

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Роботизированная рука с дистанционным управлением</b>

УДК 621.865.8-529:004.41

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А31	Шадрин Дмитрий Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПМЭ	Торгаев С. Н.	к.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	В.С. Николаенко			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ю.В. Анищенко	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2017 г.

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

Институт неразрушающего контроля  
 Направление подготовки – Электроника и наноэлектроника  
 Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Ф.А. Губарев  
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1А31	Шадрину Дмитрию Владимировичу

Тема работы:

Роботизированная рука с дистанционным управлением
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом разработки является роботизированная рука с дистанционным управлением.                      Область применения прибора:                      - опасные производства                      - медицина                      - робототехника</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>- Аналитический обзор литературы с целью исследования типов манипуляторов и способов управления ими;                      - Построение структурной схемы устройства;                      - Расчёт принципиальной схемы;                      - Разработка программ для микроконтроллера и компьютера;                      - Сборка прототипа манипулятора и его тестирование.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• структурная схема устройства</li> <li>• внешний вид манипулятора</li> <li>• алгоритмы работы устройства</li> <li>• интерфейс программы</li> <li>• принципиальная схема</li> </ul>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко В. С.
Социальная ответственность	Анищенко Ю. В.

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

**Задание выдал руководитель:**

<i>Должность</i>	<i>ФИО</i>	<i>Ученая степень, звание</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>
Доцент	Торгаев С. Н.	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<i>Группа</i>	<i>ФИО</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>
1А31	Шадрин Дмитрий Владимирович		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки (специальность): Электроника и наноэлектроника  
Уровень образования: Бакалавр  
Кафедра промышленной и медицинской электроники  
Период выполнения (осенний/весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)
---

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.12.15	Учебно-исследовательская работа в 5 семестре	100 баллов
06.06.16	Учебно-исследовательская работа в 6 семестре	100 баллов
27.12.16	Учебно-исследовательская работа в 7 семестре	100 баллов
19.04.17	Учебно-исследовательская работа в 8 семестре	100 баллов
21-22.06.17	Защита бакалаврской работы	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Торгаев С. Н.	к.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Губарев Ф. А.	к.ф.-м.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результат а	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники различного назначения с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 10бс., 34 рис., 17 табл., 22 источника, 4 приложения.

Ключевые слова: акселерометр, микроконтроллер, манипулятор, робот рука, STM.

Объектом проектирования является роботизированный манипулятор.

Цель работы – разработать роботизированный манипулятор, по внешнему виду и функционалу соответствующего реальной человеческой руке.

В процессе исследования проводились обзор литературы, проектирование структурной схемы и расчет принципиальной схемы устройства, организация связи между устройством и компьютером, создание прототипа устройства, расчет себестоимости и эффективности проекта.

В результате исследования был получен работоспособный прототип манипулятора.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

- Напряжение питания: +5В;
- Материал прототипа: ABS-пластик, фанера;
- Связь с компьютером: переходник USB-UART;
- Количество сервоприводов на палец: 3;

Степень внедрения: низкая

Область применения: опасные производства, медицина, робототехника.

Экономическая эффективность/значимость работы: проект обладает средней экономической эффективностью, и может конкурировать на рынке.

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

## **Обозначения и сокращения**

ТПУ – Томский политехнический университет

ИМ – исполнительный манипулятор

ЗМ – задающий манипулятор

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

МЭМС – микроэлектромеханическая система

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь

ВИП – вспомогательный источник питания

БК – блок коммутации

МК – микроконтроллер

БОП – блок определения перемещения

БЭП – блок электронных приводов

ИБ – интерфейсный блок

БП – блок программирования

ШИМ – широтно-импульсная модуляция

SPI — serial peripheral interface — последовательный периферийный интерфейс

UART – universal asynchronous receiver transmitter — универсальный асинхронный приемопередатчик

USB — universal serial bus — универсальная последовательная шина

## **Нормативные ссылки**

- 1) ГОСТ 12.1.007–76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
- 2) ГОСТ 12.1.003 – 2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
- 3) ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 4) ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 5) ГОСТ 12.2.003-91. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

- 6) СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 7) СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.

## Оглавление

Введение.....	11
1. Теоретическая часть.....	12
1.1. Типы роботизированных манипуляторов.....	12
1.2. Системы управления манипуляторами.....	14
1.3. Разновидности приводов.....	21
1.3.1. Пневматический привод.....	21
1.3.2. Гидравлический привод.....	23
1.3.3. Электрический привод.....	25
1.3.4. Сервопривод.....	28
1.4. Устройства определения положения.....	30
1.4.1. Тензорезистор.....	30
1.4.2. МЭМС-акселерометр.....	33
1.5. Управляющий микроконтроллер.....	36
2. Разработка устройства.....	39
2.1. Технические требования.....	39
2.2. Структурная схема устройства.....	40
2.3. Конструкция устройства.....	42
2.4. Алгоритм работы микроконтроллера.....	43
2.5. Алгоритм работы компьютерной программы.....	49
2.6. Принципиальная схема.....	52
3. Процесс проектирования.....	59
3.1. Программа для микроконтроллера.....	59
3.2. Программа для компьютера.....	60
3.3. Конструкция блока управления.....	63
3.4. Конструкция манипулятора.....	65
4. Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение. .	68
Введение.....	68
4.1. Планирование научно-исследовательской работы.....	69
4.2. Расчет материальных затрат на создание прототипа.....	73

4.3.Расчет затрат на электроэнергию .....	74
4.4.Расчет затрат на заработную плату .....	74
4.5.Расчет отчислений во внебюджетные формы .....	76
4.6.Формирование бюджета затрат проекта .....	77
4.7.Оценка эффективности проекта .....	77
5. Социальная ответственность .....	80
Введение.....	80
5.1. Производственная безопасность. ....	81
5.1.1. Анализ выявленных вредных факторов. ....	81
5.1.2. Анализ выявленных опасных факторов. ....	85
5.2. Экологическая безопасность.....	90
5.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду ....	90
5.2.2 Анализ жизненного цикла объекта исследования .....	91
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	92
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ....	94
5.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	94
5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны ....	94
Заключение.....	95
Список использованных источников.....	96
Приложение А. Принципиальная схема.....	97
Приложение Б. Спецификация.....	98
Приложение В. Код программы микроконтроллера.....	100
Приложение Г. Код программы компьютера.....	103

## Введение

Механические манипуляторы давно заняли свою нишу в современном мире. Они используются в самых разных сферах человеческой деятельности, начиная от автоматов с игрушками и заканчивая щупальцами шатлов. Они помогают людям выполнять работу быстрее, точнее и качественнее.

Манипуляторы очень распространены в промышленности. Они используются на линиях сборки, покраски и проверки конечной продукции (в электронике, машиностроении). Себестоимость продукции, собранной роботами-манипуляторами, ниже, чем собранных вручную аналогов, а качество сборки, порой, лучше. Это связано с тем, что автомат выполнять свою работу гораздо точнее и качественнее, нежели люди. К тому же простым работником нужно платить зарплату, а автоматику просто нужно вовремя обслуживать.

В медицине механические манипуляторы используются для дистанционного проведения операции. Врач, сидя за специальным пультом, дистанционно управляет манипулятором и имеет возможность проводить на порядок более точные манипуляции с человеческим телом, чем если бы он делал это самостоятельно. Одним из примеров таких роботизированных устройств является комплекс da Vinci, разработанный американскими военными.

Такие области, как протезирование, разработка антропоморфных роботов и иные, где требуется совместимость конструкции механизма с конечностью человека, требуют особый тип манипуляторов. Они должны быть похожи внешне и функционально на реальные конечности человека, руки или ноги. И данная работа посвящена разработке манипулятора, по внешнему виду и функционалу соответствующего реальной человеческой руке.

## **1. Теоретическая часть**

### **1.1. Типы роботизированных манипуляторов**

Существует большое число критериев, по которым может производиться классификация таких манипуляторов, например назначение, степень универсальности, кинетические, геометрические и энергетические параметры, а также степень автономности [1].

По назначению манипуляторы делятся на 3 группы:

1. Для научных целей;
2. Для использования на производстве;
3. Для использования в сфере обслуживания.

По степени универсальности манипуляторы делятся также на 3 группы:

1. Специальные – обычно обладают 1-3 степенями свободы и работают по строго зафиксированной программе, выполняя простую операцию;
2. Специализированные – манипуляторы, область применения которых ограничена определенными условиями и пространством;
3. Универсальные – имеют большое количество степеней свободы и регулируемую длину конечностей. Такие манипуляторы способны выполнять самые разнообразные операции с большим количеством деталей.

