	150	1	150
	Блок питания HTS-50M-5	850	1	850
	Итого:			

Вид исполнения	Наименование материалов	Цена за ед., руб	Количество	Сумма, руб
А2Б2В2 (исп. 2)	Платформа Raspberry Pi	2000	1	2000
	Комплект манипулятора с шестью серводвигателями MG969R	4400	1	4400
	Набор гибких проводников	200	1	200
	Платформа из ДСП	150	1	150
	Блок питания HTS-50M-5	850	1	850
	Итого:			

#### 4.3.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной техники, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Расчет по приобретению спецоборудования включены в таблицу 4.11.

Таблица 4.11 - Расчет бюджета на приобретение спецоборудования

Наименование	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Паяльная станция	12000	1	12000
Персональный компьютер	15000	1	15000
Мультиметр	1500	1	1500
Отвертка крестовая	100	1	100
Итого:			28600

Приказом Минфина РФ от 1 декабря 2010 г. №157 н утверждена Инструкция по применению единого плана счетов бухгалтерского учета, согласно которой основные средства в пределах 40 000 р. не относятся к основным средствам, при этом амортизацию можно не начислять.

#### 4.3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (32)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20% от основной).

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (33)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная зарплата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0}, \quad (34)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_0$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени приведен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (праздники/выходные)	66	66
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	50	60
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	239

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_0) \cdot k_p, \quad (35)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_0$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Месячный должностной оклад работников Томского политехнического университета указан в «Таблице окладов ППС и НС» ТПУ.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{mc}$ , руб	$k_{np}$	$k_0$	$k_p$	$Z_m$	$Z_{дн}$	$F_0$	$T_p$	$Z_{доп}$	$Z_{осн}$
Руководитель	22052	0,3	0,4	1,3	48735	2573	197	10,8	3612	27788,4
Мл. науч. сотрудник	14099	0,3	0,4	1,3	31159	1733	187	36,4	8200	63081,2
Итого:									11812	90869,6

#### 4.3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (36)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, на стадии проектирования принимается равным 0,13. Расчеты дополнительной заработной платы включены в таблицу 4.13.

#### 4.3.4.5 Отчисление во внебюджетные фонды

В данной статье отражаются обязательные отчисления по установленным законодательствам Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (37)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Расчет отчислений приведен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Расчет размеров отчислений во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная з/п, руб.	Дополнительная з/п, руб.	Коэффициент отчислений	Итого для каждого	Итого
Руководитель	27788,4	3612	0,271	8509,5	27827
Студент	63081,2	8200		19317,2	

#### 4.3.4.6 Прочие расходы

Прочие расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется в таблице 4.15.

**Таблица 4.15 - Прочие расходы**

Наименование	Количество	Стоимость
Бумага, формат А4, упаковка	1 шт.	500 руб.
Канцтовары	5 шт.	150 руб.
Электроэнергия	1160 кВт	1740 руб.
Интернет	4 мес.	600 руб.
Итого		2990 руб.

#### **4.3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции

Определение бюджета затрат приведено в таблице 4.3.

Таблица 4.4 - Расчет бюджета НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Исп. 1	Исп. 2
Материальные затраты НТИ	6500	7600
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	28500	28500
Затраты по основной заработной плате исполнителей	90870	90870

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Исп. 1	Исп. 2
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	11812	11812
Отчисления во внебюджетные фонды	20536	20536
Прочие расходы	2990	2990
Бюджет затрат НТИ	161208	162308

#### 4.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального финансового показателя, определяемого по следующей формуле:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (38)$$

где  $I_{финр}^{испi}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Полученные данные приведены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 - Расчет интегрального финансового показателя

Вариант исполнения	$\Phi_{max}$	$\Phi_{pi}$	$I_{финр}^{испi}$
Исп. 1	162308	161208	0,99
Исп. 2		162308	1

Интегральный показатель ресурсоэффективности определяется следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (39)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки.

Сравнительный анализ приведен в таблице 4.18.