По кинематическим, геометрическим и энергетическим параметрам манипуляторы подразделяются следующим образом:

- По кинематическим параметрам манипуляторы классифицируются по количеству степеней свободы, возможным вариантам действия и перемещения функциональных органов, а также скорости их движения;
- По геометрическим параметрам манипуляторы подразделяют в зависимости от размеров функционирующих органов и диапазонов их линейных и угловых перемещений;

- По энергетическим параметрам манипуляторы делят на группы по грузоподъёмности и развиваемой мощности.

По степени автономности манипуляторы делят на [2]:

1. Автоматически действующие;
2. Дистанционно управляемые;
3. Ручные.

Так как роботизированная рука представляет собой дистанционно управляемый манипулятор, то стоит более подробно рассмотреть классификацию данной категории.

Дистанционно управляемые манипуляторы подразделяют на [2]:

1. Манипуляторы с командным управлением – оператор включает приводы каждой степени подвижности дистанционно и по отдельности;
2. Копирующие манипуляторы – управляются оператором дистанционно с удалённого рабочего места с помощью задающего устройства, кинематически подобного рабочему манипулятору;
3. Полуавтоматические манипуляторы – в качестве задающего устройства имеют компактную многостепенную управляющую рукоятку, кинематика которой может быть произвольной и удобной для малых движений руки человека;
4. Манипуляторы с супервизорным управлением – все элементы выполняемых ими операций запрограммированы и могут воспроизводиться автоматически;
5. Манипуляторы с комбинированным управлением – сочетают в себе автоматические с режимами управления от руки;
6. Манипуляторы с диалоговым управлением – являются интеллектуальными и отличаются от супервизорных тем, что робот не только принимает команды человека для их исполнения, но и сам активно участвует в распознавании обстановки и принятия решения.

## 1.2. Системы управления манипуляторами

Для дистанционно управляемых манипуляторов важным является способ передачи управляющих команд от оператора к непосредственно устройству. Это обусловлено тем, что оператор в данном случае выполняет функции устройства управления. Он сам формирует задание для управляемой им технической системы, получает информацию от сенсорной системы и своих органов чувств о состоянии внешней среды и технической системы, формирует управляющие воздействия на эту систему так, чтобы обеспечить изменение её выходных параметров в соответствии с заданием. Такой подход используется, когда реализация автоматического управления невозможна на базе современной техники или невыгодна по сравнению с управлением человеком. Такое происходит в следующих случаях:

- Сложные или особо ответственные операции;
- Операции, которые человек делает быстрее, качественнее и дешевле, хотя они вполне поддаются роботизации;
- Взаимодействие со сложными/хрупкими/опасными и прочими объектами.

Как и сами манипуляторы, системы управления ими классифицируют по ряду признаков [3]:

- По уровню управления движением, на котором участвует человек:
  - Командное управление отдельными приводами;
  - Копирующее управление манипулятором;
  - Управление с помощью задающей рукоятки;
  - Супервизорное и интерактивное управление;
- По месту нахождения оператора относительно манипулятора:
  - Местное управление;
  - Дистанционное управление;
  - С механической или электрической связью с управляемым объектом;

- Кабельное управление;
- Телеуправление;
- По виду режима работы, в котором участвует человек:
  - Обработка сенсорной информации, оценка ситуации, синтез модели внешней среды, планирование поведения;
  - Управление выполнением конкретных технологических операций;
  - Программирование;
- По способу подключения оператора к технической системе:
  - Устройства управления, входящие в состав управляемого объекта и специально предназначенные для управления объектом только от человека-оператора (например, задающий манипулятор в системе копирующего манипулятора);
  - Устройства, входящие в состав устройства автоматического управления и предназначенные для перехода на управление со стороны оператора (например, пульт управления, джойстик);
  - Специальные устройства, выполняющие функции интерфейса “человек-манипулятор“, которые могут подключаться к устройству управления манипулятора для выполнения каких-либо функций.

Далее более подробно рассмотрим классификацию манипуляторов по уровню управления.

#### *Командное управление отдельными приводами*

Данный тип управления предполагает подключение оператора на нижнем уровне управления роботом, т.е. он может оперировать отдельными приводами. Управление осуществляется в релейном режиме управления перемещением и скоростью.

Командное управление применяется исключительно как дополнительный способ управления, например, в промышленных роботах для их программирования методом обучения, а также в аварийных и нештатных ситуациях. Точность такого управления определяется умением оператора, через которого замыкается зрительная обратная связь в контуре управления. Быстродействие при этом очень низкое, так как, во-первых, для получения приемлемой точности такое управление ведется обычно на сниженной скорости, а, во-вторых, потому, что здесь приводы работают последовательно.

### *Копирующее управление манипулятором*

Этот способ дистанционного управления манипуляторами используется для выполнения работ в опасных для человека условиях. На Рис. 1.1 проиллюстрирован принцип такого управления. Объектом управления является исполнительный (или копирующий) манипулятор ИМ, а органом управления им служит задающий манипулятор ЗМ. Задающий манипулятор кинематически подобен исполнительному. Вместо рабочего органа, как у исполнительного манипулятора, у задающего имеется рукоятка, которую оператор держит в своей руке. Оператор, перемещая эту рукоятку, заставляет рабочий орган исполнительного манипулятора повторять это движение. Таким образом, исполнительный манипулятор копирует движение задающего. Отсюда название этой манипуляционной системы – копирующий манипулятор.

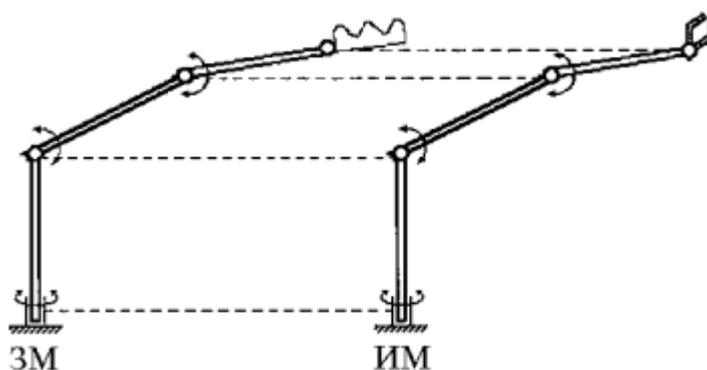


Рис. 1.1. Принцип действия копирующего манипулятора

В самых первых конструкциях таких манипуляторов не было приводов. Звенья исполнительного и задающего манипуляторов были соединены механическими тросами и тягами, посредством которых исполнительный манипулятор перемещался под действием усилия со стороны оператора, приложенного к задающему манипулятору. В следующем поколении копирующих манипуляторов эти механические связи были заменены электрическими в виде синхронных передач. На Рис. 1.2 показан внешний вид такой системы из двух копирующих манипуляторов со снятыми кожухами с блоков приводов.

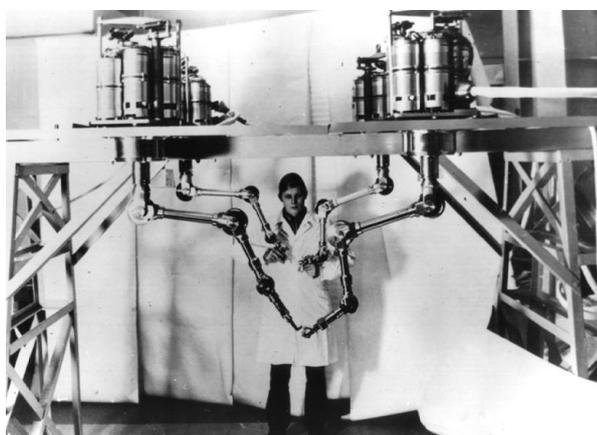


Рис. 1.2. Электрический копирующий манипулятор

Значительно более высокую точность, быстродействие и практически неограниченную грузоподъемность имеют копирующие манипуляторы на следящих приводах, которые отработывают рассогласование датчиков положения соответствующих звеньев обоих манипуляторов. В результате исполнительный манипулятор в целом и его рабочий орган отслеживают положение задающего манипулятора, перемещаемого оператором.

Задающий манипулятор может быть намного меньше исполнительного, чтобы лучше соответствовать размерам рабочей зоны руки человека, а также ограничениям на пространство, предоставляемое оператору с пультом управления, где размещается задающий манипулятор. Существуют два типа систем копирующих манипуляторов – необратимые, или одностороннего действия, и обратимые, или двустороннего действия. Второй тип отличается

от первого наличием силовой обратной связи. Оператор, перемещая задающий манипулятор, ощущает на своей руке противодействующее усилие, пропорциональное усилию, с которым рабочий орган исполнительного манипулятора действует на объекты внешней среды. Такое обратная связь необходима для выполнения движений при наличии внешних связей и препятствий.

#### *Управление с помощью задающей рукоятки*

Принцип работы систем с подобным управлением следующий. Задающая рукоятка с вычисляющим устройством делает то же самое, что и задающий манипулятор в предыдущей системе, а именно определяет параметры работы приводов по траектории рабочего органа, которая задаётся рукой оператора. Но в данном случае это осуществляется при помощи математической модели манипулятора и решения обратной задачи кинематики.

В общем случае, чтобы управлять движением рабочего органа, необходимо задать 6 координат – 3 линейные (X, Y и Z) и 3 угловые (углы поворота рабочего органа относительно 3 плоскостей). Поэтому для управления применяются две трехстепенных задающие рукоятки – одна управляет перемещением, а другая – ориентацией рабочего органа. Также могут применяться и шестистепенные рукоятки.

Преимуществами задающей рукоятки перед использованием задающего манипулятора являются меньшее количество степеней подвижности, так как теперь нет необходимости повторять все движения управляемого манипулятора. Это влечёт за собой упрощение конструкции и уменьшение её размеров, а также использование большего количества режимов управления.

В системах управления с задающей рукояткой могут быть применены позиционный, скоростной и силовой способы управления.

Позиционный способ управления уже указывался при описании принципа действия системы управления с задающей рукояткой. В данном случае изменение положения задающей рукоятки определяет изменение координат рабочего органа. По положению ручки вычислительное устройство определяет величину перемещения рабочего органа. Следовательно, этот способ управления очень близок способу с задающим манипулятором.

Скоростной способ управления основан на том, что смещение задающей рукоятки с нулевой позиции задает вектор скорости рабочего органа манипулятора, т. е. направление смещения рукоятки определяет качественную характеристику перемещения (направление движения), а величина смещения – количественную (скорость движения рабочего органа). Меняя положение задающей рукоятки в процессе движения манипулятора, оператор имеет возможность маневрировать рабочим органом в реальном времени. Вычислительное устройство при этом рассчитывает скорости приводов. Такой способ наиболее удобен для управления транспортными операциями в свободном пространстве.

Силовой способ управления основан на перемещении задающей рукоятки как способа определения вектора силы, с которой рабочий орган должен воздействовать на объекты внешней среды. Приводы манипулятора в этом случае имеют соответственно управление по силе. Этот способ управления используется при технологических операциях, требующих управляемого силового воздействия на объект. В этом случае задающая рукоятка должна обладать силовой обратной связью.

Учитывая особенности всех способов управления, для выполнения конкретных операций имеет смысл применять их комбинации

Такой комбинацией является позиционно-скоростное управление. В данном методе осуществление транспортного движения в свободном пространстве осуществляется скоростным управлением, а выполнение точных технологических операций – позиционным. Переход между

способами управления может осуществляться и оператором, и автоматически.

Ещё одна комбинация – сило-скоростное управление. В отличие от предыдущего способа здесь при подходе к месту выполнения технологической операции осуществляется переход не к позиционному, а к силовому управлению, требуемое для выполнения операции. Для автоматического изменения способа управления может использоваться сигнал о контакте с объектом, получаемый от датчика силы, находящегося в контуре силового управления.

И комбинация, собирающая в себе все способы управления – сило-позиционно-скоростное управление. В этом случае в последовательности, определяемой технологической операцией, осуществляется применение всех трех способов управления.

#### *Супервизорное и интерактивное управление*

Супервизорный способ управления манипулятором представляет собой последовательность автоматически выполняемых заранее заключенных в память манипулятора типовых операций, в промежутке между которыми оператор называет очередную операцию, обеспечивая таким образом выполнение определенной заданной сложной работы.

Команды оператора при этом включают в себя два вида информации: название типовой операции и ввод численных значений заранее не определенных параметров программы данной операции. Часто встречающимся видом второго типа информации являются координаты, необходимые для выполнения операции (координаты предметов или места, куда требуется вывести рабочий орган манипулятора).

Более совершенное управление предполагает двустороннюю связь с роботом. При таком подходе система управления манипулятором после получения задания может выполнить дополнительные операции. Это может быть запрос у оператора недостающей для выполнения задания информации, какие-либо уточнения, сообщения о невыполнимости какой-либо операции,

сообщения о возникновении неисправности и т. п. В свою очередь, оператор может запросить у системы управления манипулятора дополнительную информацию о состоянии его систем, содержании памяти, дополнительную сенсорную информацию о внешней среде. Для реализации диалогового режима в развитой форме, включая речевой обмен, требуется интеллектуальный интерфейс.

### **1.3. Разновидности приводов**

Одной из главных проблем при конструировании любого типа манипулятора является то, каким образом и с помощью каких приводов он будет приводиться в движение. Грамотный выбор привода очень важен, так как он в значительной степени определяет структуру, параметры и технологические возможности манипулятора в целом.

Для выбора типа привода при проектировании наиболее существенными параметрами являются [4]:

- Вид энергоносителя;
- Вид исполнительных двигателей;
- Способ управления;
- Способ использования энергии, поступающей и отводимой от механической системы.

Далее более подробно будет рассмотрена классификация по виду энергоносителя, так как именно этот параметр полностью или частично определяет все остальные.

#### **1.3.1. Пневматический привод**

Основой пневматического привода является так называемая пневматическая, или воздушная, мышца (Рис.1.3). Энергоносителем в таком приводе является сжатый воздух, с помощью которого и обеспечивается передача энергии и её преобразование в механическую энергию линейного движения. При работе эта мышца действует схожим с живой биологической мышцей образом. Стоимость такой мышцы намного ниже, чем пневматических цилиндров, которые в настоящее время находят широкое

применение. Она имеет небольшой вес, обладает достаточной гибкостью и проста в применении.

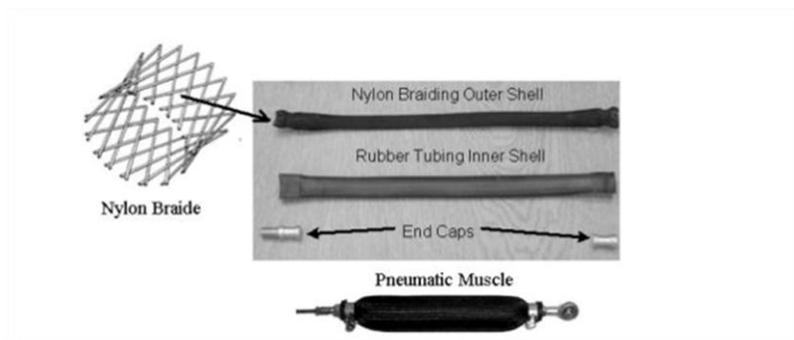


Рис. 1.3. Устройство воздушной мышцы

Воздушная мышца представляет собой длинную трубку, выполненную в виде черного пластикового рукава. Внутри рукава располагается трубка из мягкой резины, к каждому концу которой присоединены металлические зажимы. Каждый конец пластикового рукава свернут в петлю, сложен вдвое и скреплен с помощью металлического зажима. Эти петли используются для крепления воздушной мышцы к другим частям устройства.

При подаче воздуха под давлением мышца сокращается следующим образом. Когда во внутреннюю мягкую резиновую трубку подается сжатый воздух, она расширяется. Внутренняя трубка оказывает давление на внешний черный пластиковый рукав, что приводит к его увеличению. Когда пластиковый рукав расширяется, то он укорачивается в длину пропорционально увеличению его диаметра. Это приводит к сокращению конструкции воздушной мышцы. Однако важным является то, что для правильной работы мышцы она должна находиться в растянутом положении, когда она не активирована. В противном случае при активации мышцы не произойдет её сокращения.

При использовании таких мышц в манипуляторах, визуально повторяющих работу человеческой кисти, они располагаются так же, как и мышцы на настоящей человеческой руке – на своеобразном предплечье. Один их конец закрепляется на фиксированной части предплечья, а другой –

на «сухожилиях», то есть на специальных шпильках или тросах, проходящих через палец.

Из преимуществ пневматических мышц можно назвать:

1. Малый вес (Воздушная мышца длиной 150 мм с подводящей воздушной трубкой диаметром 4 мм и длиной 450 мм весит приблизительно 10 г.)
2. Сокращение (Воздушная мышца длиной 150 мм сокращается примерно на 25 мм)
3. Мощность (Развивает силу порядка 200 г при давлении воздуха 3 кгс; Отношение развиваемой мощности к весу может достигать 400:1)
4. Гибкость ( Мягкая и гибкая конструкция, которая может быть изогнута вдоль искривленной поверхности без нарушения ее работоспособности)

Одним из минусов таких мышц является необходимость системы подачи сжатого воздуха. Вкупе с самими мышцами вся конструкция будет занимать довольно много места, что не очень удобно во время транспортировки и использования.