**Таблица 4.5 - Сравнительная оценка вариантов исполнения**

Критерии	Весовой коэффициент	Исп. 1	Исп. 2
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5
Удобство в эксплуатации	0,2	5	4
Энергосбережение	0,25	4	3
Надежность	0,25	4	4
Помехоустойчивость	0,2	4	4
Итого	1		

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,3$$

$$I_{p2} = 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 3,85$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{финр}}. \quad (40)$$

Результаты расчета показателей сведены в таблицу 1.19.

**Таблица 4.6 - Сравнительная эффективность разработок**

Показатель	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный	0,99	1,00

финансовый показатель		
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,30	3,85
Интегральный показатель эффективности	4,34	3,85

Исходя из полученных данных сравнения финансовой и ресурсной эффективности различных вариантов исполнения, несколько более эффективным является первый вариант исполнения.

## **5 Социальная ответственность**

### **5.1 Аннотация**

Представление понятия «Социальная ответственность» сформулировано в международном стандарте (МС) IS CSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации».

В соответствии с МС - Социальная ответственность - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность).

### **5.2 Введение**

Объектом исследования является автоматическая система перемещения механического манипулятора, предназначенной для формирования 3D-рельефа. Управление осуществляется посредством аппаратно-вычислительной платформы Arduino UNO. Движение манипулятора обеспечивается четырьмя серводвигателями, питание которых осуществляется от блока питания.

В разделе будут рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на производственную деятельность технологического персонала, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

Работа выполнялась в 117а аудитории 10 корпуса НИ ТПУ в отделении автоматизации и робототехники.

### 5.3 Состав системы

Основная часть работы заключалась в использовании персонального компьютера и конструкции механического манипулятора.

В основе системы управления используются следующее оборудование:

- Микроконтроллер Arduino Uno
- Серводвигатели MG969R
- Блок питания HTS-50M-5
- Механический манипулятор

### 5.4 Производственная безопасность

#### 5.4.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

При разработке устройства возникают опасные и вредные факторы, влияющие на работу технологического персонала. Перечень факторов, свойственных объекту исследования, приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Перечень опасных и вредных факторов технологии производства

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы по ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
- Сборка аппаратной части робота;  - Наладка программной части за персональным компьютером;	- шум на рабочем месте; - электромагнитные излучения.	- движущиеся механизмы и передвигающиеся изделия, материалы;  - электрический ток.	- ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; - ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление;

Источник	Факторы по ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные
- Тестирование работы устройства			- ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

Эти факторы могут влиять на состояние здоровья, привести к травмоопасной или аварийной ситуации, поэтому следует установить эффективный контроль за соблюдением норм требований, предъявленных к параметрам.

В составе проектируемого устройства находится блок питания с и серводвигатели, имеющие средний уровень шума. Электрический ток относится к категории опасных факторов.

#### **5.4.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов**

##### **Электрический ток**

В соответствии с п.1.1.13 главы 1.1 раздела 1 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) по опасности электропоражения помещение, в котором проводятся работы, относится к помещениям без повышенной опасности. Это обусловлено отсутствием высокой влажности, высокой температуры, токопроводящей пыли и возможности одновременного соприкосновения с заземленными предметами и металлическими корпусами оборудования. Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Мероприятия по устранению опасности поражения электрическим током сводятся к правильному размещению оборудования и применению

технических средств защиты. В соответствии с главой 1.7 ПУЭ к основным техническим средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

- основная изоляция токоведущих частей;
- защитное заземление или зануление;
- автоматическое отключение питания;
- защитное электрическое разделение цепей.

В соответствии с ТОО Р-45-084-01, к работе на персональном компьютере допускаются лица, прошедшие обучение безопасным методам труда, вводный инструктаж, первичный инструктаж на рабочем месте. Во всех случаях обрыва проводов питания, неисправности заземления и других повреждений, появления гари, немедленно отключить питание и сообщить об аварийной ситуации руководителю. Не приступать к работе до устранения неисправностей. При получении травм или внезапном заболевании немедленно известить своего руководителя, организовать первую доврачебную помощь или вызвать скорую медицинскую помощь.