### **1.3.2. Гидравлический привод**

Такой тип привода основан на использовании гидравлических цилиндров (Рис.1.4). Энергоносителем в данном типе привода служит жидкость, благодаря которой обеспечивается передача энергии и её преобразование в механическую энергию линейного движения. Они подразделяются на несколько типов, но здесь будет рассмотрено только два:

1. Гидроцилиндры одностороннего действия.

В них выдвижение штока осуществляется за счёт создания давления рабочей жидкости в поршневой полости, а возврат в исходное положение от усилия пружины.

Пружина выполняет здесь роль возвратного элемента. В тех случаях, когда возврат производится за счет действия приводимого механизма,

другого гидроцилиндра или силы тяжести поднятого груза, гидроцилиндр может не иметь возвратной пружины ввиду отсутствия необходимости.

## 2. Гидроцилиндры двухстороннего действия.

Как при прямом, так и при обратном ходе поршня усилие на штоке гидроцилиндра создаётся за счёт создания давления рабочей жидкости соответственно в поршневой и штоковой полости.

Следует иметь в виду, что при прямом ходе поршня усилие на штоке несколько больше, а скорость движения штока меньше, чем при обратном ходе, за счёт разницы в площадях, к которым приложена сила давления рабочей жидкости (эффективной площади поперечного сечения).



Рис 1.4. Внутреннее устройство гидроцилиндра двухстороннего действия

Система с таким гидроприводом позволяет манипулировать достаточно большими и тяжёлыми объектами, однако она сама является громоздкой, так как кроме гидравлических цилиндров для функционирования системы необходимы компрессор и ёмкость для хранения рабочей жидкости (обычно минеральные, синтетические или полусинтетические масла). К тому же такая система в активном режиме издаёт большое количество шума. И в довершение ко всему, компактные гидравлические цилиндры мало распространены и довольно дороги, что делает их практически

непригодными для использования в условиях любительского конструирования.

### 1.3.3. Электрический привод

Энергоносителем в данном типе привода является электрический ток, посредством которого обеспечивается передача энергии и её преобразование в механическую энергию, обеспечивающую перемещение манипулятора.

В промышленных манипуляторах нашли применение электроприводы следующих типов [4]:

- На коллекторных и бесколлекторных двигателях постоянного тока;
- На нерегулируемых асинхронных двигателях и двигателях с частотным управлением;
- На шаговых двигателях;
- На линейных электродвигателях.

В основном электроприводы используются в манипуляторах в качестве устройств с угловым перемещением. Однако они могут быть применены и в манипуляторах с поступательным перемещением, если их соединить с механизмом, преобразующим вращательное движение в поступательное. Также для осуществления линейных перемещений используются линейные электродвигатели.

В настоящее время в электроприводах манипуляторов используются преимущественно электродвигатели постоянного тока, благодаря их хорошей управляемости и возможности построения следящего привода.

Двигатель постоянного тока состоит из неподвижного статора с постоянным магнитом и обмоткой, по которой протекает ток возбуждения, и вращающегося якоря с обмотками, по которым протекает ток, создающий основное магнитное поле. Выводы обмоток якоря присоединены к расположенному навалу якоря коллектору (Рис. 1.5).

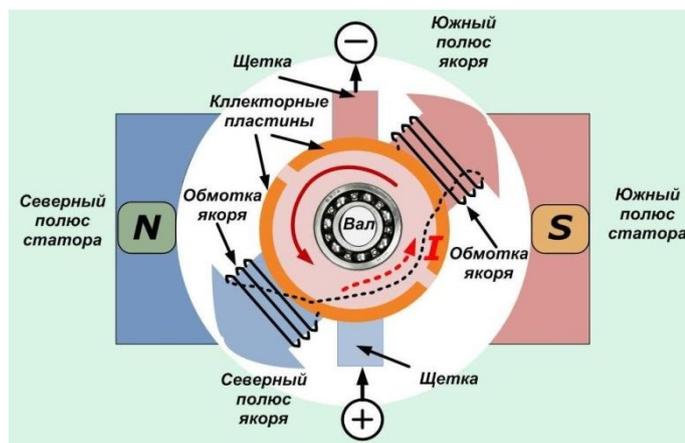


Рис. 1.5. Электродвигатель постоянного тока

Взаимодействие магнитных полей полюсов статора и обмоток якоря при их своевременном переключении с помощью коллекторных щёток обеспечивает постоянно направленный вращающий момент. Управление скоростью вращения осуществляется изменением подаваемого на обмотки напряжения – чем оно выше, тем быстрее вращается якорь. Аналогично крутящий момент зависит и от изменения величины тока, поэтому требуемое для работы манипулятора регулирование скоростей движения и моментов в широком диапазоне осуществляется изменением напряжения якоря или тока возбуждения. Изменение направления вращения производится сменой полюсов.

Асинхронные двигатели переменного тока (2-х и 3-х фазные) также получили широкое применение в промышленности благодаря многим преимуществам, таким как простота и надёжность из-за отсутствия коллектора, низкая стоимость, меньшие масса и габариты по сравнению с двигателями постоянного тока с идентичными параметрами. Но в роботизированных манипуляторах их широкое применение сдерживается из-за трудностей управления ими в широком диапазоне скоростей. Внутренне устройство асинхронного электродвигателя показано на Рис. 1.6.

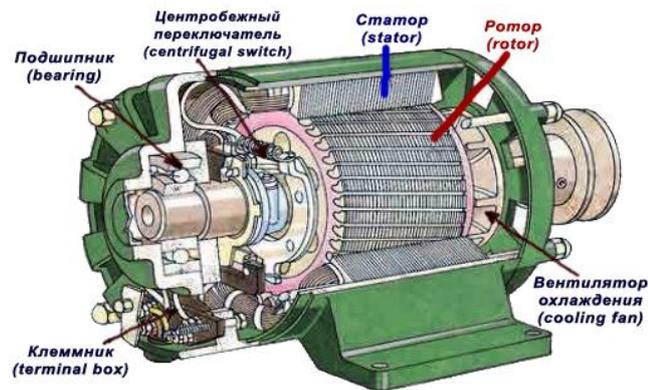


Рис. 1.6. Асинхронный электродвигатель

Статор 2-х фазного асинхронного двигателя имеет 2 обмотки – возбуждения и управления, питаемые переменным током, сдвинутым по фазе на  $90^\circ$ . В результате создаётся вращающееся магнитное поле, почти с той же скоростью увлекающее за собой ротор, оснащённый короткозамкнутой либо фазной обмоткой. В таком двигателе изменение напряжения не влияет на скорость вращения, а наиболее простым способом её регулирования является изменение частоты переменного тока. Изменение направления вращения двигателя получается путём сдвига по фазе на  $180^\circ$  напряжения обмотки возбуждения.

Шаговые двигатели довольно удобны для применения в приводах манипуляторов, так как они не требуют датчиков обратной связи для регулирования положения звеньев. Такие двигатели позволяют с высокой точностью преобразовывать цифровые электрические сигналы непосредственно в дискретные угловые перемещения ротора. Внутреннее устройство шагового двигателя можно увидеть на Рис. 1.7.

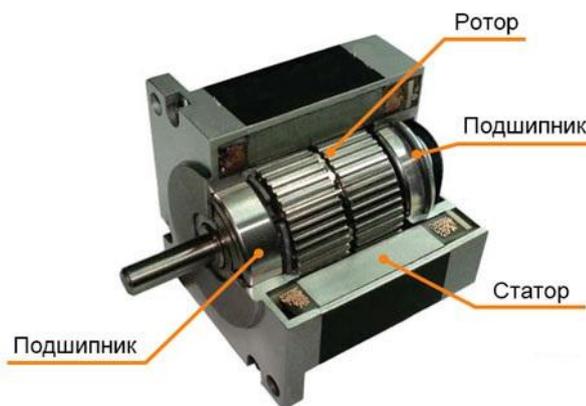


Рис. 1.7. Шаговый двигатель

По принципу работы шаговый двигатель относится к двигателям синхронного типа: в нём существует связь между сигналом питания и положением ротора. Благодаря переключениям обмоток статора, его магнитное поле, поворачиваясь на определённый угол или шаг, производит поворот на такой же определённый угол ротор двигателя, который является постоянным магнитом либо переменным магнитным сопротивлением. Таким образом, можно заставить вращаться вал с высокой скоростью, в любой момент зная его положения. Однако недостатками такой конструкции являются неустойчивость их вращения при ускорении и торможении, высокая стоимость и малая мощность.

Линейные электродвигатели отличаются от традиционных тем, что они непосредственно создают линейное движение. Они могут рассматриваться как двигатели переменного тока, у которых «разрезали» и «развернули» статор. Управляя полярностью обмотки, можно заставить сердечник скользить вдоль статора с высоким качеством управления. Линейные двигатели не требуют подшипников и передаточных механизмов, что является их большим преимуществом. Они обладают высокими динамическими характеристиками и очень быстро набирают ускорение. Однако из недостатков в том, что производство таких двигателей обходится существенно дороже, чем производство электродвигателей других типов.

#### **1.3.4. Сервопривод**

Сервопривод – это система автоматического управления, в которой входной управляющий сигнал преобразуется в механическое линейное или угловое перемещение управляемого объекта. Иными словами, сервопривод уже содержит в себе некоторую систему управления и один из типов приводов, описанных ранее. Чаще всего для этого применяют электрические приводы.

Система управления сервопривода реализует один из видов автоматического управления, в результате которого совершается перемещение звена манипулятора точно в заданное положение. При этом

мощность выходного сигнала, воздействующая на электродвигатель, обычно во много раз превышает мощность входного сигнала управления.

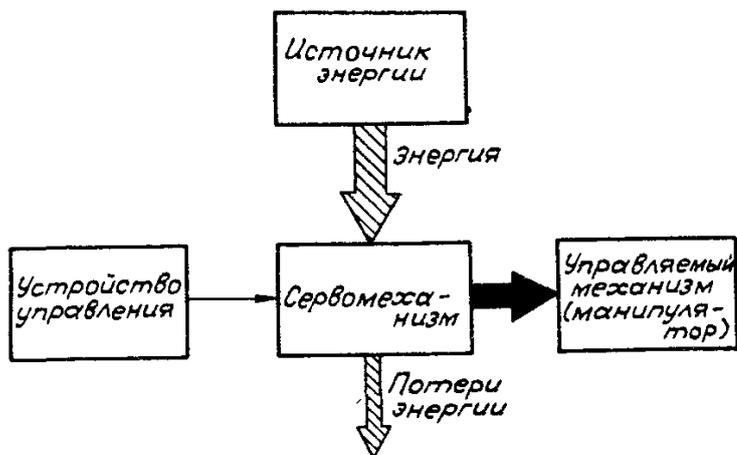


Рис. 1.8. Принцип работы сервопривода

Принцип работы сервопривода показан на Рис. 1.8 [4]. Устройство управления вырабатывает входной сигнал, определяющий требуемый угол поворота звена манипулятора и направляет его в сервомеханизм, где сигнал многократно усиливается и становится выходным значением требуемого угла поворота, равного или близкого заданному. Далее этот сигнал передаётся в виде силового воздействия управляемому механизму.

Классификацию сервоприводов осуществляют по нескольким признакам. По типу используемых устройств они делятся на пневматические, гидравлические и электрические. А по способу обработки информации – на аналоговые и цифровые.



Рис. 1.9. Внешний вид сервомашинки

Зачастую в манипуляторах бытового назначения используется такой тип сервопривода, как сервомашинка (Рис. 1.9). Она состоит из электродвигателя, заключенного в один корпус с редуктором и управляющей электроникой, которая чаще всего состоит из потенциометра обратной связи и платы управления. Аналоговые сервомашинки содержат относительно простую цепь управления позиционированием. Цифровые машинки содержат микроконтроллер в цепи обратной связи, который позволяет реализовывать сложные алгоритмы управления.

Используемые в манипуляторах бытового назначения сервомашинки чаще всего имеют унифицированный интерфейс подключения к устройству управления, основанный на широтно-импульсной модуляции.

#### **1.4. Устройства определения положения**

Так как в рамках данной работы создаётся манипулятор, который должен копировать движения кисти оператора, то по всей вышеизложенной классификации он является дистанционно управляемым копирующим манипулятором. Из этого вытекает два следствия:

- Конструкция манипулятора должна быть максимально совместимой с биомеханикой кисти оператора (схожие размеры пальцев, фаланг и диапазоны их перемещения);
- На кисти оператора должны располагаться датчики, фиксирующие перемещение фаланг и передающие их в управляющее устройство для дальнейшего анализа.

Таким образом, встаёт вопрос о том, какие датчики можно применить для определения положения кисти и фаланг как в пространстве, так и относительно друг друга. После обзора литературы было установлено, что наиболее применимыми к данной концепции являются тензорезисторы и МЭМС-акселерометры.

##### **1.4.1. Тензорезистор**

Тензорезистор – это устройство, которое способно менять своё омическое сопротивление в зависимости от степени его деформации. В

общем случае с помощью тензорезисторов измеряют деформацию механически связанных с ним элементов.

Существует 2 типа тензорезисторов – металлические и полупроводниковые. Конструктивно металлический тензорезистор представляет собой очень тонкую проволоку или фольгу, имеющую форму змейки и нанесенную на подложку, которая непосредственно приклеивается к объекту (Рис 1.10).



Рис. 1.10. Внешний вид металлического тензорезистора

Изменение сопротивления тензорезистора происходит благодаря тому, что при его деформации длина проводящих элементов датчика увеличивается, а поперечное сечение – уменьшается. И змеевидная структура датчика способствует усилению этого эффекта, так как чем больше «поворотов» делает проводящий элемент, тем больше его длина и тем сильнее будет изменяться сопротивление.

Серийные тензодатчики имеют сопротивление от 30 Ом до 3 кОм при типовых значениях 120 Ом, 350 Ом и 1 кОм. А их типовая длина колеблется от 0,2 мм до 10 см. Материалом для тензорезисторов служит константан, платина и ее сплавы, нихром, манганин, никель и др [5].

Что касается полупроводниковых тензодатчиков, то их основой является сверхтонкая плёнка монокристалла кремния, нанесённая в форме прямоугольника на подложку. Сопротивление кремния в  $10^3$  раза превосходит сопротивления константана, используемого в металлических датчиках. Поэтому в полупроводниковых тензодатчиках не применяется конфигурация решётки.

Применение полупроводниковых тензорезисторов вместо металлических позволяет на один-два порядка повысить чувствительность и

величину выходного сигнала датчиков. Это дает возможность обходиться без усилительной аппаратуры, упрощает конструкцию датчиков и расширяет их рабочие диапазоны.

Часто, для улучшения качества сигнала, получаемого от тензорезисторов, их включают в одно или два плеча сбалансированного моста Уитстона (Рис. 1.11), питаемого от источника постоянного тока (диагональ моста А – D). С помощью подстроечного резистора  $R_2$  производится балансировка моста, так, чтобы в отсутствие приложенной силы напряжение диагонали сделать равным нулю. С диагонали моста В – С снимается сигнал, далее подаваемый на измерительный прибор, дифференциальный усилитель или АЦП микроконтроллера.

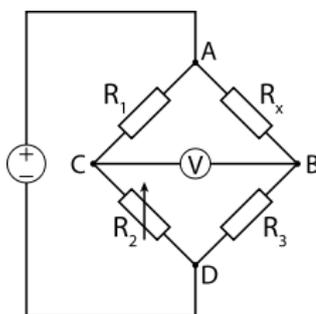


Рис. 1.11. Мост Уитстона.  $R_x$  – тензорезистор

При выполнении соотношения  $R_1/R_2=R_2/R_3$  напряжение диагонали моста равно нулю. При деформации изменяется сопротивление  $R_x$ , что вызывает снижение потенциала точки соединения резисторов  $R_x$  и  $R_3$ (точки В) и изменение напряжения диагонали В – С моста, с которой и снимается полезный сигнал.

Однако изменение сопротивления  $R_x$  может происходить не только от деформации, но и от влияния других факторов, и главный из них – это изменение температуры, которое вносит погрешность в результат измерения деформации. Поэтому, несмотря на специальные меры, принимаемые при изготовлении тензодатчиков их производителями, существует проблема снижения температурной чувствительности. Температурная чувствительность определяется двумя физическими явлениями: зависимостью омического сопротивления материала тензорезистора от

температуры и паразитным тензорезистивным эффектом, который возникает вследствие несогласованности температурных коэффициентов расширения тензорезистора и материала объекта, на который наклеен тензорезистор.

#### 1.4.2. МЭМС-акселерометр

МЭМС акселерометры представляют собой специальные микросхемы, внутри которых содержится полноценная микроэлектромеханическая система – устройство, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. Основной задачей акселерометра является определение кажущегося ускорения объекта – геометрической суммы собственного ускорения объекта и ускорения свободного падения.