### **Механические опасности**

Механические опасности несут в себе такие части объекта исследования, как:

- шероховатость платформы из ДСП;
- вращающиеся механизмы – кронштейны.

Основные последствия механических опасностей для данного объекта исследования:

- порезы;
- попадание под удар;

К средствам защиты работающих от механического травмирования (физического опасного фактора) в соответствии с ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ относятся:

- оградительные устройства;
- блокировочные устройства;

При разработке системы исследователь имеет непосредственный контакт с работающим механизмом. В экстренном случае необходимо обеспечить остановку аппарата путем его обесточивания.

## **5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Наиболее вероятным чрезвычайными ситуациями при разработке устройства являются пожар на рабочем месте. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической сети может произойти возгорание, которое грозит уничтожением ПЭВМ, документов и другого имеющегося оборудования. При том система вентиляции может привести к ускорению распространения огня. В качестве возможных причин пожара можно указать:

- наличие горючей пыли;
- короткие замыкания;
- перегрузка сетей, которая ведет за собой сильный нагрев токоведущих частей и загорание изоляции.

### **5.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при исследовании объекта**

Пожар в кабинете исследователя может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- большое переходное сопротивление;

- искрение;
- статическое электричество.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

## **5.6 Защита данных**

В данной работе происходит передача данных между персональным компьютером и микроконтроллером через протокол UART, это является потенциально опасным местом, где может возникнуть ошибка в передаче данных.

UART – Universal asynchronous receiver/transmitter (универсальный асинхронный приемо-передатчик), старейший и самый распространенный на сегодняшний день физический протокол передачи данных. Каждый бит передается за равные промежутки времени. Время передачи одного бита определяется скоростью передачи. Скорость передачи указывается в бодах (бит в секунду). Кроме битов данных интерфейс UART вставляет в поток биты синхронизации: стартовый и стоповый. Таким образом, для передачи байта информации требуется 10 битов, а не 8. Погрешность временных интервалов передачи битов должна быть не более 5%.

Так как уровень сигнала достаточно невысок, то в линии могут возникать помехи и шумы, которые искажают цифровой код передающегося сигнала. Чтобы данные были правильно разобраны на стороне приемника, необходимо их защитить от помех.

Для защиты данных от ошибок возможно применение нескольких способов. Например, программная проверка данных на достоверность, использование разных скоростей передачи данных (чем ниже скорость передачи данных, тем меньше вероятность получить ошибочный бит данных, но тем меньше общая скорость передачи, т.е. необходимо соблюсти баланс).

Программная проверка данных на ошибки будет реализована в ходе улучшения системы, как только будет полностью налажена работа системы. Как вариант проверки данных можно использовать коды Хэмминга с обнаружением и исправлением ошибки, или использовать контрольную сумму, и если рассчитанная сумма не соответствует переданной, то данные можно считать ошибочными, тогда следует повторить передачу.

### **5.7 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Согласно «Трудовому кодексу Российской Федерации» от 30.12.2001 №197-ФЗ, рабочее время – это время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности, а также иные периоды времени, которые в соответствии с настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации относятся к рабочему времени. (в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ).

Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. Порядок исчисления нормы рабочего времени на определенные календарные периоды (месяц, квартал, год) в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю определяется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда (часть третья введена Федеральным законом от 22.07.2008 N 157-ФЗ).

## Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы на аппаратной базе микроконтроллера Arduino UNO спроектирована система автоматического управления механическим манипулятором, формирующая 3D-рельеф.

Для обеспечения нужного количества степеней свободы в качестве исполнительного устройства был выбран серводвигатель, учтены достоинства и недостатки данного технического решения. Были применены меры по уменьшению скорости движения серводвигателей.