Существует несколько типов МЭМС-датчиков, в частности, акселерометров. На сегодняшний день наиболее популярны датчики, основанные на конденсаторном принципе (Рис. 1.12.). Такие устройства имеют подвижную и неподвижную части. Подвижная часть системы – это миниатюрный грузик на подвесах. При наличии ускорения грузик смещается относительно неподвижной части акселерометра. Обкладка конденсатора, прикрепленная к грузику, смещается относительно обкладки на неподвижной части. Емкость конденсатора меняется, а это значит, что при неизменном заряде на нём меняется напряжение – это изменение можно измерить и рассчитать смещение грузика. Откуда, зная его массу и параметры подвеса, легко находится и искомое ускорение [6].

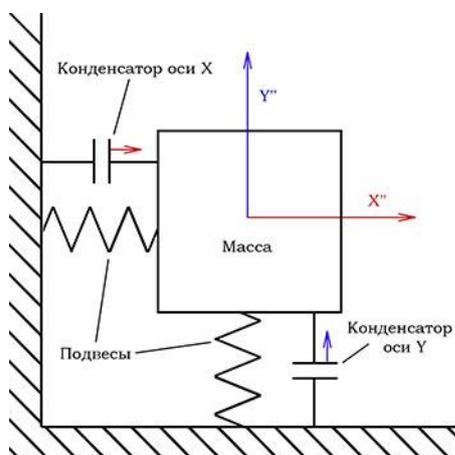


Рис. 1.12. Структура МЭМС-акселерометра конденсаторного принципа

Однако это лишь теоретические выкладки. В реальности, MEMS-акселерометры устроены таким образом, что отделить друг от друга составные части – грузик, подвес, корпус и обкладки конденсатора – очень сложная задача. Можно сказать, что изящество MEMS и заключается в том, что в большинстве случаев в одной детали здесь удастся комбинировать сразу несколько предметов.

Кроме датчиков конденсаторного типа существуют MEMS-акселерометры, основанные на пьезоэффекте. Вместо смещения обкладок конденсатора, в акселерометрах такого типа происходит давление грузика на пьезокристалл (Рис. 1.13). Под воздействием деформации пьезоэлемент вырабатывает ток. Из его величины, зная параметры системы, можно найти силу, с которой грузик давит на кристалл и рассчитать искомое ускорение.

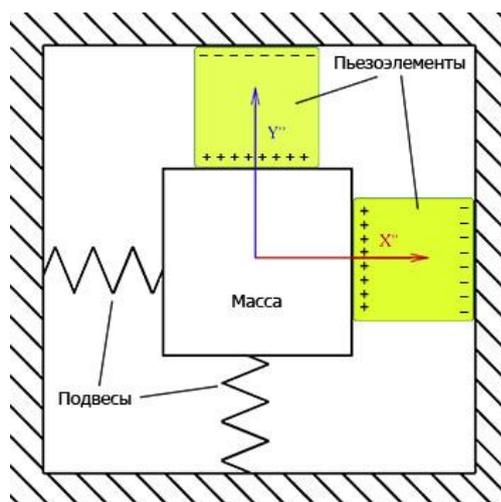


Рис. 1.13. Структура МЭМС-акселерометра на пьезоэффекте

Есть ещё один тип MEMS-акселерометров, который является наиболее экзотическим – это термальные датчики ускорения (Рис. 1.14). В них в качестве основного объекта используется горячий пузырек воздуха. При движении пузырек отклоняется от центра системы, это отслеживается датчиками температуры. Чем дальше сместился пузырек – тем больше величина ускорения.

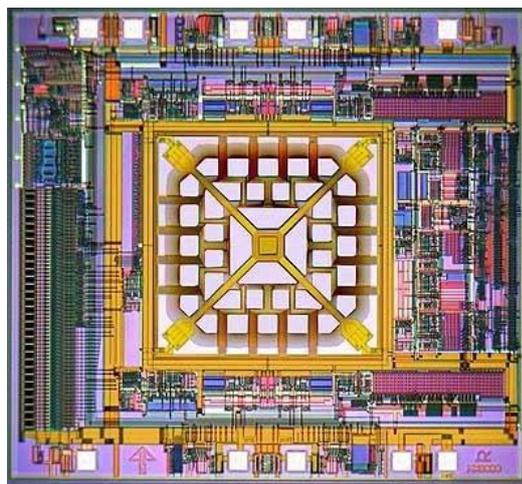


Рис. 1.14. Структура термального МЭМС-акселерометра

Положительными сторонами МЭМС-акселерометров являются:

- Компактность. Вся микроэлектромеханическая система умещается в корпусе 5x5 мм, а иногда и меньше;
- Простота получения данных. При использовании акселерометров с аналоговым интерфейсом с его выходов снимается напряжение, пропорциональное величине ускорения, т.е. для его считывания необходимо лишь подключить к выходу акселерометра АЦП. А в акселерометрах с цифровым интерфейсом все данные передаются непосредственно, т.е. их не нужно пересчитывать;
- Высокое быстродействие и точность;
- Цена. 3-х осевой МЭМС-акселерометр с цифровым интерфейсом сегодня можно приобрести за 150 рублей.

Однако и у этого типа устройств есть недостатки:

- Более сложные алгоритмы обработки данных. Это обусловлено тем, что зачастую необходимо отделить ускорение объекта и ускорение свободного падения, что подразумевает применение особых программных алгоритмов;
- Высокая зашумлённость выходных данных;
- Сложность самостоятельного изготовления печатных плат для микросхем МЭМС-акселерометров, т.к. часто они выпускаются в корпусах LGA, которые сложны в пайке.

## 1.5. Управляющий микроконтроллер

Микроконтроллер – это вычислительное устройство, которое будет являться основным элементом системы управления манипулятора. В его задачи входит опрос датчиков и получение данных от них, производство расчётов, управление манипулятором и передача данных о положении фаланг пальцев на компьютер. Исходя из этого, к микроконтроллеру предъявляется ряд требований:

1. Микроконтроллер должен обладать высокой производительностью, чтобы производить расчёты в режиме реального времени, осуществлять фильтрацию и компенсацию управляющих воздействий;
2. Устройство должно иметь модули цифровой связи для взаимодействия с датчиками (SPI) и персональным компьютером (USART);
3. Микроконтроллер должен быть укомплектован всей необходимой внутренней периферией: таймеры-счётчики, аналого-цифровые преобразователи, компараторы и так далее.
4. Контроллер должен иметь достаточное число портов ввода-вывода, чтобы разработчик имел возможность подключить все датчики, приводы и устройства ввода-вывода.

На данный момент рынок микроконтроллеров наполнен множеством устройств от разных фирм производителей. У каждой фирмы есть свои особенности при проектировке и производстве контроллеров. Например, среди PIC-контроллёров можно найти совершенно разные модели с самыми разными конфигурациями. Однако из-за некоторых особенностей архитектуры перенос программы с одного контроллера на другой сопряжён с целым рядом сложностей, вплоть до полного её переписывания.

У AVR есть целые семейства микроконтроллёров, такие как *tiny*, *mega* и *Xmega*. Они отличаются как по максимальной частоте работы, так и по встроенной периферии. Так, если в контроллёрах серии *tiny* в основном присутствуют несколько таймеров и поддержка пары простых протоколов передачи данных, то в серии *Xmega* можно найти 8-ми и 16-битных монстров

с сотней портов ввода-вывода, встроенными интерфейсами USB, таймерами реального времени, цифро-аналоговыми преобразователями и другими возможностями, которых нет у других семейств. Также у AVR очень просто переносить программу внутри одного семейства, порой даже не нужно вносить никаких изменений.

В конце концов, существуют микроконтроллеры фирмы STMicroelectronics. Они выпускаются в 8-ми, 16-ти и 32-битном исполнении. При этом, даже 32-битные микроконтроллеры стоят очень дешево, так как все они построены на ядре ARM Cortex-M3. Для сравнения, довольно простой контроллер STM32F100C4T6B из 32-битной линейки с 37 портами ввода-вывода, 16-канальным АЦП, ЦАПом, множеством таймеров и встроенных протоколов передачи данных (что ставит его на уровень какой-нибудь Xmega) стоит также, как ATmega48PA-PU, которая имеет на порядок меньшую производительность. А старшие микроконтроллеры из этой серии имеют огромные возможности, такие как USB 2.0, интерфейс для камеры, аппаратное шифрование данных и возможность подключения к интернету.