Были рассмотрены основные методы осуществления управления позиционированием механического манипулятора. Для реализации алгоритма управления выбрана обратная задачи кинематики. В ходе работы рассмотрены основные методы решения такой задачи. По результатам исследования выбран аналитический метод решения ОЗК, принцип работы которого реализован в управлении механической рукой. Управление манипулятором осуществляется в программном коде, разработанном на языке Arduino. Также реализована передача данных в программу MS Excel, которая позволяет построить поверхностную диаграмму точек, полученных при перемещении манипулятора.

На данный момент спроектирован механический манипулятор. Для анализа точности исполнения программного управления проведена серия экспериментов. Данный манипулятор выполняет перемещение в заданную точку с приведенными погрешностями, среднее значение которых составляет  $\varepsilon_x = 2,9$ ,  $\varepsilon_y = 4,0$ ,  $\varepsilon_z = 2,2$  по осям X, Y, Z соответственно.

В будущем планируется исправить нынешние недостатки устройства и создать полноценную систему. Планируется устранить люфт конструкции, влияющий на точность исполнения перемещения. Необходимо увеличить количество степеней свободы манипулятора за счет включения в конструкцию двух дополнительных серводвигателей, так как манипулятор,

имеющий 6 степеней свободы, может принять любую ориентацию в точке рабочей области.

## Conclusion

During the process of writing the final qualifying work there has been developed an automatic robotic arm control system on a base of Arduino UNO, which can shape 3D-relief.

The servo motor was chosen to ensure the required number of degree of freedom, all positive and negative characteristics were considered. Special measures were applied to reduce the speed of the servo motors.

The main methods of positioning control for the mechanical manipulator were considered. To realize the control algorithm, the inverse problem of kinematics was chosen. The main methods of solving this problem are considered. There basic ways of motion specification and solution methods for inverse kinematic problem were described. Based on the research findings, analytic solution method was selected, its operation principles are realized in a system control. Manipulator control realizes in a programme code, which was developed in Arduino language. What is more, data transfer to the MS Excel is implemented.

At this stage the mechanical manipulator was designed. To analyze the accuracy of the control, a series of experiments was conducted. This manipulator moves to the destination point to a precision of  $\varepsilon_X = 2,9$ ,  $\varepsilon_Y = 4,0$ ,  $\varepsilon_Z = 2,2$  at the X-, Y-, Z-axes respectively.

In future I will correct actual disadvantages of this device and create complete system. The looseness which effects on precision should be repaired. Number of degrees of freedom should be increased to the 6 by addition of two extra servo motors, because manipulator having 6 degrees of freedom can take any position in operating space.

## Список использованных источников

1. Механика промышленных роботов. Под ред. Фролова К.В., Воробьева Е.И. Кн. 1: Кинематика и динамика. – М.: Высш. шк., 1988 – 304 с.
2. Полянин А. Д., Полянин В. Д., Попов В. А., Путятин Б. В., Сафрай В. М., Черноуцан А. И. Краткий справочник для инженеров и студентов: Высшая математика. Физика. Теоретическая механика. Сопротивление материалов. – М.: Международная программа образования, 1996. — 432 с.
3. Г.М. Проскуряков, П.К. Плотников. Геометрия и кинематика пространственного состояния подвижных объектов. – Саратов: СПИ, 1992. - 120 с.
4. Arduino UNO [Электронный ресурс] URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>
5. Сервоприводы в проектах ардуино. Схемы, примеры, скетчи [Электронный ресурс] URL: <https://arduinomaster.ru/motor-dvigatel-privod/servoprivody-arduino-sg90-mg995-shema-podklyuchenie-upravlenie>
6. Кинематика: прямая и обратная задачи [Электронный ресурс] URL: <http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html>
7. Применение роботов и манипуляторов в технологии строительных материалов, изделий и конструкций [Электронный ресурс] URL: <https://lektsii.org/5-40501.html>
8. 2.2.2/2.4.1340-03. «Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы».
9. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
10. Положения ФЗ РФ №212 от 24 июля 2009 г. «О страховых взносах в пенсионный фонд Российской Федерации, фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования».
11. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление и зануление».

12. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».