Выбор микроконтроллеров действительно большой. Однако стоит обратить внимание на то, что на задающем манипуляторе устройства будет расположено от 5 до 15 датчиков, определяющих положение (по одному на палец или фалангу соответственно). Также нужно учесть, что при производстве расчётов будет много операций с числами с плавающей точкой, поэтому в данном устройстве необходим мощный микроконтроллер аппаратной поддержкой операций с плавающей точкой. Одним из подходящих микроконтроллеров из линейки фирмы STMicroelectronics является микроконтроллер *STM32F407VGT6*. Он имеет следующие характеристики:

- Корпус LQFP100;
- Напряжение питания: 1.8 – 3.6 В;
- Частота тактирования: до 168 МГц;
- Память программ (Flash): 1 Мбайт;

- ОЗУ (RAM): 196 Кбайт;
- 4 Кбайт backup SRAM;
- Поддержка инструкций DSP и чисел с плавающей точкой;
- 16-битные таймеры: 2 базовых таймера, 8 таймеров общего назначения, 2 продвинутых таймера, 2 watchdog;
- 2 32-битных таймера общего назначения;
- USB 2.0 full-speed device/host/OTG со своим PHY на борту;
- USB 2.0 high-speed/full-speed device/host/OTG с отдельным DMA, со своим full-speed PHY на борту, есть поддержка ULPI;
- 3x SPI (37.5 Мбит/с), 2 из них с мультиплексированными полнодуплексными I2S для качественной передачи звука;
- 4x USART, 2x UART: 10.5 Мбит/с, интерфейс ISO 7816, LIN, IrDA, modem control;
- Аналоговый генератор случайных чисел;
- 140 I/O портов, в т.ч. 136 быстрых со скоростью до 84 МГц;
- RTC (Real-Time Clock);
- Три 12-битных АЦП, 2.4 миллиона выборок в секунду, 16 каналов, 7.2 миллиона выборок в секунду в режиме тройного чередования;
- 2 12-битных ЦАП;
- Контроллер DMA с 16 каналами и поддержкой FIFO и пакетной передачи;
- Возможность отладки по JTAG или SWD.

Существенным бонусом является то, что существует отладочная плата STM32F4 Discovery, на которой кроме самого микроконтроллера расположены 3-х осевой МЭМС-акселерометр LIS3DSH, который можно использовать как датчик положения, аудио ЦАП с усилителем класса D, сигнальные светодиоды и программатор с отладчиком.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
"ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ"**

Студенту:

Группа	ФИО
1А31	Шадрину Дмитрию Владимировичу

Институт	ИНК	Кафедра	ПМЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и Нанoeлектроника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Финансовые ресурсы: 100000руб.; Человеческие ресурсы 2 чел.;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИИ, бюджет НИИ.
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения

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

1. Календарный план-график выполнения работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А31	Шадрин Дмитрий Владимирович		

#### **4. Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

В данном разделе произведем учет всех технико-экономических факторов на каждой стадии проектирования, оценим эффективность разработки, проанализируем возможные способы исполнения продукта, а также рассчитаем эффективность производства.

##### **Введение**

В рамках данной дипломной работы осуществляется разработка дистанционно управляемого манипулятора. Манипулятор должен быть антропоморфным, т.е. конструктивно и функционально схож с конечностью человека, в данном случае, с кистью. Данный манипулятор управляется с помощью перчатки, оснащённой специальными датчиками. Эти датчики определяют положение кисти и пальцев не только относительно друг друга, но и относительно земли, что позволяет очень точно управлять манипулятором.

Теоретически сфера применения подобных манипуляторов весьма обширна. Во-первых, это работа с опасными для человека объектами. В таких случаях для сохранения жизни и здоровья людей все манипуляции с объектами производятся на необходимом удалении от него, а управление осуществляется дистанционно. Во-вторых, такие манипуляторы при небольшой доработке могут применяться как составная часть антропоморфных роботов или в качестве протезов кистей, в зависимости от системы управления. Однако на данном этапе проектируемый манипулятор предполагается использовать лишь для бытового применения, в качестве игрушки или демонстрационного экземпляра.

#### 4.1. Планирование научно-исследовательской работы.

Для выполнений научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. В Таблице 1 содержится перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Таблица 1.

<i>Основные этапы</i>	<i>Содержание работ</i>	<i>Должность и загрузка исполнителя</i>
Разработка технического задания	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель - 100%
	Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель - 100%, инженер - 10%
Выбор направления исследований	Подбор и изучение материалов по тематике	Инженер - 90%, научный руководитель - 30%
Календарный план	Разработка календарного плана	Научный руководитель - 100%
Теоритические и экспериментальные исследования	Выбор структурной схемы устройства	Инженер - 90%, научный руководитель - 30%
	Выбор принципиальной схемы устройства	Инженер - 100%, научный руководитель - 20%
	Расчет принципиальной схемы устройства	Инженер - 100%
	Разработка макета устройства	Инженер - 100%
	Написание программ	Инженер - 100%
	Проведение экспериментальных исследований	Научный руководитель - 30%, Инженер - 100%
Обобщение и оценка результатов	Оформление расчетно-пояснительной записки	Инженер - 100%
	Оформление материала	Инженер - 100%
	Подведение итогов	Научный руководитель - 90% Инженер - 30%

#### *Определение трудоемкости выполнения работ*

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как

зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения среднего значения трудоемкости используем следующую формулу:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (1)$$

В рамках данной дипломной работы трудоемкость рассчитывается исходя из работ, которые выполняют инженер и научный руководитель. Исходя из полученной трудоемкости, рассчитывается продолжительность работ на каждом этапе проектирования, по следующей формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i} \quad (2)$$

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (3)$$

Коэффициент календарности рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4)$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 15} = 1.22 \quad (5)$$

Полученные данные, которые были рассчитаны по вышеуказанным формулам, указаны в Таблице 2.

На основе этих данных был построен календарный план-график выполнения работ, указанные в Таблице 3. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам.

Таблица 2.

Название работы	Исполнитель	Трудоемкость работ (чел-дни)			Длительность работ (дн.)			
					$T_{рi}$		$T_{кi}$	
		$t_{\min i}$	$t_{\max i}$	$t_{ожi}$	НР	Ин	НР	Ин
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	7	4	4	-	4,88	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	3	7	4,6	2,3	2,3	2,8	2,8
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	10	17	12	6	6	7,32	7,32
Разработка календарного плана	НР, И	1	3	1,8	0,9	0,9	1,09	1,09
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	2	5	3,2	1,6	1,6	1,95	1,95
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	5	10	7	3,5	3,5	4,27	4,27
Расчет принципиальной схемы устройства	И	3	5	3,8	-	3,8	-	4,36
Разработка макета устройства	И	5	12	7,8	-	7,8	-	9,52
Написание программ	И	7	20	12,2	-	12,2	-	14,88
Проведение экспериментальных исследований	НР, И	2	5	3,2	1,6	1,6	1,95	1,95
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	1	2	1,4	-	1,4		1,70
Оформление материала	И	5	15	9	-	9		10,98
Подведение итогов	НР, И	1	4	2,2	1,1	1,1	1,34	1,34

Таблица 3.

Название работы	Исполнитель	$T_{ki}$	Продолжительность выполнения работ																	
			февраль			март			апрель			май			июнь			июль		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	4,88	■	■	■															
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	2,8		■	■															
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	7,32			■	■	■	■												
Разработка календарного плана	НР, И	1,09		■																
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	1,95				■	■													
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	4,27				■	■	■	■											
Расчет принципиальной схемы устройства	И	4,36					■	■												
Разработка макета устройства	И	9,52						■	■	■	■									
Написание программ	И	14,88						■	■	■	■	■	■							
Проведение экспериментальных исследований	НР, И	1,95									■	■								
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	1,70									■	■								
Оформление материала	И	10,98									■	■	■	■	■					
Подведение итогов	НР, И	1,34											■	■						

■ - инженер

■■■■■■■■ - научный руководитель

## 4.2. Расчет материальных затрат на создание прототипа

В состав материальных затрат дипломного проекта входят такие элементы как:

- сырье и материалы
- покупные материалы (микросхемы)
- покупные комплектующие (радиоэлементы)

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^q C_i \cdot N_{расхi} \quad (6)$$

Результаты этих расчётов отображены в Таблице 4.

Таблица 4.

Наименование	Единица Измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, руб	
			Пост. 1	Пост.2	Пост. 1	Пост.2
Отладочная плата STM32F4DISCOVERY	шт.	1	1685	2234	2106,25	2792,5
Акселерометр LIS3DSH	шт.	5	93,3	190	583,1	1187,5
Сервопривод HobbyKing HK15138	шт.	5	190,76	220,95	1192,25	1380,9
Фольгированный стеклотекстолит, лист	шт.	1	150	120	187,5	150
ABS-пластик	кг.	0,35	1600	1150	700	503,1
Конденсаторы	шт.	10	2,6	3	32,5	37,5
Винт М3х20	шт.	28	2,5	3,6	87,5	126
Гайка М3	шт.	28	0,3	0,5	10,5	17,5
Леска нейлоновая	метр	1,5	1,8	2,3	2,7	3,5
Припой	метр	1	120	120	150	150
Итого			3996,26	4164,35	4995,3	5205,4

Из результатов расчётов, указанных в таблице 4, следует, что цена на электронные компоненты и крепёжные элементы у первого поставщика ниже, чем у второго. А вот на стеклотекстолит, пластик и иные расходные материалы цена ниже у второго поставщика. Поэтому будет разумно закупать электронную оснастку у первого поставщика, а всё остальное – у второго.

### 4.3. Расчет затрат на электроэнергию

Для реализации дипломного проекта необходимо оборудование, которое позволяет протестировать и отладить готовую разработку. На кафедре есть все необходимое оборудование, поэтому нет необходимости рассчитывать затраты на покупку оборудования. Надо лишь рассчитать затраты на электричество.

При сборке и отладке устройства использовалось следующее оборудование: паяльник, осциллограф, вольтметр, источник питания, персональный компьютер, настольная лампа.

Для расчета затраченной электроэнергии используется следующая формула:

$$\mathcal{E}_{об} = P_{об} \cdot \mathcal{C}_э \cdot t_{об} \quad (7)$$

Время работы оборудования вычисляется исходя из календарного плана и учитывая время отведенное выполнению дипломной работе. Итоги расчета затрат по электроэнергии занесены в Таблицу 5.

Таблица 5.

Оборудование	Время работы $t_{об}$ (ч.)	Потребляемая мощность $P_{об}$ (кВт.)	тарифная цена $\mathcal{C}_э$ (кВт/ч);	Затраты $\mathcal{E}_{об}$ (руб.)
Паяльник	7	0,04	2,6	0,728
Осциллограф	10	0,05		1,3
Вольтметр	10	0,01		0,26
Источник питания	20	0,015		0,78
Персональный компьютер	200	0,3		156
Настольная лампа	300	0,1		78
Итого:	537	0,515		237,1

Итоговые затраты на электроэнергию составляют:  $\mathcal{E}_{общ} = 237,1$  руб

### 4.4. Расчет затрат на заработную плату

Этот этап включает в себя основную и дополнительную заработную плату научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении данной работы. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ, уровня образования сотрудника и географического положения предприятия.

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (8)$$

Для начала необходимо рассчитать основную заработную плату:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (9)$$

Средняя заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (10),$$

где  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени, подробно расписанный в Таблице 6.

Таблица 6.

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер (студент)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	64	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	52	44
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	203

Месячный должностной оклад работника рассчитывается исходя из следующей формулы:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p \quad (11)$$

Дополнительная заработная плата является доплатой, учитывающей условия труда, отклоняющейся от нормальной, а также выплаты, которые связаны с обеспечением компенсаций, гарантий. Величина дополнительной заработной платы определяется Трудовым кодексом РФ.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} \quad (12)$$

Итоги расчёта оплаты труда отображены в Таблице 7.

Таблица 7.

	Научный руководитель	Инженер (студент)
Заработная плата по тарифной ставке ( $Z_{тс}$ ), тыс.руб.	26,3	0,6
Премияльный коэффициент ( $k_{пр}$ )	0,3	
Коэффициент доплат и надбавок ( $k_d$ )	0,2	
Районный коэффициент ( $k_p$ )	1,3	
Месячная заработная плата ( $Z_m$ ), тыс.руб.	51,285	1,17
Среднедневная заработная плата ( $Z_{дн}$ ), тыс.руб.	2,142	0,065
Продолжительность выполнения данного проекта ( $T_p$ ), раб. дни	26	62
Основная заработная плата, начисленная за выполнение данного проекта ( $Z_{осн}$ ), тыс.руб.	55,692	4,03
Коэффициент дополнительной заработной платы ( $k_{доп}$ )	0,13	
Дополнительная заработная плата ( $Z_{доп}$ ), тыс.руб.	7,24	0,5239
Заработная плата ( $Z_{зп}$ ), тыс.руб.	62,932	4,5539
Итого, тыс.руб.	67,4859	

#### 4.5. Расчет отчислений во внебюджетные формы

В данном разделе будут рассчитаны отчисления во внебюджетные фонды, согласно законодательству РФ являются обязательными, а именно отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (13)$$

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в Таблице 8:

Таблица 8.

	Научный руководитель	Инженер (студент)
Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ), тыс.руб.	55,692	4,03
Дополнительная заработная плата ( $Z_{доп}$ ), тыс.руб.	7,24	0,5239
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды ( $k_{внеб}$ )	0,271	
Отчисления во внебюджетные фонды, тыс.руб.	17,055	1,234
Итого, тыс.руб.	18,289	

#### 4.6. Формирование бюджета затрат проекта.

Суммируя все статьи расходов, получим общую себестоимость проекта. Полученные результаты занесены в Таблицу 9.

Таблица 9.

Статья расходов	Стоимость (Ист. 1) руб.	Стоимость (Ист. 2) руб.
Материальные затраты	4995,3	5205,4
Затраты на электроэнергию	237,1	
Затраты заработную плату	67485,9	
Затраты на отчисление во внебюджетные фонды	18289	
Итого	91007,3	91217,4

В итоге общие затраты на реализацию дипломного проекта составило:

$$C_{общ\ 1} = 91007,3 \text{ руб.}$$

$$C_{общ\ 2} = 91217,4 \text{ руб.}$$

Вывод: Видно, что величина общих затрат отличаются незначительно, и как видно из Таблицы 9 наибольшее количество средств будут направлены на заработную плату исполнителям проекта.

#### 4.7. Оценка эффективности проекта

Немаловажным критерием расчета является оценка эффективности дипломного проекта, его оценка связана с определением двух средневзвешенных величин:

- Показатель финансовой эффективности
- Показатель ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (14)$$

Данные об эффективности проекта, полученные в ходе расчетов, указаны в Таблице 10.

Таблица 10.

Параметр	$\Phi_{pi}$ руб.	$\Phi_{\text{max}}$ руб.	$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$
Исполнитель 1	90217,94	397386	0,227
Исполнитель 2	92096,94		0,232

Из Таблицы 10 видно, что интегральный показатель не сильно отличается. Он имеет величину меньше единицы, но больше нуля, что отражает численное удешевление стоимости разработки.

Далее производится расчет ресурсоэффективности. Данный показатель рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^N a_i \cdot b_i \quad (15)$$

Расчет ресурсоэффективности производится по каждому критерию, по которому характеризуется готовый рабочий прототип (удобство эксплуатации, точность позиционирования и т.д.). Результаты расчетов занесены в Таблицу 11.

Таблица 11.

Критерий	Весовой коэффициент	Балльная оценка	
		Исп.1	Исп.2
Удобство в эксплуатации	0,1	7	5
Точность позиционирования	0,25	7	9
Помехоустойчивость	0,1	8	9
Энергосбережение	0,15	2	5
Надежность	0,25	6	8
Материалоемкость	0,05	2	5
Цена	0,1	2	4
Итого	1	34	45

Анализируя таблицу, рассчитывается интегральная оценка эффективности для двух исполнений.

$I_{p1} = 5,35$  – показатель ресурсоэффективности для первого исполнения;

$I_{p2} = 7,05$  – показатель ресурсоэффективности для второго исполнения.

Получив значения коэффициентов ресурсоэффективности и финансовой эффективности, рассчитывается показатель эффективности разработки:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{pi}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad (16)$$

$I_{\text{исп.}1} = 23,67$  – интегральный показатель эффективности вариантов;

$I_{\text{исп.}2} = 31,06$  – интегральный показатель эффективности вариантов.

Для качественного анализа используется сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}} = \frac{I_{\text{исп.}1}}{I_{\text{исп.}2}} \quad (17)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}} = 0,762$$

Все полученные параметры сравнительного анализа занесены в Таблицу 12.

Таблица 12.

Показатели	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный показатель финансовой эффективности	0,227	0,232
Интегральный показатель ресурсоэффективности	5,35	7,05
Интегральный показатель эффективности вариантов	23,67	31,06
Сравнительная эффективность	0,762	

Видно что сравнительная эффективность  $\mathcal{E}_{\text{ср.}}$  меньше единицы, что говорит о том, что второй вариант исполнения разработки более эффективен с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности. Поэтому для создания прототипа выбирается именно он.

Вывод: В данном разделе были рассчитаны основные показатели на каждом этапе проектирования, рассмотрены эффективности выполненного продукта с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности.